

На правах рукописи



Горбатова Елена Александровна

**МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОТХОДОВ
ОБОГАЩЕНИЯ КОЛЧЕДАНЫХ РУД ЮЖНОГО УРАЛА**

Специальность 25.00.05 – Минералогия, кристаллография

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Москва – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова»)

Научный консультант: Ожогина Елена Германовна
доктор геолого-минералогических наук

Официальные оппоненты: Кузькин Вячеслав Иванович
доктор геолого-минералогических наук
ФГУП «ВИМС»
главный научный сотрудник

Серавкин Игорь Борисович
доктор геолого-минералогических наук
Институт Геологии УНЦ РАН
главный научный сотрудник

Коровушкин Владимир Васильевич
доктор геолого-минералогических наук
НИТУ «МИСИС»
ведущий эксперт

Ведущая организация Институт Геологии Карельского НЦ РАН

Защита состоится 4 октября 2013 года в 11.00 часов на заседании диссертационного совета Д 216.005.01 в Федеральном государственном унитарном предприятии «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского» (ФГУП «ВИМС») по адресу: 119017, Москва Старомонетный пер., 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГУП «ВИМС».

Автореферат разослан « ____ » _____ 2013 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Луговская И.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. На современном этапе развития экономики происходит масштабное снижение сырьевого потенциала горно-обогатительных предприятий Южного Урала, вызванное истощением минерально-сырьевой базы, изменением качественных характеристик и технологических свойств полезных ископаемых, усложнением условий эксплуатации месторождений и сокращением финансирования геолого-разведочных работ. Проблема дефицита запасов цветных металлов делает актуальным не только создание эффективных технологий переработки добываемых руд, но и поиск дополнительных источников. В качестве потенциальных минеральных ресурсов все чаще рассматриваются отходы горно-обогатительного комплекса, характеризующиеся повышенным содержанием полезных компонентов и доступностью разработки. Так, отходы обогатительного передела представляют собой несомненную ценность в качестве сырья для дополнительного извлечения цветных металлов и попутных компонентов.

Несмотря на огромные объемы отходов обогатительного передела колчеданных руд, накопленных на дневной поверхности, степень их изученности является очень низкой. Особенно актуальными становятся исследования текущих хвостов обогащения колчеданных руд методами технологической минералогии с целью обоснования выбора эффективной технологии их переработки и утилизации.

Оценкой качества минерального сырья цветной и черной металлургии занимались ведущие отечественные ученые – В.И. Ревнивцев, В.М. Изойтко, Б.И. Пирогов, Т.С. Юсупов, Е.Г. Ожогина и др. Объективная оценка минерального сырья позволяет прогнозировать экономически обоснованную целесообразность его вовлечения в освоение на современном этапе развития технологии и техники, способы переработки, контролировать эффективность производства и управления им, а также предопределять экологические последствия освоения.

Цель и задачи

Цель работы – прогнозная минералого-технологическая оценка текущих хвостов обогащения колчеданных руд Южного Урала, обеспечивающая выбор технологии их переработки или утилизации.

Основные задачи:

1 Выявить черты сходства и различия отходов обогатительного передела колчеданных руд разных формационных типов на основе их морфоструктурного состава и технологической схемы получения.

2 Установить факторы, определяющие природные и технологические характеристики отходов обогащения.

3 Идентифицировать и типизировать текущие хвосты обогащения на основе их технологических характеристик.

4 Адаптировать методику минералого-технологической оценки текущих хвостов обогащения колчеданных руд.

5 Разработать математическую модель оценки качества отходов обогатительного передела с последующим выбором технологии их переработки или способа утилизации.

Научная новизна

Разработана методика изучения технологических характеристик и свойств хвостов колчеданных руд, заключающаяся в оценке их количественных и качественных показателей с учетом формационных типов месторождений, способа добычи и переработки руд.

Впервые разработана классификация текущих хвостов обогащения колчеданных руд Южного Урала, позволяющая идентифицировать отходы по их технологическим характеристикам и типизировать полученную информацию с последующим присвоением кода.

Установлено влияние морфоструктурного состава отходов обогащения руд цветных металлов на извлечение ценных компонентов при их гидрометаллургическом переделе, что позволяет прогнозировать особенности отходов обогатительного передела с точки зрения их вторичной переработки, поведения в технологических процессах и качества получаемой продукции.

Сформулированы минералого-технологические критерии, определяемые технологическими характеристиками отходов обогащения, которые позволяют прогнозировать обоснованную целесообразность вовлечения их в переработку на современном этапе развития науки и техники и способы их переработки.

Практическая значимость работы

Предложена специализированная база данных отходов обогащения колчеданных руд, созданная посредством систематического сбора, обработки и хранения информации.

Полученные данные о технологических характеристиках отходов позволили обосновать необходимость применения разных технологических решений к переработке и утилизации хвостов разных циклов выделения.

Результаты исследований хвостов обогащения использовались при проектировании технологических схем их гидрометаллургической переработки, направленной на комплексное извлечение цветных металлов.

Методология и методы исследования

Обоснованность результатов и научных выводов работы обеспечена большим объемом выполненных экспериментов с применением комплекса минералого-аналитических методов исследований: масс-спектропии, оптической и электронной микроскопии, рентгеновского количественного фазового анализа (РКФА), рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), рентгеновской томографии, метода лазерной дифракции. Испытаны физико-химические и физические методы обогащения минерального сырья в лабораторных и промышленных условиях. Обработка результатов экспериментов и математическое моделирование произведены с применением программных продуктов «STATISTIKA» и «MATLAB».

Положения, выносимые на защиту

1. Природные и технологические характеристики отходов обогащения колчеданных руд (гранулярный и минеральный состав, особенности их

изменения) определяются формационным, фациальным, метаморфическим и тектоническим факторами, а также способами и системами разработки месторождений, рудоподготовкой и обогащением руд.

2. Классификация хвостов обогащения колчеданных руд базируется на их технологических характеристиках: способе обогащения, стадийности их образования, физическом и химическом состоянии пульпы, гранулярном, химическом и минеральном составе отходов.

3. Выделяются три морфологические группы хвостов обогащения, отличающиеся извлечением полезных компонентов. Первая группа – хвосты кристаллически-зернистой структуры, обеспечивающей свободный доступ растворителя к минералам и максимальное извлечение цветных металлов в продуктивный раствор. Вторая группа – хвосты сложного строения и неоднородного состава с затруднительным доступом растворителя к минералам и последующим растворением. Третья группа – хвосты с весьма сложным структурным рисунком, определяющим низкие показатели извлечения металла.

4. Минералогическими критериями оценки технологических свойств текущих хвостов обогащения, определяющими их вовлечение в переработку и выбор ее технологии, являются: содержание полезных компонентов, форма их нахождения, распределение рудных минералов по классам крупности, их количество в полиминеральных сростках, присутствие самостоятельных минеральных фаз, сростков открытого типа, легкорастворимых минералов, отсутствие слоистых силикатов и сорбентов, трещиноватость и пористость.

Степень достоверности и апробация результатов.

Фактический материал, положенный в основу работы, получен автором на протяжении более 10 лет работы в ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» и на предприятиях Южного Урала – ОАО «Учалинский ГОК», СФ ОАО «Учалинский ГОК», ОАО «Бурибайский ГОК» при выполнении научно-исследовательских работ: «Исследование параметров и режимов технологии выщелачивания техногенных отходов Бурибаевского ГОКа» (2005), «Исследование режимов и параметров кучного выщелачивания хвостов Учалинской обогатительной фабрики» (2007), «Исследование процессов техногенного формирования минералов меди в условиях месторождений Учалинского ГОКа» (2007).

Основные результаты и положения диссертации докладывались и обсуждались на международном конгрессе «300 лет Уральской металлургии» (Екатеринбург, 2001 г.), международном научном симпозиуме «Неделя горняка» (Москва 2000, 2002, 2009, 2011 гг.), международном научном симпозиуме «Развитие идей И.Н. Плаксина в области обогащения полезных ископаемых и гидрометаллургии» (Чита, 2002 г.), международной конференции «Проблемы и перспективы развития горных наук» (Новосибирск, 2006, 2008 гг.), научном семинаре по технологической минералогии (Сыктывкар, 2010 г.; Петрозаводск, 2011 г.; Москва, 2012 г.; Санкт-Петербург, 2013 г.), Сибирской конференции молодых учёных по наукам о Земле (Новосибирск, 2010 г.); научном семинаре «Минералогия техногенеза» (Миасс, 2011, 2012, 2013 гг.), Всероссийской научной конференции «Практическая микротомография» (Казань, 2012 г.),

международной научно-технической конференции «Комбинированная геотехнология» (Магнитогорск, 2003 г.; Сибай, 2007 г.; Екатеринбург, 2009 г.; Магнитогорск, 2011 г.); научно-технических конференциях МГТУ (Магнитогорск, 2000 – 2013 гг.).

Публикации. По теме диссертации самостоятельно и в соавторстве опубликовано 75 печатных работ, в том числе 17 в изданиях, рекомендованных ВАК, две - в зарубежном издании, одна монография, один патент и одна программа для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. В главе 1 приведено геологическое строение колчеданных месторождений Южного Урала, особенности строения и состава колчеданных руд, генезис месторождений, применяемые технологии добычи и переработки руд, накопление отходов обогатительного передела. Материал изложен на 210 страницах машинописного текста, включающего 42 таблицы и 68 рисунков. Список литературы содержит 230 наименований.

Благодарности. Автор глубоко признателен своему учителю - доктору технических наук, профессору М.В. Рыльниковой и научному консультанту - доктору геолого-минералогических наук Е.Г. Ожогойной. Автор выражает благодарность докторам технических наук, профессорам И.В. Шадруновой, Г.С. Гуну, В.Н. Калмыкову, С.Е. Гавришеву, Н.В. Копцевой, докторам геолого-минералогических наук, профессорам Б.И. Пирогову, Е.В. Белогуб, доктору геолого-минералогических наук В.И. Кузьмину и кандидату геолого-минералогических наук А.В. Чадченко за постоянную поддержку и консультации на протяжении всей работы.

Автор считает своим долгом выразить благодарность коллегам – кандидату физико-математических наук Е.А. Пузанковой, кандидатам технических наук доцентам Н.Н. Старостиной, И.А. Гришину, Ю.Ю. Ефимовой, Е.Ю. Дегодя, Е.А. Емельяненко, Е.А. Романько, доцентам М.В. Зарецкому и О.С. Колесатовой, с которыми его связывают многолетние совместные исследования.

Автор искренне благодарит специалистов ОАО «Учалинский горно-обогатительный комбинат», СФ ОАО «Учалинский горно-обогатительный комбинат» и ЗАО «Бурибаевский горно-обогатительный комбинат» за плодотворное сотрудничество и помощь при проведении опытно-промышленных испытаний и внедрении результатов исследований на предприятиях «УГМК – Холдинга».

Колчеданные месторождения Южного Урала распространены в Магнитогорской мегазоне, являющейся южноуральской частью Тагило-Магнитогорско-Мугоджарской зеленокаменной полосы. В структурном отношении Магнитогорская мегазона представляет собой крупную синформу. В Магнитогорской мегазоне выделяют Вознесенско-Присакмарскую, Западно-Магнитогорскую, Центрально-Магнитогорскую и Восточно-Магнитогорскую структурно-формационные зоны, подразделяющиеся на более дробные структурно-формационные единицы (И.Б. Серавкин, 2010).

Исследуемые колчеданные месторождения сосредоточены в шести рудных районах (рис. 1). В Западно-Магнитогорской зоне расположены Баймакский и Бурибайский рудные районы Таналыкской структурно-формационной зоны второго порядка и Сибайский рудный район Узункыро-Сибайско-Орской структурно-формационной зоны второго порядка. В Восточно-Магнитогорской зоне локализуются Учалинский, Верхнеуральский и Александринский рудные районы Учалино-Александринской структурно-формационной зоны второго порядка (И.Б. Серавкин, 2010). Геологические характеристики месторождений приведены в таблице 1.

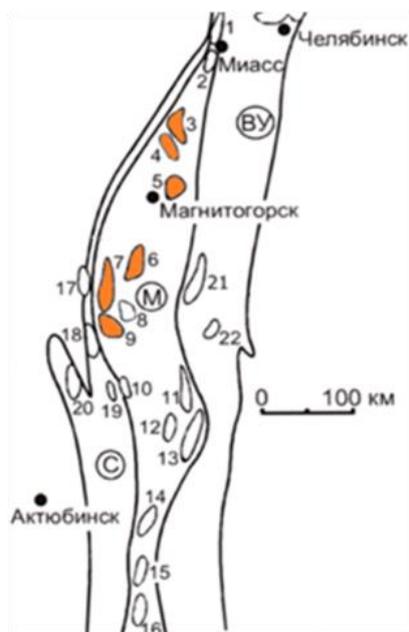


Рис 1. Схема размещения колчеданосных районов на Южном Урале (Е.А. Контарь, В.А. Прокин)

Металлогенические зоны: С- Сакмарская, М- Магнитогорская, В-У- Восточно-Уральская.
 Рудные районы: 1- Карабашский, 2- Миасский, 3- Учалинский, 4- Верхнеуральский, 5- Александринский, 6- Сибайский, 7- Баймакский, 8- Подольский, 9- Бурибайский, 10- Гайский, 11- Теренсайский, 12- Ащebutакский, 13- Домбаровский, 14- Среднеорский, 15- Верхнеорский, 16- Берчогурский, 17- Юлукский, 18- Ивановский, 19- Ишкининский, 20- Медногорский, 21- Амурский, 22- Айдырлинский

Добычу исследуемых колчеданных руд ведут горно-обогатительные предприятия Республики Башкортостан - ОАО «Учалинский ГОК», СФ ОАО «Учалинский ГОК», ОАО «Башкирское шахтопроходческое управление», ООО «Башкирская медь» и Челябинской области - ЗАО «Александринская ГРК», рудная масса перерабатывается на обогатительных фабриках ОАО «Учалинский ГОК», АО «Александринская ГРК» и СФ ОАО «Учалинский ГОК». Технологии добычи и переработки приведены в табл. 1

Положение 1. Природные и технологические характеристики отходов обогащения колчеданных руд (гранулярный и минеральный состав, особенности их изменения) определяются формационным, фациальным, метаморфическим и тектоническим факторами, а также способами и системами разработки месторождений, рудоподготовкой и обогащением руд.

Технологические характеристики текущих хвостов обогащения, как отмечает Б.И. Пирогов, начинают формироваться в геологических процессах и продолжают в технологических аппаратах. Природные характеристики текущих хвостов обогащения обусловлены минералого-геологическими факторами – составом вмещающих пород и руд, проявлением процессов метаморфизма и тектонических

Таблица 1

Геологическая и горно-технологическая характеристики месторождений

Месторождения	Учалинское	Узельгинское	Александринское	Сибайское	Юбилейное	Майское
<i>Геологическая характеристика</i>						
Структурно-формационная зона первого порядка	Восточно-Магнитогорская			Западно-Магнитогорская		
Структурно-формационная зона второго порядка	Учалино-Александринская			Узункыро-Сибайско-Орская	Таналыкская	
Рудный район	Учалинский	Верхнеуральский	Александринский	Сибайский	Бурибайский	Баймакский
Структурно-формационный тип	Уральский					Баймакский
Рудоносная субформация	Контрастная риолит-базальтовая					Непрерывная базальт-андезит-риолитовая
Стратиграфический уровень	D _{2ef} -gv				D _{1e} - D _{2ef}	
<i>Горно-технологическая характеристика</i>						
Способ разработки месторождения	Комбинированный	Подземный	Комбинированный			Подземный
Система разработки месторождения	Этажно-камерная система с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями		Подэтажного обрушения с торцевым выпуском	Этажного принудительно-го обрушения с донным выпуском	Транспортная с внешним отвалообразованием	Этажно-камерная система разработки с принудительным обрушением руды
Рудоподготовка	Трехстадиальное дробление, трехстадиальное измельчение, трехстадиальное доизмельчение		Двухстадиальное дробление, трехстадиальное измельчение	Трехстадиальное дробление, трехстадиальное измельчение, трехстадиальное доизмельчение		
Схема обогащения	Коллективно-селективная флотация		Прямая селективная флотация			



Рис. 2 Минералого-геологические факторы

деформаций (рис. 2). Технологические характеристики определены горно-техническими факторами – способом и системой разработки месторождения, транспортировкой и хранением отбитой руды, а также принятой технологической схемой подготовки и обогащения руды (рис. 6).

Формационный фактор определяет рудоносную магматическую ассоциацию пород исследуемых колчеданных месторождений - непрерывную базальт-андезит-риолитовую и контрастную базальт-риолитовую вулканогенных субформаций, развитых в двух стратиграфических уровнях – нижнедевонско-эйфельском и эйфельско-живетском.

Колчеданное оруденение непрерывной базальт-андезит-риолитовой субформации тесно связано с андезит-дацитовой толщей нижнедевонско-эйфельского возраста, локализуется вблизи подошвы или в прикровельных частях рудоносной толщи, в областях пересечения разрывных нарушений с кровлей межпластовых залежей субвулканических тел кварцевых липарито-дацитовых порфиров. Залежи размещены преимущественно среди пирокластических фаций, непременным членом которых являются прослои вулканомиктовых пород (Майское месторождение).

Продуктивность контрастной базальт-риолитовой субформации для колчеданного оруденения ассоциирует с её кислыми составляющими. Рудные тела обычно расположены на нескольких стратиграфических уровнях геологического разреза – нижнедевонско-эйфельском и эйфельско-живетском, ограниченных интервалом распространения кислых пород, и могут залегать на контакте подстилающих базальтов и кислых пород (Юбилейное месторождение), внутри толщи кислых вулканитов (Учалинское, Узельгинское, Александринское, Сибайское и Юбилейное месторождения), на контакте кислых пород и перекрывающих осадочных отложений (Узельгинское месторождение).

Рудовмещающие фации представлены пирокластами с прослоями вулканомиктовых пород и разнообразными автобрекчиями.

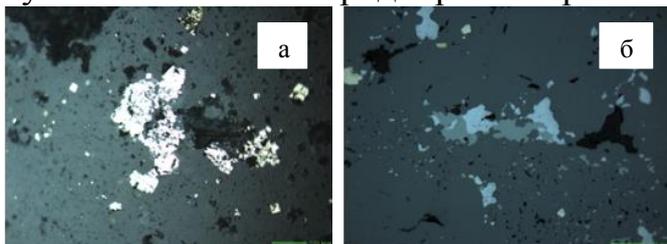


Рис. 3 Рудные фации: а - вкрапленники пирита (донно гидротермальная); б – галенит-теннантитовая минерализация в сфалеритовых рудах (гидротермально-метасоматическая). ||

субмаринные гидротермальные.

Изменение состава и строения вмещающих горных пород обуславливается проявлением регионального метаморфизма и метасоматоза, связанного с процессами рудообразования.

Региональный метаморфизм, отвечающий низким ступеням метаморфизма – зеленокаменной, пумпеллиит-пренитовой и цеолитовой, характеризуется преобразованиями минерального и частично химического состава вулканогенных, вулканогенно-осадочных и осадочных горных пород (рис. 4). Для первой формации характерны зеленокаменные изменения: кальцит, альбит, хлорит, редко эпидот – для базальтов; альбит, серицит, кварц – для риодацитов.

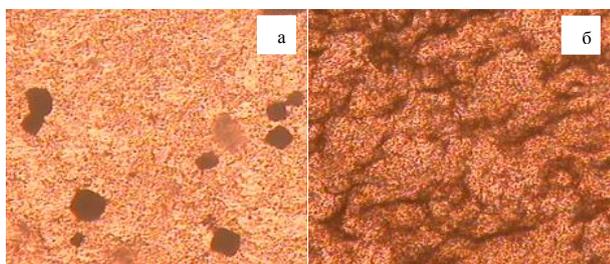


Рис. 5 Кварц-серицитовый метасоматит: а – вкрапленность пирита в основной матрице породы; б - нарушенность породы. ||

изменённых пород (рис. 5). Мощность ореола метасоматитов, состоящих из вторичных минералов, в основном серицита, кварца, хлорита, карбонатов и пирита в различных соотношениях, в лежащем боку достигает сотен метров. Со

Минеральный состав и строение руд колчеданных залежей определяются обстановкой и процессами минералообразования. В.В. Масленниковым и В.В. Зайковым выделены следующие рудные фации: придонные гидротермальные, донные гидротермальные (рис. 3, а), гидротермально-биогенные, кластогенные, гидротермально-метасоматические (рис. 3, б),

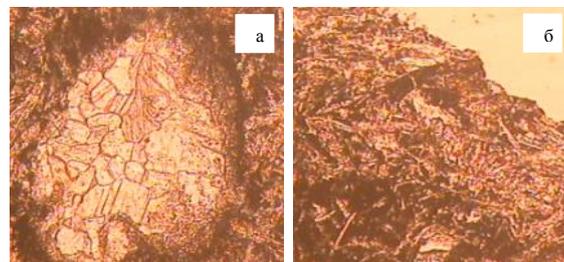


Рис. 4 Изменение вулканогенных пород основного состава: а - выполнение пор кальцитом; б - развитие актинолита в основной массе эффузива. ||

Метасоматоз проявляется в образовании гидротермально-метасоматического ореола по вмещающим породам асимметричной зональности. От рудного поля к месторождению выделяются: кварцевые (pH = 2,5-3), кварц-серицитовые (pH = 3-4,5), кварц-хлорит-серицитовые (pH = 4,5-5), кварц-серицит-карбонат-хлоритовые (pH = 5-6,5), кварц-хлоритовые, хлоритовые (pH = 6-7,5) метасоматиты и зоны гидротермально

стороны всякого бока мощность ореола околорудных изменений вмещающих пород и их интенсивность значительно меньше, чем в породах всякого бока.

Тектонический фактор определяет распространение проницаемых зон, являющихся рудоподводящими каналами, и контролирует расположение колчеданных месторождений и рудопроявлений. Тектонические проявления на месторождениях выражаются в образовании дизъюнктивных нарушений и брекчировании руды. Среди разрывных нарушений выделяют разломы, сопровождающиеся ореолами метасоматически измененных пород и благоприятные для локализации прожилково-вкрапленной сульфидной минерализации.



Рис. 6. Горно-технические факторы

Горно-геологические условия колчеданных месторождений определяют выбор физико-технической геотехнологии их освоения. Месторождения средних глубин – Учалинское, Сибайское, Александринское, Юбилейное, разрабатываются комбинированным способом с последовательным развитием открытых и подземных работ. Глубокозалегающие месторождения – Майское и Узельгинское обрабатываются подземным способом. Принятые системы разработок на месторождениях регламентируются нормативами разубоживания руд, что ухудшает качество рудной массы за счет примешивания подстилающих, вмещающих и перекрывающих пород, а также пород даек.

Транспортировка и хранение руды на складах приводят к слеживаемости рудной массы и ухудшению её технологических свойств. Под воздействием химических агентов гипергенной среды на поверхности рудного куса проявляются окислительные процессы.

На стадии рудоподготовки, а также в различных узлах технологической схемы обогащения происходит диспергирование руды - изменение природной

морфологии и гранулометрии минералов. Наблюдается появление новообразованных фаз и явления аморфизации поверхностного слоя минерала.

Технология процесса рудоподготовки основана на использовании технологических свойств минералов – физических, физико-химических и химических, различие в которых делает возможным разделение зерен минералов при взаимодействии с различного рода энергетическими полями. На Александринской обогатительной фабрике (ОФ) осуществляется двухстадиальное дробление с предварительным и поверочным грохочением во второй стадии и трехстадиальное измельчение. На Учалинской и Сибайской ОФ применяется трехстадиальное дробление с предварительным грохочением в третьей стадии, а также трехстадиальное измельчение и трехстадиальное доизмельчение. Конечная тонина помола колчеданных руд Александринской ОФ составляет не менее 90 % класса крупности -0,074 мм, а тонина помола колчеданных руд Сибайской и Учалинской ОФ не менее 95 % класса крупности -0,044 мм.

Руды колчеданных месторождений обогащаются по схеме прямой селективной или коллективно-селективной флотации. В зависимости от реализуемой технологической схемы обогащения, отвальные хвосты могут выделяться после определенных циклов флотации и промежуточных операций. На Александринской ОФ хвосты основной цинковой флотации являются отвальными. На Учалинской ОФ отвальные хвосты выделяются после коллективного цикла, а на Сибайской ОФ в схеме флотации предусмотрены два цикла выделения отвальных хвостов – коллективный и основной. Хвосты разных циклов выделения характеризуются различными природными и технологическими характеристиками, технологическими показателями и схемой переработки.

Зная эволюционные закономерности образования текущих хвостов обогащения в единой геолого-техногенной системе, определяемые геолого-минералогическими и горно-техническими факторами, можно прогнозировать и формировать их природные и технологические характеристики для вовлечения в эффективную и комплексную переработку.

Положение 2. Классификация хвостов обогащения колчеданных руд базируется на их технологических характеристиках: способе обогащения, стадийности их образования, физическом и химическом состоянии пульпы, гранулярном, химическом и минеральном составах отходов.

Неотъемлемой частью динамической оценки состояния техногенных запасов отходов обогащения и обоснования стратегий их комплексной разработки является систематизация текущих хвостов обогащения.

Систематизация и классификация техногенного минерального сырья рассматривались в работах Л.А. Барского (1981, 1985), К.Н. Трубецкого, В.Н. Уманецева, М.Б. Никитина (1987), Л.Ф. Неклюдова (1996), А.Б. Макарова (2000), К.Н. Трубецкого, В.А. Чантурия, Д.Р. Каплунова и М.В. Рыльниковой (2010). Правовые основы обращения с отходами производства и потребления в целях предотвращения их вредного воздействия на здоровье человека и окружающую

среду, а также вовлечения отходов в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья определены Федеральным законом от 24.06.1998 N 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления».

Все ранее разработанные классификации объектов техногенного сырья носят общий характер, и направлены они на ревизию и паспортизацию техногенного минерального сырья отдельных горнодобывающих регионов. Специальных классификаций отходов обогатительного передела, охватывающих все их многообразие, не создавалось.

Разработанная классификация текущих хвостов обогащения колчеданных руд Южного Урала разрешит идентифицировать отходы по их технологическим характеристикам и типизировать полученную информацию с последующим присвоением кода, позволяющего выбрать технологию их переработки или утилизации.

Классификация разработана фасетным методом, предусматривающим параллельное разделение множества объектов на подмножества по независимым друг от друга классификационным признакам – фасетам.

Множество объектов текущих хвостов обогащения удовлетворяет условию (1):

$$O = \{o_i\}_{i=1}^n, \quad (1)$$

где o_i – объект текущих хвостов обогащения, n – количество объектов.

Разделение множества объектов текущих хвостов обогащения происходит по классификационным признакам – фасетам. Множество фасетов записывается выражением (2):

$$\Phi(O) = \{\Phi_j(O)\}_{j=1}^k, \quad (2)$$

где k – количество фасетов.

Отдельные фасеты не подчиняются друг другу, но они связаны тем, что относятся к одному и тому же множеству. В разработанной классификации определены семь основных фасетов, сформированных по совокупности приоритетных признаков, отражающих природно-технологические характеристики хвостов:

- способ обогащения ($\Phi_1(O)$);
- стадийность ($\Phi_2(O)$);
- физическое состояние пульпы ($\Phi_3(O)$);
- химическое состояние пульпы ($\Phi_4(O)$);
- гранулометрия хвостов ($\Phi_5(O)$);
- химический состав хвостов ($\Phi_6(O)$);
- минеральный состав хвостов ($\Phi_7(O)$).

Каждый фасет характеризует одну особенность распределяемого множества, что придает системе классификации гибкость структуры ее построения и облегчает ее практическое использование. Для каждого фасета $\Phi_j(O)$ допустимо следующее множество значений (3):

$$s(\Phi_j(O)) = \{s_1, s_2, \dots, s_l\}, \quad (3)$$

где l – количество значений.

Каждому объекту текущих хвостов обогащения o_i в составе O соответствует следующее множество значений фасета $\Phi_j(O)$ (4):

$$s(o_i) = \{s_{jb}(o_i)\}, \quad (4)$$

где $j = 1, \dots, 7, b = 1, \dots, l$.

Фасетная формула $\Phi F(o_i)$ текущих хвостов обогащения o_i представлена выражением (5):

$$\Phi F(o_i) = \{s_{jb}(o_i)\} \quad (5)$$

Фасетная таблица содержит фасетные формулы для всех текущих хвостов обогащения множества (6):

$$\Phi FT(o_i) = \{\Phi F(o_i)\}, \quad (6)$$

где $o_i \in O, i = 1, \dots, n$.

В классификации текущих хвостов по значимости признаков выделяют четыре уровня:

- основные группы,
- группы,
- подгруппы,
- позиции (списки видов отходов).

К высшим уровням классификации относятся основные группы, сформированные по признаку происхождения хвостов, отражающему способ обогащения руды (Φ_1). Применительно к текущим хвостам обогащения колчеданных руд, можно выделить только одну основную группу – отходы флотационного способа обогащения руд.

Группы сформированы по стадийности образования хвостов (Φ_2). В зависимости от реализуемой технологической схемы флотации, получаемые хвосты выделяются в одном цикле или после определенных циклов флотации и промежуточных операций.

Подгруппы, сформированные по признаку физико-химического состояния пульпы, гранулометрии и состава отходов, непосредственно влияют на выбор последующей технологии переработки или утилизации хвостов. Подгруппы первого уровня отражают физическое состояние отходов обогащения – плотность пульпы (Φ_3). Химическое состояние пульпы (Φ_4) отражают подгруппы второго уровня. Пульпа, формирующаяся в процессе обогащения колчеданных руд, характеризуется щелочной средой. Подгруппы третьего уровня выделены по гранулярному составу хвостов обогащения (Φ_5). Основным требованием к гранулярному составу дисперсного материала является содержание шламующего материала крупностью менее 10 мкм, обладающего высокой реакционной способностью. Подгруппы четвертого уровня определяют целесообразность переработки хвостов обогащения, характеризующихся разным содержанием полезных компонентов (цветных, благородных и редких металлов). Химический состав отходов (Φ_6) отражает повышенное содержание одного или двух полезных компонентов, приближенное к кондиционному содержанию руд.

Позиции сформированы по минеральному составу хвостов обогащения (Φ_7), определяемому промышленными сортами и природными типами колчеданных руд. При классификации текущих хвостов обогащения колчеданных руд

учитывается содержание основных рудных минералов (пирита, пирротина), кварца, карбонатов (кальцита, сидерита) и силикатов (хлорита, талька, серицита), количество которых непосредственно влияет на процессы переработки и утилизации хвостов.

С учетом всех классификационных признаков хвостам обогащения присваивается код. При кодировании используется параллельный метод, разрешающий кодировать классификационные признаки отходов независимо друг от друга определенными цифровыми обозначениями.

Предлагается ввести шестнадцатизначный код видов отходов, который характеризует их классификационные признаки:

1	основная группа;
x1	группа;
xx 1	подгруппа первого уровня;
xx x1	подгруппа второго уровня;
xx xx 1	подгруппа третьего уровня;
xx xx x 000029	подгруппа четвертого уровня;
xx xx x xxxxxxx 54213	позиция.

Первой цифрой кодируют происхождение: 1 – флотационный способ образования. Второй – стадийность: 1 – один цикл выделения; 2 – цикл выделения коллективной флотации; 3 – цикл выделения основной флотации. Третья и четвертая цифры отражают физическое (1 – 5-10 % тв., 2 – 10-15 % тв., 3 – 15-20 % тв., 4 – 20-25 % тв., 5 – 25-30 % тв.) и химическое (1 – кислая среда (1-6 рН); 2 – нейтральная (6-8 рН); 3 – щелочная (8-14 рН)) состояние пульпы. Пятая цифра используется для кодирования гранулометрического состава хвостов (1 – 10-20 % содержание класса 10 мкм; 2 – 20-30 %; 3 – 30-40 %; 4 – 40-50 %).

Химический состав кодируется шестью цифрами. В код вносятся номера двух химических элементов периодической таблицы Менделеева, характеризующихся повышенным содержанием, приближенным к кондиционному. Если номер однозначный или двузначный, то на пустых местах ставится ноль.

Последние пять чисел характеризуют минеральный состав хвостов обогащения, а их последовательность отражает значимость класса минералов в составе хвостов.

Предложенная классификация позволяет систематизировать и унифицировать текущие хвосты обогащения по природно-технологическим свойствам, предопределяющим выбор возможной технологии их переработки или утилизации. Разработанная классификация является пополняемой и применима ко всем отходам обогатительного производства, независимо от исходного минерального сырья.

Положение 3. Выделяются три морфологические группы хвостов обогащения, отличающиеся извлечением полезных компонентов. Первая группа – хвосты кристаллически-зернистой структуры, обеспечивающей свободный доступ растворителя к минералам и максимальное извлечение цветных металлов в продуктивный раствор. Вторая группа – хвосты

сложного строения и неоднородного состава с затруднительным доступом растворителя к минералам и последующим растворением. Третья группа – хвосты с весьма сложным структурным рисунком, определяющим низкие показатели извлечения металла.

Комплексом современных минералого-аналитических методов были исследованы текущие хвосты обогащения колчеданных руд Учалинского, Узельгинского, Александринского, Майского, Юбилейного и Сибайского месторождений, перерабатываемых на Учалинской, Александринской и Сибайской обогатительных фабриках, и выявлены их технологические характеристики.

Текущие хвосты обогащения колчеданных руд являются обломочными техногенными образованиями, сформированными обломками минералов и минеральных агрегатов преимущественно беспорядочной текстуры. Структура кластическая, по составу обломков – кристалло- и литокластическая, по размеру обломков – мелко- и среднеобломочная.

По степени литификации текущие хвосты обогащения колчеданных руд Юбилейного, Сибайского, Майского и Учалинского месторождений согласно номенклатуре средне- и мелкообломочных пород относятся к глинистым алевритам, средневзвешенный диаметр обломков колеблется от 0,026 до 0,061 мм. Хвосты обогащения руд Александринского месторождения являются глинисто-песчаным алевритом, средневзвешенный диаметр обломков – 0,127 мм. Хвосты обогащения руд являются неоднородными по гранулярному составу, коэффициент неоднородности его больше 3.

Морфология обломков хвостов моно- и полиминерального составов определяется строением и составом руды. Хрупкие минералы высокой твердости, слагающие руды, при механическом воздействии будут образовывать остроугольные обломки с ровными контурами, мягкие – обломки неправильной формы со сложными максимально изрезанными границами.

Форма обломков минеральных агрегатов и минералов изменяется от изометричной до прямоугольной и лещадной. В хвостах обогащения руд Учалинского, Сибайского, Юбилейного месторождений преобладают обломки прямоугольной формы с ровными и слабо извилистыми границами. Для хвостов обогащения руд Александринского месторождения характерны прямоугольные, остроугольные обломки с более извилистыми и изрезанными границами. Среди отходов обогатительного передела руд Майского месторождения встречаются большей частью обломки, имеющие форму близкую к изометричной с ровными сглаженными границами (табл. 2).

Хвостообразующие минералы отличаются самой разнообразной формой, определяющей строение агрегатов. Кристаллически-зернистые агрегаты сформированы зернами идиоморфной, гипидиоморфной, аллотриоморфной, пойкилитовой, интерстиционной формы. Для агрегатов коллоидного строения типичны фрамбоидальные образования. Реликтовые структуры замещения, разъедания; а также эмульсионная; каемчатая; осколочная обусловлены сложным взаимоотношением минералов (рис. 7).

Морфометрические характеристики хвостов обогащения

Хвосты обогащения руд месторождения	Значение фактора формы								
	круглой формы			удлинения			изрезанности границ		
	min	mean	max	min	mean	max	min	mean	max
Учалинское, Узельгинское	0,16	0,71	1,04	0,23	0,67	1,0	0,26	0,96	1,16
Юбилейное	0,24	0,73	0,96	0,2	0,69	1,0	0,36	0,88	1,05
Сибайское	0,22	0,74	1,04	0,24	0,67	1,0	0,36	0,98	1,16
Александринское	0,22	0,63	0,98	0,12	0,66	1,0	0,3	0,83	1,11
Майское	0,23	0,87	1,04	0,19	0,7	1,0	0,37	1,1	1,24

Кристаллически-зернистое строение типично для хвостов, сформированных пиритом, магнетитом, ильменитом и кварцем, зерна которых имеют преимущественно идиоморфную и гипидиоморфную форму. Сульфиды цветных металлов – халькопирит, сфалерит, галенит образуют аллотриоморфные выделения, срастаясь с зернами пирита разной степени идиоморфизма или выполняя пространство (интерстиции) между ними (рис. 8). Площадь аллотриоморфных выделений варьирует в широких пределах от 2,99 до 358,41 мкм², периметр – 8,7 – 268,76 мкм. В основном, преобладают выделения площадью и периметром в пределах 0 - 25 мкм² и 0 - 25 мкм соответственно. Аллотриоморфные выделения обладают большой реакционной поверхностью. Для минеральных сростков, сформированных зернами различной формы и размера типична пойкилитовая структура.

Коррозионные рудные выделения характеризуется проникновением одних минералов в другие с образованием неправильных по форме зерен с неровными, зазубренными краями и бухтообразными очертаниями. Глубина проникновения минералов различная.

Агрегаты со структурами разъедания отличаются частичной коррозией первичного минерала более поздними минералами, развивающимися по катакластическим трещинам или границам зерен (рис. 9). Замещаемый минерал имеет обычно зернистое строение; площадь минеральных агрегатов варьирует в широких пределах от 50,87 до 1685,44 мкм², периметр – 47,84 – 614,06 мкм.

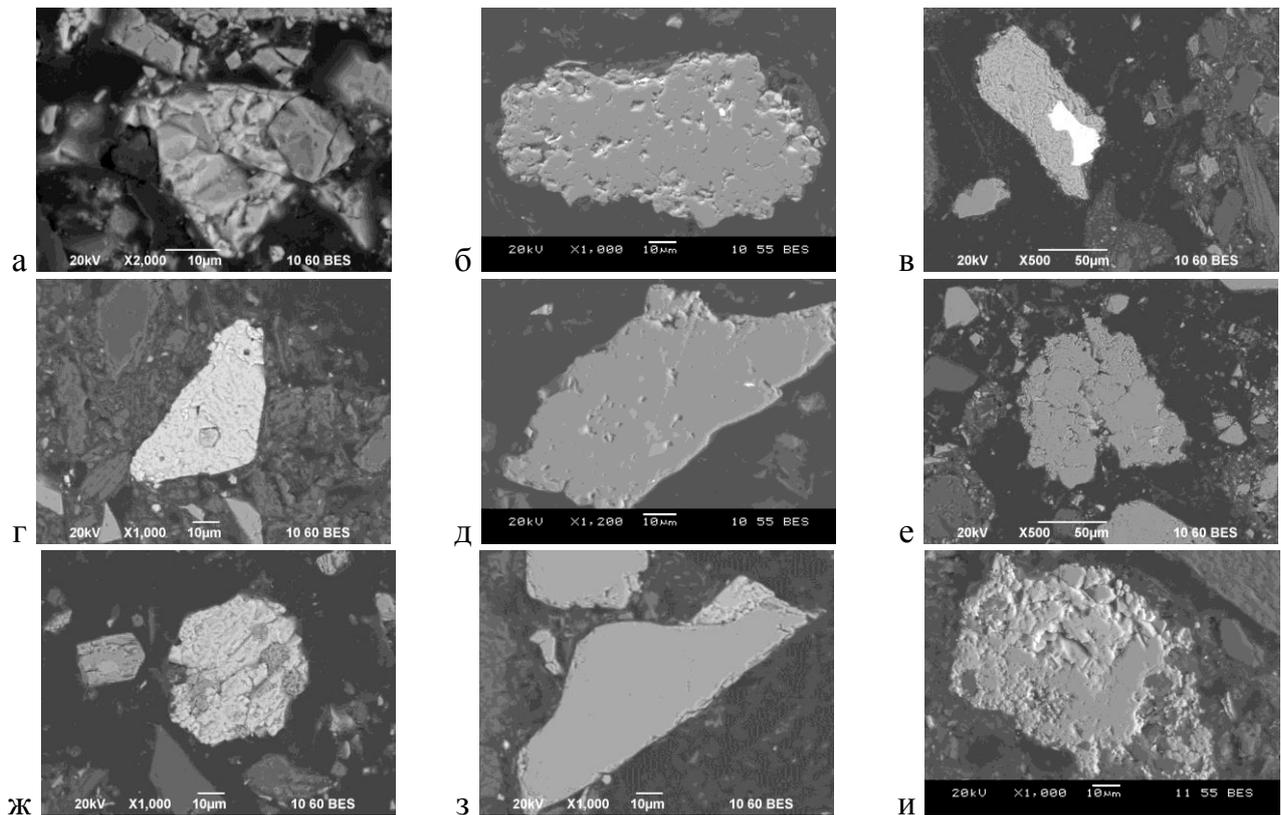


Рис. 7 Морфология минералов хвостов обогащения: а – идиоморфный кристалл пирита в массе сфалерита; б – гипидиоморфное строение пирита с редкими аллотриоморфными выделениями галенита (белое); в – аллотриоморфное выделение галенита (белое); г – пойкилитовое включение сфалерита (серое) в барите (светлое); д - пойкилитовые выделения сфалерита (светло-серое) и галенита (белое) в пирите (серое); е - интерстиционные образования сфалерита (светло серое) между зернами пирита (серое); ж – фрамбоиды пирита в халькопирите; з – каемочные выделения халькопирита (светлое); и – замещение пирита (серое) халькопиритом (светло серое). СЭМ

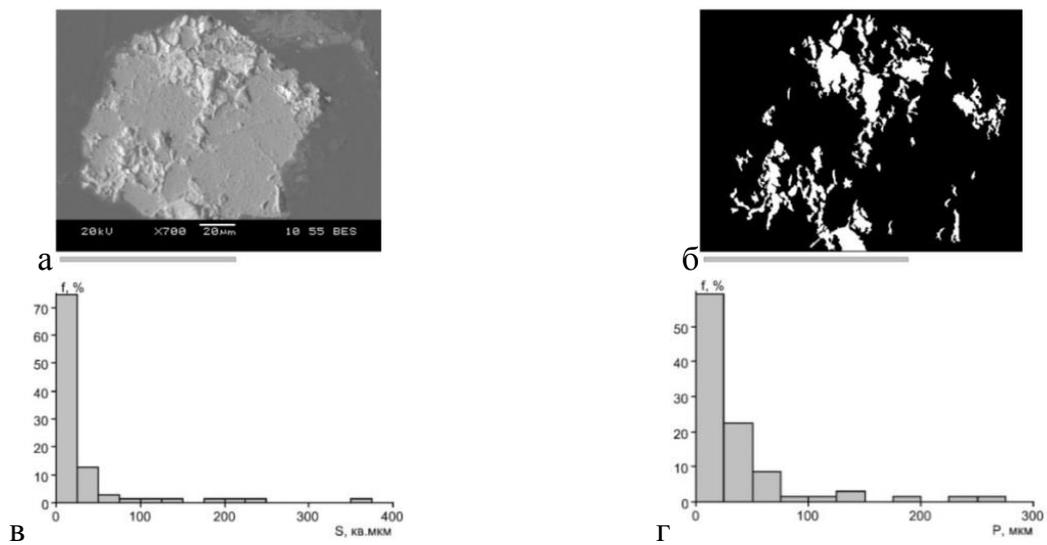


Рис. 8 Аллотриоморфные выделения: а – минеральный агрегат сфалерит-пиритового состава; б – аллотриоморфные выделения сфалерита; в – распределение площади; г – распределение периметра. СЭМ

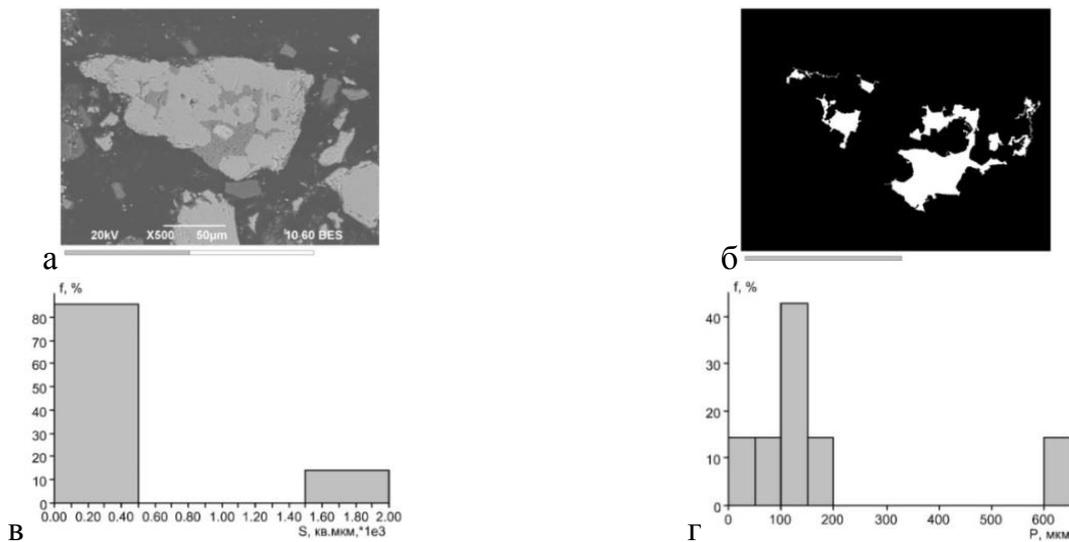


Рис. 9 Морфология разъедания: а – минеральный агрегат халькопирит-пиритового состава; б – выделения халькопирита (белое) с неровными зазубренными границами; в - гистограмма распределение значений площади зернистых выделений халькопирита; г - гистограмма распределение значений периметра зернистых выделений халькопирита. СЭМ

Каемочная структура обусловлена развитием узких полос размером доли миллиметра сфалерита или халькопирита частично или по всему контуру минерального агрегата пирита. Рудные каемки имеют мелкозернистое строение. Площадь зерен краевых каемок варьирует от 1,13 до 208,52 мкм², периметр – 4,25 – 638,12 мкм. В основном, преобладают формы площадью 0 - 5 мкм² и периметром 5 - 10 мкм. Границы между минералами – коррозионные (рис. 10).

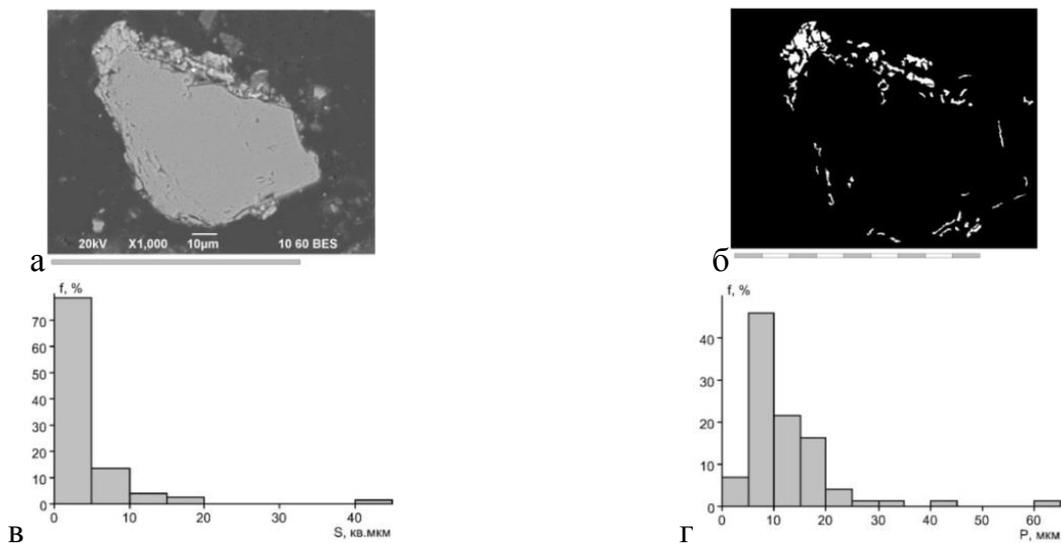


Рис. 10 Выделения краевых каемок: а – минеральный агрегат халькопирит-пиритового состава; б – выделения халькопирита (белое) с неровными зазубренными границами; в - гистограмма распределение значений площади зернистых выделений халькопирита; г - гистограмма распределение значений периметра зернистых выделений халькопирита. СЭМ

Фрамбоидальные агрегаты пирита сформированы плотно прилегающими практически округлыми зернами минерала, определяющими их сотовидное строение.

Эмульсионная структура замещения связана с тонкими закономерными сростаниями сфалерита и халькопирита (рис. 11). Площадь выделений 0,3 – 2,8 мкм², периметр – 2,28 – 9,71 мкм. Эмульсионные выделения имеют каплевидную и пластинчатую форму и отмечаются как в рудных, так и нерудных минералах.

Осколочные выделения представлены более твердыми и хрупкими минералами; такими, как пирит, кварц. Полости трещин иногда выполнены более поздними минералами (халькопирит, сфалерит и др.).

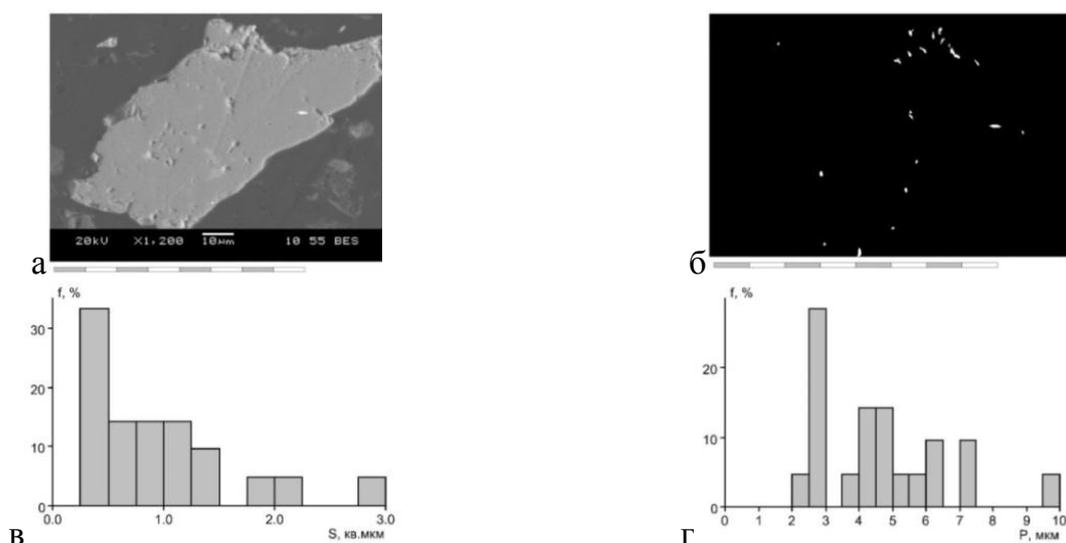


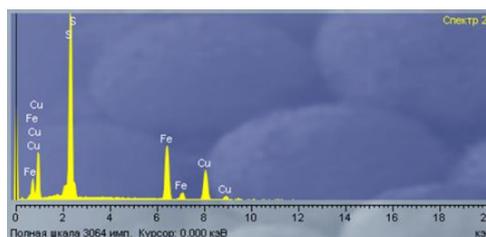
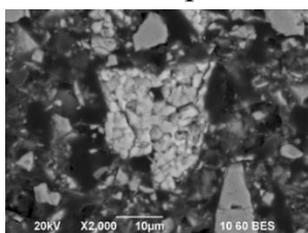
Рис. 11 Эмульсионные выделения: а – минеральный агрегат сфалерит-пиритового состава; б – выделения сфалерита (белое); в - гистограмма распределение значений площади эмульсионных выделений сфалерита; г - гистограмма распределение значений периметра эмульсионных выделений сфалерита. СЭМ

Минеральный состав текущих хвостов обогащения зависит от формационного типа колчеданных месторождений и от текстурных особенностей руды. Хвосты обогащения вкрапленных руд будут, в основном, сложены кварцем, а хвосты сплошных руд – пиритом.

Главные рудные минералы: пирит – 36 – 82%, халькопирит – до 1 %, сфалерит – до 2 %. В незначительном количестве присутствуют пирротин, галенит, арсенопирит, магнетит, ильменит, теннантит и фрейбергит. Главным нерудным минералом является кварц, содержание которого варьирует в широких пределах от 2 до 61 %. В подчиненном количестве встречаются серицит, кальцит, сидерит, барит, хлорит, гипс, тальк, иллит.

Халькопирит и сфалерит в хвостах обогащения встречаются в виде свободных зерен и агрегатов (сростков), которые по минеральному составу подразделяются на мономинеральные (халькопиритовые), биминеральные (халькопирит-пиритовые, халькопирит-сфалеритовые и др.) и полиминеральные (халькопирит-сфалерит-пиритовые и др.).

Наиболее распространенными являются халькопирит-пиритовые сростки (до 80 %). В свободных зернах халькопирит преобладает в материале крупностью менее 0,044 мм – от 7,2 % в хвостах обогащения руд Юбилейного месторождения до 19,3 % в хвостах обогащения руд Учалинского месторождения (табл. 3). Свободные зерна халькопирита имеют блочное строение и трещиноваты (рис. 12). Размер зерен не превышает 0,080 мм. В минеральных агрегатах халькопирит образует каплевидные эмульсионные выделения, выполняет интерстиции между зернами пирита и трещины в брекчированных агрегатах пирита, а также тесные сростания с другими минералами. Форма выделений минерала – аллотриоморфная. Границы между халькопиритом и другими минералами неровные, часто расплывчатые.

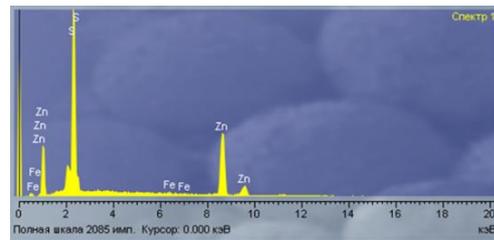
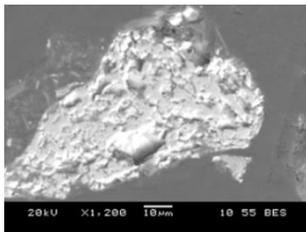


Cu	Fe	S	Сумма
33,78	31,80	34,42	100,00

Рис. 12 Строение свободного зерна халькопирита, его химический состав. СЭМ

Сфалерит в хвостах обогащения в основном встречается в сростках с пиритом (до 51,7%), реже с пиритом и халькопиритом, нерудными минералами. В свободных зернах сфалерит преобладает в материале крупностью менее 0,044 мм – от 9,95% в хвостах обогащения руд Александринского месторождения, до 30 и более процентов в хвостах других колчеданных месторождений (табл. 3). Поверхность свободных зерен сфалерита кавернозная, трещиноватая (рис. 13). Размер свободных зерен минерала не превышает 0,095 мм. В полиминеральных сростках сфалерит образует рассеянные и гнездовидные вкрапления, прожилки, интерстиционные выделения, а также агрегаты, в которых тесно ассоциирует с пиритом, халькопиритом и другими минералами.

Хвостобразующие компоненты образуют самостоятельные рудные и нерудные минеральные фазы, входят в состав минералов в виде изоморфных и механических примесей. В соответствии с современными процессами горно-металлургического производства химические компоненты целесообразно разделить на три группы: 1. главные - Cu, Zn; 2. примеси: а) полезные и особо ценные – Au, Ag, Pb, Ba, Cd; б) вредные - As; 3. образующие нерудную составляющую: Na, K, Ca, Al, Mg, Mn, Co, Ni, Ti, Fe. Форма нахождения химических компонентов в хвостах обогащения обычно определяется формационным типом месторождения.



Zn	Fe	S	Сумма
72,68	0,54	26,77	100,0

Рис. 13 Строение свободного зерна сфалерита, его химический состав. СЭМ

Следует отметить, что текущие хвосты обогащения руд Учалинского Александринского, Сибайского и Юбилейного месторождений основного цикла выделения характеризуются повышенным содержанием цветных металлов (Cu - 0,25 – 0,58 %, Zn - 0,53 – 1,36 %), приближенным к кондиционным рудам (Cu – более 0,4 %, Zn – более 1 %), что свидетельствует о целесообразности их переработки.

Важным критерием оценки технологических характеристик хвостов обогащения является распределение полезных компонентов по классам крупности. Анализ таблицы 4 показывает, что цветные металлы сконцентрированы в классе крупности – 0,044+0 мм. Исключением являются хвосты обогащения руд Александринского месторождения, в которых 38,66 % меди и 52,39 % цинка сосредоточены в материале крупностью + 0,074 мм.

Установлено, что морфология минеральных сростков в определенной степени влияет на процессы выщелачивания. В этом плане целесообразно выделить три группы хвостов обогащения колчеданных руд, отличающихся строением (структурой), определяющим показатели извлечения минералов: высокие, средние и низкие (табл. 5).

Для хвостов первой группы характерны такие типы срастания минералов (структуры), которые обеспечивают свободный доступ растворителя к ним и обуславливают максимальное извлечение цветных металлов в продуктивный раствор. В эту группу объединяются хвосты, имеющие идиоморфнозернистую, гипидиоморфнозернистую, аллотриоморфнозернистую, интерстиционную, фрамбоидную, краевых каемок и дробления структуры.

Таблица 3

Раскрываемость халькопирита в хвостах обогащения колчеданных руд

Классы крупности, мм	Выход класса, %	Халькопирит						
		Распре- деление, %	В свободных зернах, %	В сростках, %				
				Py+Chp	Chp+Sph	Py+Chp+Sph	Chp+He	Polymineral
<i>хвосты обогащения колчеданных руд Учалинского месторождения</i>								
0,074	15,0	9,0	0,1	8,1	0,2	0,3	0,1	0,3
-0,074+0,044	11,8	10,2	0,0	7,3	0,4	1,9	0,2	0,4
-0,044	73,2	80,8	19,3	52,2	1,6	6,3	0,5	0,9
<i>хвосты обогащения колчеданных руд Александринского месторождения</i>								
0,074	42,0	38,7	1,6	22,1	0,0	4,6	6,5	3,9
-0,074+0,044	13,0	14,5	0,2	8,4	0,1	1,6	1,8	2,5
-0,044	45,0	46,8	12,6	25,8	1,4	3,6	2,6	0,8
<i>хвосты обогащения (основной цикл выделения) колчеданных руд Сибайского месторождения</i>								
0,074	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
-0,074+0,044	8,4	6,5	0,5	4,8	0,1	0,4	0,5	0,3
-0,044	91,5	93,5	11,7	68,7	1,4	4,7	0,7	6,3
<i>хвосты обогащения (основной цикл выделения) колчеданных руд Юбилейного месторождения</i>								
0,074	1,2	0,9	0,0	0,6	0,1	0,1	0,0	0,1
-0,074+0,044	5,0	4,3	0,5	2,7	0,6	0,2	0,3	0,1
-0,044	93,8	94,8	7,2	80,0	3,2	2,7	0,6	1,0

Примечание: Py - пирит, Chp – халькопирит, Sph – сфалерит, He – нерудный минерал, Polymineral – полиминеральный сросток.

Таблица 4

Раскрываемость сфалерита в хвостах обогащения колчеданных руд

Классы крупности, мм	Выход класса, %	Сфалерит						
		Распре- деление, %	В свободных зернах, %	В сростках, %				
				Pу+Sph	Chp+Sph	Pу+Chp+Sph	Sph+He	Polymineral
<i>хвосты обогащения колчеданных руд Учалинского месторождения</i>								
0,074	15,0	13,0	0,0	11,1	0,2	0,3	0,9	0,6
-0,074+0,044	11,8	8,8	0,1	5,7	0,4	1,9	0,2	0,4
-0,044	73,2	78,2	31,2	36,8	1,6	6,3	2,2	0,1
<i>хвосты обогащения колчеданных руд Александринского месторождения</i>								
0,074	42,0	52,4	2,05	22,30	0,0	4,6	12,2	11,3
-0,074+0,044	13,0	12,8	0,60	7,20	0,1	1,6	0,6	2,8
-0,044	45,0	34,8	9,95	15,90	1,4	3,6	3,5	0,4
<i>хвосты обогащения (основной цикл выделения) колчеданных руд Сибайского месторождения</i>								
0,074	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-0,074+0,044	8,4	6,7	0,8	3,9	0,1	0,4	0,5	1,1
-0,044	91,5	93,2	34,1	50,5	1,4	4,7	1,6	0,8
<i>хвосты обогащения (основной цикл выделения) колчеданных руд Юбилейного месторождения</i>								
0,074	1,2	1,1	0,0	0,9	0,1	0,1	0,0	0,0
-0,074+0,044	5,0	5,0	0,5	3,8	0,3	0,1	0,1	0,2
-0,044	93,8	93,9	27,3	51,7	3,2	2,7	6,4	2,6

Таблица 5

Распределение меди и цинка по классам крупности

Классы крупности, мм	Выход класса, %	Массовая доля, %		Распределение, %	
		Cu	Zn	Cu	Zn
<i>Хвосты обогащения руд Учалинского месторождения</i>					
+0,074	14,99	0,18	0,52	9,01	13,00
-0,074+0,044	11,76	0,26	0,45	10,22	8,82
-0,044+0	73,25	0,33	0,64	80,77	78,18
<i>Хвосты обогащения руд Александринского месторождения</i>					
+0,074	42,02	0,23	0,66	38,66	52,39
-0,074+0,044	13,0	0,28	0,52	14,56	12,77
-0,044+0	44,98	0,26	0,41	46,78	34,84
<i>Хвосты обогащения руд Сибайского месторождения (основной цикл выделения)</i>					
+0,074	0,08	0,4	0,72	0,07	0,05
-0,074+0,044	8,4	0,37	0,88	6,48	6,72
-0,044+0	91,52	0,49	1,12	93,45	93,23
<i>Хвосты обогащения руд Юбилейного месторождения (основной цикл выделения)</i>					
+0,074	1,18	0,42	1,34	0,91	1,16

Таблица 6

Влияние строения хвостов обогащения колчеданных руд на извлечение ценных компонентов при гидрометаллургическом переделе

Показатели извлечения цветных металлов	Структура хвостов	Морфология минералов цветных металлов	Обоснование показателей извлечения
Высокие	Идиоморфно-зернистая	Зерна пирита разной степени идиоморфизма срastaются с аллотриоморфными образованиями сульфидов цветных металлов. Границы срastаний минералов - ровные.	Сульфиды цветных металлов локализованы в доступных для проникновения растворов местах – каймы, трещины, интерстиции.
	Гипидиоморфно-зернистая		
	Аллотриоморфнозернистая	Сульфиды цветных металлов выполняют пространство или интерстиции между зернами пирита.	
	Интерстиционная	Границы срastаний минералов – неровные, волнистые.	
	Фрамбоидальная	Аллотриоморфные выделения сульфидов	

Показатели извлечения цветных металлов	Структура хвостов	Морфология минералов цветных металлов	Обоснование показателей извлечения
		цветных металлов срastaются с фрамбоидами пирита. Границы срastаний минералов – неровные, волнистые.	
	Каемчатая, фонарная (краевые каемки)	Кольцевые атоллоидные каемки сульфидов цветных металлов вокруг пирита. Границы срastаний минералов – неровные, зазубренные.	
	Дробления	Сульфиды цветных металлов развиваются по трещинам пирита. Границы срastаний минералов от ровных до неровных.	
Средние	Замещения Разъедания	Тонкие срastания минералов. Зазубренные границами между ними.	Минералы ценных компонентов являются продуктом замещения и образуют сложные формы срastаний, тем самым затрудняя процесс растворения и перевода металла в раствор.
Низкие	Пойкилитовая Эмульсионная Пластинчатая	Тонкие и субмикроскопические выделения сульфидов цветных металлов разной степени идиоморфизма в рудной или нерудной матрице. Границы срastаний минералов – ровные.	Сульфиды цветных металлов встречаются в виде обособленных выделений в минеральной матрице, доступ выщелачивающих растворов практически невозможен.

Хвосты второй группы характеризуются сложными формами сростаний минералов с зазубренными границами между ними, неоднородностью минерального состава, что затрудняет процесс доступа растворителя к минералам с последующим их растворением.

Структуры хвостов третьей группы определяют низкое извлечение. В эту группу объединяются хвосты с весьма сложным структурным рисунком (пойкилитовые, эмульсионные и пластинчатые). Микрометровые размеры выделений и их обособленное расположение в «минерале-хозяине» затрудняют доступ растворителя к минералам.

Положение 4. Минералогическими критериями оценки технологических свойств текущих хвостов обогащения, определяющими их вовлечение в переработку и выбор ее технологии, являются: содержание полезных компонентов, форма их нахождения, распределение рудных минералов по классам крупности, их количество в полиминеральных сростках, присутствие самостоятельных минеральных фаз, сростков открытого типа, легкорастворимых минералов, отсутствие слоистых силикатов и сорбентов, трещиноватость и пористость.

Вовлечение в переработку текущих хвостов обогащения – наиболее перспективное современное направление технологической минералогии, позволяющее решать проблемы комплексного использования вторичных ресурсов полезных ископаемых и защиты окружающей среды от загрязнения. На основе межотраслевой кооперации предполагается получать основные и сопутствующие компоненты из текущих хвостов обогащения, а также использовать отходы обогащения для закладки выработанного пространства подземных рудников, рекультивации карьеров, материала для дорожных покрытий и стройматериалов.

Научная проблема состоит в организации системного анализа процессов переработки или утилизации отходов обогатительного передела, включающего: определение минералогических критериев оперативной оценки целесообразности и эффективности технологии переработки или утилизации; формирование минералогических критериев в виде предикатов для оценки вариантов технологии переработки отходов; разработка алгоритма выбора технологии переработки или утилизации; упорядочение исходной информации по отходам обогащения.

Промышленное освоение текущих хвостов обогащения может осуществляться путем их переработки или утилизации. Выбор конкурентных технологических решений зависит от технологических характеристик отходов обогащения, имеющихся финансовых средств и региональных особенностей. Различные решения дают неодинаковый экологический, экономический и социальный эффект.

При обосновании выбора технологических решений основной является разработка минералогических критериев оперативной оценки хвостов обогащения.

Возможность вовлечения отходов в переработку определяется критерием содержания полезных компонентов (K_1) в текущих хвостах обогащения.

Разработаны следующие методы переработки хвостов обогащения: репульпация лежалых хвостов с последующей перефлотацией; классификация с доизмельчением песковой фракции и последующей флотацией; гравитационные методы обогащения с последующей флотацией; автоклавного окислительного выщелачивания; агитационного чанового выщелачивания; кучного бактериально-химического выщелачивания; кучного выщелачивания хвостов обогащения после их предварительного окомкования.

Все перечисленные методы можно разделить на две альтернативные группы технологий обогащения и выщелачивания. По целому ряду экономических факторов процесс дофлотации предпочтительнее процесса выщелачивания. Этим определяются приоритеты: в первую очередь рассматривается целесообразность дофлотации, во вторую – выщелачивания.

Критериями выбора технологии переработки являются: форма нахождения полезного компонента в минералах (K_2); распределение рудных минералов по классам крупности (K_3); содержание рудного минерала в полиминеральных сростках (K_4).

Для каждой альтернативной группы технологий определены критерии эффективности.

Критерии эффективности дофлотации: нахождение рудных минералов в мономинеральных сростках; минеральные сростки открытого типа; наличие трещиноватости и пористости в полиминеральных сростках.

К критериям эффективности выщелачивания можно отнести: концентрацию полезных компонентов в виде самостоятельных минералов; нахождение рудных минералов в мономинеральных сростках; минеральные сростки открытого типа; рудные минералы легкорастворимые; наличие трещиноватости, пористости; отсутствие слоистых силикатов; отсутствие сорбентов.

В соответствии с выбранными приоритетами минералогические критерии можно сформулировать в виде предикатов, определяющих пригодность текущих хвостов обогащения к процессам переработки или утилизации:

1. Количество присутствующих в сырье в значимых количествах полезных компонентов $NComp$;

2. Кондиционное содержание полезного компонента $Cond_i, i = 1, \dots, NComp$.

3. Полезные компоненты образуют самостоятельные минералы и встречаются в виде мономинеральных агрегатов P_1 ;

4. Полезные компоненты образуют самостоятельные минералы и встречаются в виде полиминеральных агрегатов P_2 ;

5. Содержание рудных минералов в крупном классе (+74 мкм) P_3 ;

6. Рудный минерал в полиминеральном сростке является преобладающим P_4 ;

7. Минеральные сростки открытого типа P_5 ;

8. Наличие трещиноватости и пористости в полиминеральных сростках P_6 ;

9. Рудные минералы легкорастворимые P_7 ;

10. Отсутствие слоистых силикатов P_8 ;

11. Отсутствие сорбентов P_9 .

Для хвостов обогащения выполняется следующее неравенство (7):

$$Con_i < Cond_i, i = 1, \dots, NComp, \quad (7)$$

где Con_i – содержание i полезного компонента в текущих хвостах обогащения.

Целесообразность переработки текущих хвостов обогащения определяется истинным предикатом (8):

$$W = \exists i(1 \leq i \leq NComp_i), Con_i \geq k_i \cdot Cond_i, k_i < 1, \quad (8)$$

где k_i характеризуют максимальное отличие содержания полезного компонента в текущих хвостах обогащения по сравнению с кондиционным содержанием в рудах. Если предикат (8) не выполняется, отходы обогащения подлежат утилизации.

Условие целесообразности проведения процесса дофлотации можно выразить следующим предикатом (9):

$$Fpos = W \wedge P_3 \wedge (P_1 \vee (P_2 \vee P_4)). \quad (9)$$

Переработка способом дофлотации возможна, если текущие хвосты обогащения характеризуются повышенным содержанием полезных компонентов, приближенным к кондиционному, рудные минералы концентрируются в классе крупности + 74 мкм и образуют мономинеральные сростки или рудные минералы встречаются в виде полиминеральных сростков и являются там преобладающими. Истинность предиката (9) гарантирует принципиальную возможность дофлотации. Окончательный выбор технологического процесса можно сделать, используя характеристики P_5 и P_6 .

Указанные характеристики независимы, их сочетания можно выразить с помощью четырех предикатов (10 – 13):

$$Q_1 = P_5 \wedge P_6; \quad (10)$$

$$Q_2 = P_5 \wedge \overline{P_6}; \quad (11)$$

$$Q_3 = \overline{P_5} \wedge P_6; \quad (12)$$

$$Q_4 = \overline{P_5} \wedge \overline{P_6}. \quad (13)$$

Условие эффективности проведения дофлотации (14):

$$Fpract = Fpos \wedge (Q_1 \vee Q_2 \vee Q_3). \quad (14)$$

Эффективность дофлотации возможна, если выполняются условия целесообразности дофлотации (3) и полиминеральные сростки открытого типа и трещиноватые (4) или полиминеральные сростки открытого типа и не трещиноватые (5) или полиминеральные сростки закрытого типа и трещиноватые (6).

В случае, когда установлена нецелесообразность и неэффективность проведения дофлотации, необходимо проверить эффективность проведения процесса выщелачивания. Для этого формулируем дополнительные условия, характеризующие процесс выщелачивания (15 – 23):

$$R_1 = P_7 \wedge P_8 \wedge P_9; \quad (15)$$

$$R_2 = P_7 \wedge P_8 \wedge \overline{P_9}; \quad (16)$$

$$R_3 = P_7 \wedge \overline{P_8} \wedge P_9; \quad (17)$$

$$R_4 = \overline{P_7} \wedge P_8 \wedge P_9; \quad (18)$$

$$R_5 = P_7 \wedge \overline{P_8} \wedge \overline{P_9}; \quad (19)$$

$$R_6 = \overline{P_7} \wedge P_8 \wedge \overline{P_9}; \quad (20)$$

$$R_7 = \overline{P_7} \wedge \overline{P_8} \wedge P_9; \quad (21)$$

$$R_8 = \overline{P_7} \wedge \overline{P_8} \wedge \overline{P_9}; \quad (22)$$

$$R = R_1 \vee R_2 \vee R_3 \vee R_4 \vee R_5 \vee R_6 \vee R_7. \quad (23)$$

Условия, при выполнении которых процесс выщелачивания целесообразен, примут следующий вид (24 –26):

$$Al_1 = \overline{Fpos} \wedge Q_4 \wedge R; \quad (24)$$

$$Al_2 = W \wedge (\overline{P_3} \vee \overline{P_4}); \quad (25)$$

$$Alpract = Al_1 \vee Al_2. \quad (26)$$

Таким образом, детерминированная подсистема действует по алгоритму, представленному на рисунке 14.

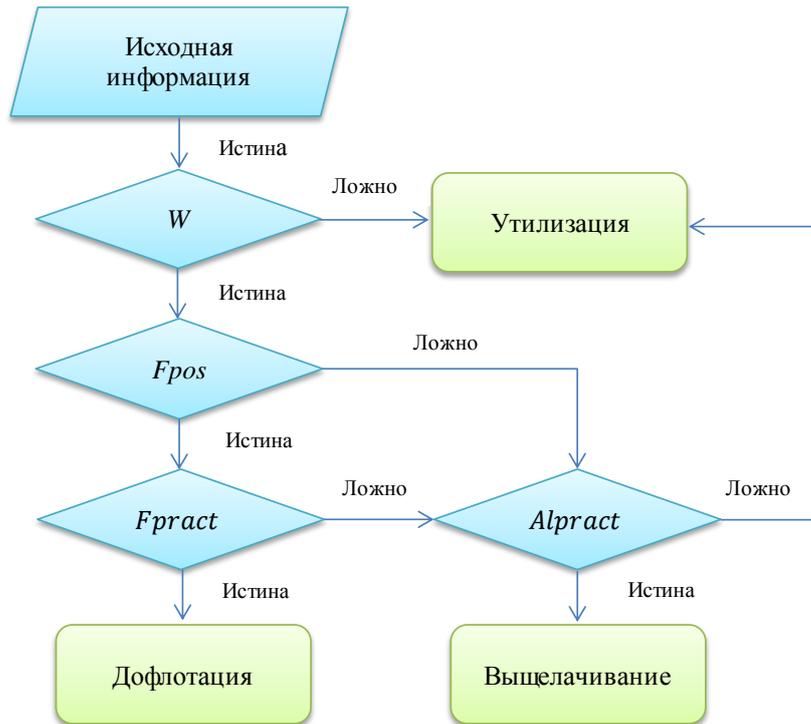


Рис. 14 Алгоритм выбора способа переработки текущих хвостов обогащения

Упорядочение исходной информации подразумевает создание программы базы данных. Разработанная программа включает в себя пять основных пошаговых операций (рис. 15). Первые три – это формирование основных информационных массивов, взаимосвязанных друг с другом. Первый массив предусматривает характеристику сырьевой базы предприятия, второй – горно-обогатительного предприятия, третий – отходов обогащения.

Четвертый шаг определяет целесообразность извлечения полезных компонентов из отходов обогащения. Для этого дополнительно вводится информация по кондиционному содержанию полезного компонента в рудах и содержанию этого компонента в хвостах обогащения, а также максимальное отклонение (k) вышеперечисленных величин. Значение коэффициента отклонения зависит от экономических показателей предприятия.

Если целесообразность переработки хвостов обогащения подтверждается, то следующим пятым шагом является ввод дополнительной информации по

текущим хвостам обогащения с получением рекомендаций по переработке. Если целесообразность переработки хвостов обогащения не подтверждается, то текущие хвосты обогащения подлежат утилизации.

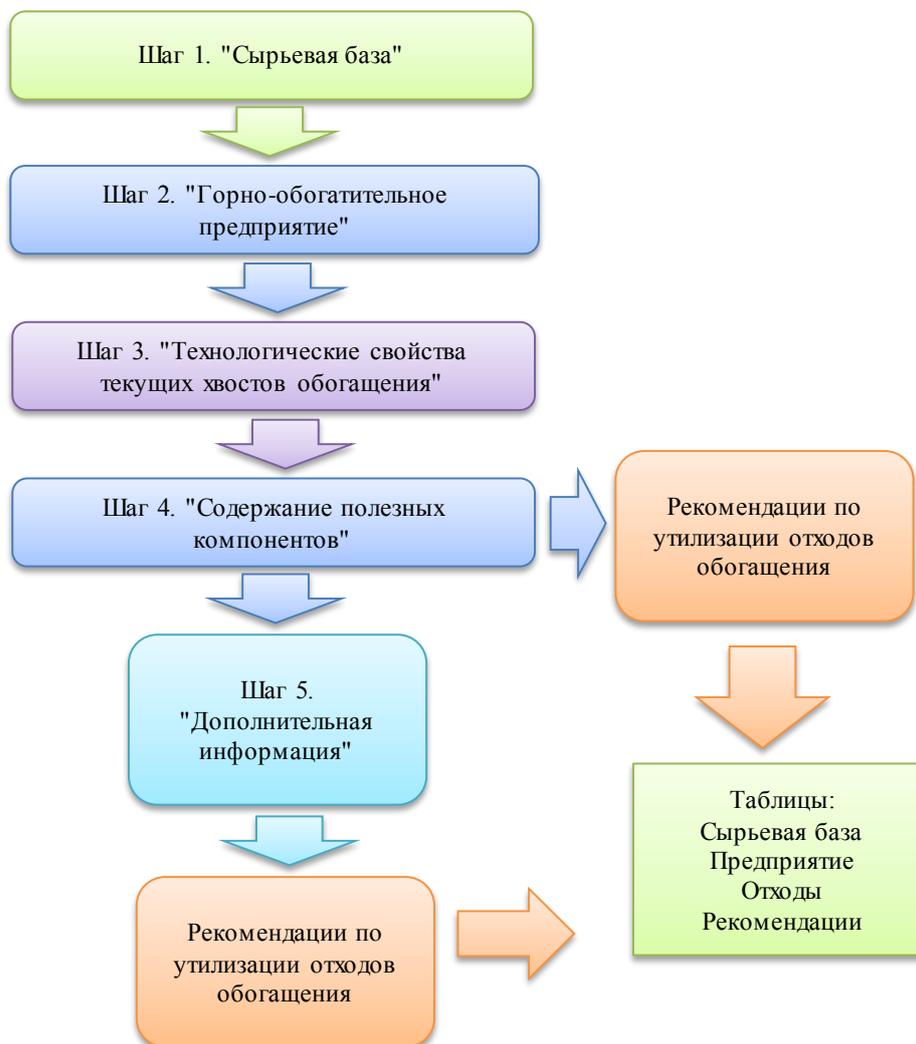


Рис. 15 Схема базы данных

Программа база данных завершается оформлением таблиц «Сырьевая база», «Предприятие», «Отходы» и «Рекомендации».

Предложенная база данных, предопределяющая выбор возможной технологии переработки или утилизации, позволяет систематизировать и типизировать текущие хвосты обогащения. База данных является пополняемой и применима ко всем отходам обогатительного производства, независимо от исходного минерального сырья.

Заключение

Объективная минералого-технологическая оценка текущих хвостов обогащения колчеданных руд позволила обосновать целесообразность их вовлечения в переработку на современном этапе развития технологии, тем самым решая проблему дефицита минерального сырья горных предприятий Южного Урала и улучшая экологическую нагрузку в регионе.

Выявлены черты сходства и различия текущих хвостов обогащения колчеданных руд, определяемые структурно-формационным типом месторождений, технологической схемой добычи, рудоподготовкой и способом обогащения. Отходы отличаются гранулярным составом и морфологическими особенностями обломков минеральных агрегатов и минералов, степенью их раскрываемости и химическим составом, что определяет выбор технологии переработки.

Определены минералого-геологические и горно-технические факторы образования текущих хвостов обогащения, позволяющие прогнозировать и управлять изменением их минерального состава и строения с учетом структурно-формационного типа месторождения, процесса рудообразования, метаморфизма и тектоники месторождения, способа и системы добычи и переработки руды.

Впервые разработана классификация текущих хвостов обогащения колчеданных руд Южного Урала, представляющая собой систему отдельных группировок, сформированных по совокупности приоритетных признаков, отражающих их технологические характеристики, и типизирована полученная информация с последующим присвоением кода, что способствует упорядочению исходной информации по текущим хвостам обогащения в виде базы данных техногенного сырья и оперативному принятию технологических решений.

Адаптирована методика исследования текущих хвостов обогащения колчеданных руд, заключающаяся в получении полной и достоверной информации о технологических свойствах сложного тонкодисперсного полиминерального техногенного сырья путем применения комплекса минералого-аналитических методов, необходимой для оперативной минералого-технологической оценки текущих хвостов обогащения колчеданных руд и обоснования выбора технологии их переработки или утилизации.

С использованием математической модели описания выбор технологии переработки или утилизации отходов обогатительного передела производится с учетом их технологических характеристик, позволяющего решать проблемы комплексного использования вторичных техногенных ресурсов и защиты окружающей среды от загрязнения. Сформулированы минералого-технологические критерии, определяемые природно-технологическими характеристиками отходов обогащения.

Основные публикации по теме диссертации

Статьи в рецензируемых научных журналах и изданиях по перечню, рекомендованному ВАК РФ

1. Шадрунова, И.В., Ляховец, К.А., Горбатова, Е.А. Исследование процессов вторичного минералообразования медьсодержащих руд месторождения Бакр-Узяк / И.В.Шадрунова, К.А.Ляховец, Е.А.Горбатова // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2001. - № 2. - С.138-140.

2. Шадрунова, И.В., Сизиков, А.В., Сыромятникова, М.В., Горбатова, Е.А., Радченко, Д.Н. Закономерности формирования технологических свойств хвостов обогащения медно-цинковых руд / И.В.Шадрунова, А.В.Сизиков,

М.В.Сыромятникова, Е.А.Горбатова, Д.Н.Радченко // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2002. - № 4. - С.191-194.

3. Рыльникова, М.В., Горбатова, Е.А., Маннанов, Р.Ш. Фазовые переходы минерального вещества в процессе подготовки медноколчеданных руд к отработке / М.В.Рыльникова, Е.А.Горбатова, Р.Ш.Маннанов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2003. - № 4. - С.184 - 186.

4. Рыльникова, М.В., Петрова, О.В., Горбатова, Е.А. Оценка экономической эффективности физико-химической геотехнологии освоения забалансовых запасов Октябрьского и Узельгинского месторождений / М.В.Рыльникова, О.В.Петрова, Е.А.Горбатова, // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2004. - № 4. - С.224-228.

5. Рыльникова, М.В., Старостина, Н.Н., Горбатова, Е.А. Исследование геохимических процессов при освоении медноколчеданных месторождений / М.В.Рыльникова, Н.Н.Старостина, Е.А.Горбатова // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2004. - № 11. - С.225-228.

6. Рыльникова, М.В., Горбатова, Е.А., Старостина, Н.Н. Минераграфические факторы физико-химической геотехнологии освоения колчеданных руд / М.В.Рыльникова, Е.А.Горбатова, Н.Н.Старостина // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2005. - № 11. - С.255-258.

7. Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А. Минералогические и структурно-текстурные особенности колчеданных руд Учалинского месторождения, влияющие на процессы физико-химической геотехнологии / Е.А.Горбатова, Е.А.Емельяненко // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. - 2009. - № 1. - С.10-12.

8. Рыльникова, М.В., Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А. Минералогическая характеристика техногенного сырья, полученного при освоении медноколчеданных месторождений / М.В.Рыльникова, Е.А.Горбатова, Е.А.Емельяненко // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2011. - № 2. - С.222-230.

9. Рыльникова, М.В., Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А. Исследование технологических свойств техногенных объектов медноколчеданных месторождений / М.В.Рыльникова, Е.А.Горбатова, Е.А.Емельяненко // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2011. - № 6. - С.148-156.

10. Рыльникова, М.В., Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А. Моделирование режимов выщелачивания ценных компонентов из техногенных отходов медноколчеданных месторождений / М.В.Рыльникова, Е.А.Горбатова, Е.А.Емельяненко // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2011. - № 8. - С.146-150.

11. Рыльникова, М.В., Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А. Закономерности гипергенного минералообразования в модельных системах кучного выщелачивания техногенных отходов медноколчеданных месторождений / М.В.Рыльникова, Е.А.Горбатова, Е.А.Емельяненко // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2011. - № 9. - С.316-321.

12. Горбатова, Е.А. Минералогические особенности медно-цинковых руд Майского месторождения / Е.А.Горбатова // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2011. - № 10. - С.242-246.

13. Рыльникова, М.В., Горбатова, Е.А. Минераграфический анализ хвостов обогащения медноколчеданных руд Юбилейного месторождения / М.В.Рыльникова, Е.А.Горбатова // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2011. - № 10. - С.269-275.

14. Горбатова, Е.А., Пузанкова, Е.А. Анализ дисперсного состава текущих хвостов обогащения колчеданных руд Южного Урала / Е.А.Горбатова, Е.А.Пузанкова // Маркшейдерский вестник. - 2012. - № 1. - С.65-69.

15. Ожогина, Е.Г., Горбатова, Е.А. Влияние морфоструктурного состава отходов обогащения руд цветных металлов на извлечение ценных компонентов при их гидрометаллургическом переделе / Е.Г.Ожогина, Е.А.Горбатова // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. - 2012. № 1. - С.10-12.

16. Горбатова, Е.А. Факторы формирования технологических свойств отходов горно-обогатительного производства колчеданных месторождений Южного Урала / Е.А.Горбатова // Известие высших учебных заведений. Горный журнал. - 2012. - № 3. - С.139-146.

17. Ожогина, Е.Г., Горбатова, Е.А. Морфоструктурные особенности отходов обогатительного передела / Е.Г.Ожогина, Е.А.Горбатова // Разведка и охрана недр. – 2013. - №7. - С.39-42.

Монография

18. Рыльникова, М.В., Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А. Условия и процессы вторичного минералообразования при эксплуатации медно-колчеданных месторождений: монография / М.В.Рыльникова, Е.А.Горбатова, Е.А.Емельяненко. - М.: РАН «ИПКОН РАН», 2009. - 185 с.

Патент

19. Патент РФ № 2327863, МПК E21B 43/28 Способ разработки залежей некондиционных полиметаллических руд / Рыльникова М.В., Горбатова Е.А., Радченко Д.Н., Абдрахманов И.А., Илимбетов А.Ф. // БИПМ, 2008. - №18. - С.735.

20. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013611533. Компьютерное моделирование многокомпонентных равновесных систем «Эквилибриум» / Горбатова Е.А., Зарецкий М.В., Дюскина А.И., Шияхметова И.З. // ОБПБТ, 2013. - №1. – С.22.

Учебные пособия

21. Кобелькова, В.Н., Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А. Процессы минералообразования: учебное пособие / В.Н.Кобелькова, Е.А.Горбатова, Е.А.Емельяненко. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. - 52 с.

22. Кобелькова, В.Н., Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А. Основы кристаллографии и минералогии: учебное пособие / В.Н.Кобелькова, Е.А.Горбатова, Е.А.Емельяненко. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. – 75 с.

Материалы международных, всероссийских и региональных конференций

23. Горбатова, Е.А., Ляховец, К.А. Минеральный состав и строение окисленных вкрапленных руд Бакр-Узякского месторождения / Е.А.Горбатова, К.А.Ляховец // Освоение запасов мощных рудных месторождений: Межвузовский сборник научных трудов. - Магнитогорск: МГТУ, 2000. - С.14 - 16.

24. Ляховец, К.А., Горбатова, Е.А. Растворимость сульфидных минералов / К.А.Ляховец, Е.А.Горбатова // Освоение запасов мощных рудных месторождений: Межвузовский сборник научных трудов. - Магнитогорск: МГТУ, 2000. - С.209-211.

25. Шадрунова, И.В., Рыльникова, М.В., Горбатова, Е.А. Исследование процессов очистки медьсодержащих промышленных стоков на техногенных геохимических барьерах / И.В.Шадрунова, М.В.Рыльникова, Е.А.Горбатова // 300 лет Уральской металлургии: Тезисы докладов международного конгресса. - Екатеринбург, 2001. - С.148–149.

26. Рыльникова, М.В., Шадрунова, И.В., Горбатова, Е.А. Обоснование технологии предподготовки сульфидных руд к освоению / М.В.Рыльникова, И.В.Шадрунова, Е.А.Горбатова // Комбинированная геотехнология: проектирование и геомеханические основы: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. - Магнитогорск: МГТУ, 2001. - С.61 – 62.

27. Дюльдина, Э.В., Ляховец, К.А., Горбатова, Е.А. Изучение качественных характеристик медьсодержащих руд физико-химическими методами / Э.В.Дюльдина, К.А.Ляховец, Е.А.Горбатова // Комбинированная геотехнология: проектирование и геомеханические основы: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. - Магнитогорск: МГТУ, 2001. – С.57 – 58.

28. Шадрунова, И.В., Рыльникова, М.В., Горбатова, Е.А. Геотехнологическая подготовка медноколчеданных руд к обогащению / И.В.Шадрунова, М.В.Рыльникова, Е.А.Горбатова // Развитие идей И.Н. Плаксина в области обогащения полезных ископаемых и гидрометаллургии: Тезисы докладов Плаксинских чтений. - Чита, 2002. - С.153-154.

29. Шадрунова, И.В., Горбатова, Е.А., Власов, С.И. Обоснование целесообразности применения комбинированных флотационно-гидрометаллургических схем при переработке медно-цинковых руд / И.В.Шадрунова, Е.А.Горбатова, С.И.Власов // Развитие идей И.Н. Плаксина в области обогащения полезных ископаемых и гидрометаллургии: Тезисы докладов Плаксинских чтений. - Чита, 2002. - С.154-155.

30. Большакова, Т.В., Радченко, Д.Н., Горбатова, Е.А., Власов, С.И. Ультразвуковая и электрохимическая интенсификация сернокислотного выщелачивания природного и техногенного медьсодержащего сырья / Т.В.Большакова, Д.Н.Радченко, Е.А.Горбатова, С.И.Власов // Молодежь и наука – третье тысячелетие: Сборник материалов межрегионального научного фестиваля. - Красноярск, 2002. - С.158 – 159.

31. Рыльникова, М.В., Горбатова, Е.А. Геотехнологическая подготовка медноколчеданных руд Узельгинского месторождения к промышленному освоению / М.В.Рыльникова, Е.А.Горбатова // Комбинированная геотехнология:

развитие способов добычи и безопасность горных работ: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. - Магнитогорск: МГТУ, 2003. - С.64 – 65.

32. Шадрунова, И.В., Сыромятникова, Н.В., Горбатова, Е.А. Отчистка медьсодержащих промышленных стоков на техногенных геохимических барьерах / И.В.Шадрунова, Н.В.Сыромятникова, Е.А.Горбатова // Комбинированная геотехнология: развитие способов добычи и безопасности горных работ: Сборник статей международной научно-технической конференции. - Магнитогорск: МГТУ, 2003. - С.183 – 189.

33. Шадрунова, И.В., Горбатова, Е.А. Особенности распределения платины и платиноидов по продуктам обогащения медно-цинковых руд / И.В.Шадрунова, Е.А.Горбатова // Современные методы оценки технологических свойств труднообогатимого и нетрадиционного минерального сырья благородных металлов и алмазов, прогрессивные технологии их переработки: Тезисы докладов Плаксинских чтений, Иркутск, 13 – 17 сентября 2004 г. - М.:Альтекс, 2004. - С.39 - 40.

34. Гришина, Е.А., Горбатова, Е.А. Исследование условий механизма фазовых переходов медных и цинковых минералов в процессе геотехнологической подготовки колчеданных месторождений / Е.А.Гришина, Е.А.Горбатова // Конкурс грантов студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Челябинской области: Сборник рефератов научно-исследовательских работ студентов. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. - С.89 – 90.

35. Рыльникова, М.В., Горбатова, Е.А., Лапин, В.А. Технология подземной разработки некондиционных руд медноколчеданных месторождений с предварительным обогащением на месте залегания / М.В.Рыльникова, Е.А.Горбатова, В.А.Лапин // Труды международной конференции «Проблемы и перспективы развития горных наук». – Новосибирск: Институт горного дела СО РАН, 2006. - С.309 – 315.

36. Орлов, М.П., Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А. Исследование процессов вторичного минералообразования в техногенных массивах / М.П.Орлов, Е.А.Горбатова, Е.А.Емельяненко // Комбинированная геотехнология: развитие физико-химических способов добычи: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. - Магнитогорск: МГТУ, 2007. - С.85 – 86.

37. Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А. Методика подбора состава комплексного растворителя для выщелачивания руд сложного вещественного состава / Е.А.Горбатова, Е.А.Емельяненко // Комбинированная геотехнология: развитие физико-химических способов добычи: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. - Магнитогорск: МГТУ, 2007. - С.87 – 88.

38. Емельяненко, Е.А., Радченко, Д.Н., Горбатова, Е.А. Особенности процессов техногенного минералообразования при сернокислотном кучном выщелачивании медноколчеданных руд / Е.А.Емельяненко, Д.Н.Радченко, Е.А.Горбатова // Комбинированная геотехнология: развитие физико-химических способов добычи: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. - Магнитогорск: МГТУ, 2007. - С.109 –111.

39. Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А., Ангелова, Е.И. Особенности техногенного преобразования недр Сибайского горнопромышленного района / Е.А.Горбатова, Е.А.Емельяненко, Е.И.Ангелова // Комбинированная геотехнология: развитие физико-химических способов добычи: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. - С.113 –114.

40. Емельяненко, Е.А., Горбатова, Е.А., Бобощенко, А.А. Рекультивация техногенных отвалов на примере Учалинского месторождения / Е.А.Емельяненко, Е.А.Горбатова, А.А.Бобощенко // Материалы 66-й научно-технической конференции: Сборник докладов. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. – Т 1. – С. 224 – 225.

41. Емельяненко, Е.А., Горбатова, Е.А., Ангелова, Е.И., Ангелов, В.А. Влияние комплексных растворителей на кинетику выщелачивания отходов обогащения медноколчеданных руд / Е.А.Емельяненко, Е.А.Горбатова, Е.И.Ангелова, В.А.Ангелов // Материалы 66-й научно-технической конференции: Сборник докладов. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. - С.226 – 230.

42. Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А. Техногенное образование малахита и азурита на примере месторождения Бакр-Узяк / Е.А.Горбатова, Е.А.Емельяненко // Добыча, обработка и применение природного камня: Сборник научных трудов. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. - С.247 – 251.

43. Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А. Изучение особенностей технологических свойств массива техногенных отходов Учалинского ГОКа после сернокислотного выщелачивания / Е.А.Горбатова, Е.А.Емельяненко // Комбинированная геотехнология: развитие физико-химических способов добычи: Материалы международной научно-технической конференции, г. Сибай, 2007. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. – С.142 –148.

44. Емельяненко, Е.А., Горбатова, Е.А. Установление взаимосвязи процессов техногенного минералообразования с особенностями минерального состава и структурно-текстурных характеристик пород, слагающих диабазовые отвалы Учалинского ГОКа / Е.А.Емельяненко, Е.А.Горбатова // Комбинированная геотехнология: развитие физико-химических способов добычи: Материалы международной научно-технической конференции, г. Сибай, 2007. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. – С.148 –156.

45. Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А. Технологическая характеристика техногенного сырья медноколчеданных месторождений / Е.А.Горбатова, Е.А.Емельяненко // Комбинированная геотехнология: комплексное освоение и сохранение недр земли: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. - С.149 –150.

46. Ангелов, В.А., Ангелова, Е.И., Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А. Хвостохранилище отходов медноколчеданных руд как техногенный минеральный объект (на примере хвостохранилища УГОКа) / В.А.Ангелов, Е.И.Ангелова, Е.А.Горбатова, Е.А.Емельяненко // Материалы 67-й научно-технической конференции. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. – Т.1. – С.141 – 143.

47. Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А. Геотехнологические типы техногенного сырья медноколчеданных месторождений / Е.А.Горбатова,

Е.А.Емельяненко // Комбинированная геотехнология: комплексное освоение и сохранение недр земли: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. - С.150 –152.

48. Емельяненко, Е.А., Горбатова, Е.А. Методика подбора состава растворителя для извлечения ценных компонентов из техногенных отходов медноколчеданных месторождений / Е.А.Емельяненко, Е.А.Горбатова // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы международной научно-технической конференции. — Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2010. – С.237 — 241.

49. Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А. Моделирование режимов выщелачивания ценных компонентов из техногенных отходов медноколчеданных месторождений / Е.А.Горбатова, Е.А.Емельяненко // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы международной научно-технической конференции. — Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2010. - С.241 — 243.

50. Емельяненко, Е.А., Горбатова, Е.А., Колесатова, О.С. Подсчет объемов горных пород по результатам маркшейдерской съемки (на примере Среднеуральского месторождения) / Е.А.Емельяненко, Е.А.Горбатова, О.С.Колесатова // Добыча, обработка и применение природного камня: Сборник научных трудов. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. – С.126 – 130.

51. Емельяненко, Е.А., Горбатова, Е.А., Колесатова, О.С. Маркшейдерские наблюдения за устойчивостью бортов карьеров при отработке локальных рудных тел медноколчеданных месторождений Южного Урала / Е.А.Емельяненко, Е.А.Горбатова, О.С.Колесатова // Международный научно-промышленный симпозиум «Уральская горная школа — регионам», г. Екатеринбург, 12 — 21 апреля 2010: Сборник докладов. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. – С.186 — 196.

52. Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А., Колесатова, О.С. Техногенное минералообразование при кучном выщелачивании хвостов обогащения медноколчеданных руд / Е.А.Горбатова, Е.А.Емельяненко, О.С.Колесатова // Международный научно-промышленный симпозиум «Уральская горная школа — регионам», г. Екатеринбург, 12 — 21 апреля 2010: Сборник докладов. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. - С. 196 — 198.

53. Горбатова, Е.А. Формирование нетрадиционного рудного сырья в единой геолого-технологической системе колчеданных месторождений Южного Урала/ Е.А.Горбатова // V Сибирская Международная конференция Молодых ученых по наукам о Земле. - Новосибирск: СО РАН, 2010. - С.67 — 70.

54. Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А., Колесатова, О.С. Перспективы использования забалансовых вкрапленных руд Сибайского месторождения в качестве поделочного камня при комплексном освоении медноколчеданных месторождений Южного Урала / Е.А.Горбатова, Е.А.Емельяненко, О.С.Колесатова // Добыча, обработка и применение природного камня: Сборник научных трудов. - Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2011. - С.153 - 157.

55. Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А., Колесатова, О.С. Маркшейдерское обеспечение управления качеством руд при оценке изменчивости качественных

показателей месторождения / Е.А.Горбатова, Е.А.Емельяненко, О.С.Колесатова // Добыча, обработка и применение природного камня: Сборник научных трудов. – Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2011. - С.46 — 50.

56. Горбатова, Е.А. Минералого-технологические исследования хвостов обогащения медно-цинково-колчеданных руд Юбилейного месторождения / Е.А.Горбатова // Минералого-технологическая оценка месторождений полезных ископаемых и проблемы раскрытия минералов: Сборник статей по материалам докладов V Российского семинара по технологической минералогии. - Петрозаводск: КНЦ РАН, 2011. – С.97 – 101.

57. Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А. Технологическая характеристика хвостов обогащения Учалинского горно-обогатительного комбината / Е.А.Горбатова, Е.А.Емельяненко // Комбинированная геотехнология: Комплексное освоение и сохранение недр Земли: Труды международной научно-технической конференции, г. Екатеринбург, 2009: Сборник трудов. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2011. – С.84 –91.

58. Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А., Аверьянов, К.А. Использование породных отвалов в качестве дополнительного источника минерального сырья при комплексном освоении медноколчеданных месторождений Южного Урала. / Е.А.Горбатова, Е.А.Емельяненко, К.А.Аверьянов // Проблемы недропользования: Материалы V Всероссийской молодежной научно-практической конференции (с участием иностранных ученых) 8-11 февраля 2011 г. ИГД УрО РАН. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. - С.82-88.

59. Горбатова, Е.А., Емельяненко, Е.А. Геотехнологические типы техногенного сырья медноколчеданных месторождений / Е.А.Горбатова, Е.А.Емельяненко // Комбинированная геотехнология: Комплексное освоение и сохранение недр Земли: Труды международной научно-технической конференции, г. Екатеринбург, 2009: Сборник трудов. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2011. – С.102 –108.

60. Горбатова, Е.А., Кильдибаев, Д.М. Статистическое распределение дисперсного состава текущих хвостов обогащения колчеданных руд / Е.А.Горбатова, Д.М.Кильдибаев, // Нефтегазовое и горное дело: Тезисы докладов IV Всероссийской конференции, Пермь, 16 – 18 ноября 2011 г. - Пермь: Изд-во ПНИПИ, 2011. - С.116.

61. Горбатова, Е.А., Аглиуллина, Е.Р. Геометризация качественных показателей Узельгинского месторождения / Е.А.Горбатова, Е.Р.Аглиуллина // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. - Магнитогорск: МГТУ им. Г.И Носова, 2011. - №1. - С.38 - 40.

62. Горбатова, Е.А., Зарецкий, М.В., Дюскина, А.И. Экспертная система в проектировании технологических процессов в гидрометаллургии / Е.А.Горбатова, М.В.Зарецкий, А.И.Дюскина // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. Харків: НТУ «ХПІ» - 2012. - № 62. - С. 40-45.

63. Горбатова, Е.А., Гришин, И.А. Классификация текущих хвостов обогащения колчеданных руд Южного Урала / Е.А.Горбатова, И.А.Гришин // Методы оценки технологических свойств минералов и их поведение в технологических процессах: Сборник статей по материалам докладов VI Российского семинара по технологической минералогии. - Петрозаводск: КНЦ РАН, 2012. - С.93-97.

64. Горбатова, Е.А. Систематизация горно-геологических факторов формирования технологических свойств текущих хвостов обогащения колчеданных руд Южного Урала / Е.А.Горбатова // Комплексное освоение месторождений полезных ископаемых: Сборник научных трудов. - Магнитогорск: Изд-во МГТУ им. Г.И. Носова, 2012. – С.138 – 149.

65. Горбатова, Е.А., Зарецкий, М.В., Дюскина, А.И. Компьютерное моделирование равновесных многокомпонентных систем в гидрометаллургии / Е.А.Горбатова, М.В.Зарецкий, А.И.Дюскина // Информационные технологии и системы: Материалы I международной конференции, Банное, Россия, 28 февр.-4 марта 2012 г. - Челябинск: Изд-во ЧелГУ, 2012. – С.88-89.

66. Горбатова, Е.А., Зарецкий, М.В., Дюскина, А.И. Трехмерное моделирование многокомпонентных систем в гидрометаллургии / Е.А.Горбатова, М.В.Зарецкий, А.И.Дюскина // Інформаційні технології: наука, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XX міжнародної науково-практичної конференції, Харків, 15-17 травня 2012 р., в 4-х частинах. - Харків, вид-во НТУ «ХП», 2012 – ч. 4. - С.13.

67. Горбатова, Е.А., Кондратюк, Г.Б. Особенности морфоструктурного состава отходов обогащения медноколчеданных руд / Е.А.Горбатова, Г.Б.Кондратюк // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых: Тезисы докладов V Всероссийской конференции, Пермь, 14 – 16 ноября 2012 г. - Пермь: Изд-во ПНИПИ, 2012. - С.99.

68. Горбатова, Е.А., Наумова, К.С. Создание базы данных «Природно-технологические характеристики хвостов обогащения» / Е.А.Горбатова, К.С.Наумова // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых: Тезисы докладов V Всероссийской конференции, Пермь, 14 – 16 ноября 2012 г. - Пермь: Изд-во ПНИПИ, 2012. - С.109.

69. Горбатова, Е.А., Тимошенко, А.Е. Влияние морфоструктурного состава отходов обогащения медноколчеданных руд на интенсивность процессов выщелачивания / Е.А.Горбатова, Е.А.Тимошенко // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых: Тезисы докладов V Всероссийской конференции, Пермь, 14 – 16 ноября 2012 г. - Пермь: Изд-во ПНИПИ, 2012. - С.121.

70. Якушина, О.А., Горбатова, Е.А., Ожогина, Е.Г., Хозяинов, М.С. Рентгеновская микротомография для изучения техногенных отходов металлургических производств - шлаков и окатышей / О.А.Якушина, Е.А.Горбатова, Е.Г.Ожогина, М.С.Хозяинов // Материалы первой Всероссийской научной конференции «Практическая микротомография», Казань, 5-7 декабря 2012 г. - Казань: КНИТУ, 2012. - С.44-48.

71. Горбатова, Е.А. Классификация отходов обогатительного передела // Минералогия техногенеза – 2012: Сборник докладов научного семинара. - Миасс: ИМин УрО РАН, 2013. - С.220 – 226.

72. Горбатова, Е.А., Колкова, М.С. Методические основы минералоготехнологической оценки отходов обогатительного передела колчеданных руд Южного Урала / Е.А.Горбатова, М.С.Колкова // Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных работ: Сборник научных трудов. Магнитогорск: Изд-во ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2013. - С.150 - 155.

73. Горбатова, Е.А., Зарецкий, М.В., Шияхметова, И.З. Гибридная экспертная система в гидрометаллургии / Е.А.Горбатова, М.В.Зарецкий, И.З.Шияхметова // Информационные технологии и системы: Материалы Второй международной конференции. - Челябинск: Изд-во ЧелГУ, 2013. - С.157 – 159.

74. Горбатова, Е.А., Зарецкий, М.В., Шияхметова, И.З. Создание базы данных отходов обогатительного передела колчеданных руд Южного Урала / Е.А.Горбатова, М.В.Зарецкий, И.З.Шияхметова // Минералогия техногенеза – 2013: Сборник докладов научного семинара. - Миасс: ИМин УрО РАН, 2013. - С.210 – 214.

75. Емельяненко, Е.А., Горбатова, Е.А. О подготовке горных инженеров маркшейдеров в ФГБОУ ВПО "МГТУ" / Е.А.Емельяненко, Е.А.Горбатова // Сборник научных трудов международной научно-практической конференции, 19 апреля 2013 г. - Акъяр, 2013. - С.24-27.