

**Институт проблем комплексного освоения недр
Российской академии наук**

На правах рукописи

ПЕШКОВ АЛЕКСЕЙ МИХАЙЛОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ РУД И
ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ
ОСВОЕНИИ МЕДНО-КОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
УРАЛА**

**Специальность 25.00.21 – «Теоретические основы
проектирования горнотехнических систем»**

**Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

**Научный руководитель
доктор технических наук
М.В. Рыльникова**

Москва-2014 г.

Содержание

Введение.....	4
1. Анализ влияния качественных характеристик медно-колчеданного сырья на выбор комбинированной геотехнологии.....	10
1.1. Горно-геологические и горнотехнические особенности медно-колчеданных месторождений Урала.....	10
1.2. Характеристика техногенных образований на основе отходов добычи и переработки медно-колчеданных руд.....	28
1.3. Требования к качеству природного и техногенного сырья при комбинированной разработке медно-колчеданных месторождений.....	35
1.4. Методы обоснования требований к качеству сырья при комбинированной разработке природных и техногенных месторождений...	44
1.5. Цель, задачи и методы исследования.....	53
2. Развитие научно-методических основ обоснования условий реализации комбинированной геотехнологии в соответствии с требованиями к качеству медно-колчеданного сырья	56
2.1. Факторы, определяющие требования к качеству сырья при комбинированной геотехнологии.....	56
2.2. Особенности научно-методического подхода к обоснованию требований к качеству сырья, вовлекаемого в эксплуатацию в полном цикле комплексного освоения месторождений.....	66
2.3. Методика обоснования требований к качеству природного и техногенного сырья при комплексном освоении рудного месторождения...	84
Выводы по 2 главе.....	95
3. Исследования влияния качественных характеристик медно-колчеданного сырья на выбор стратегии комплексного освоения месторождения.....	96
3.1. Определение технологических показателей переработки техногенного медно-колчеданного сырья в опытно-промышленных условиях.....	96
3.2. Влияние факторов на требования к качеству природного и техногенного медно-колчеданного сырья.....	106
3.3. Исследования влияния геологических факторов на требования к качеству природного и техногенного сырья.....	110
3.4. Исследования влияния технологических факторов на требования к качеству природного и техногенного сырья.....	120
3.5. Исследования влияния экономических факторов на требования к качеству природного и техногенного сырья.....	131
Выводы по 3 главе.....	136

4. Разработка технологических рекомендаций по комплексному освоению Ново-Учалинского месторождения комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологией.....	140
4.1. Обоснование технологических рекомендаций по комплексному освоению Ново-Учалинского месторождения с учетом требований к качеству руд и техногенного сырья.....	140
4.2. Оценка экономической эффективности предлагаемой технологической схемы.....	146
Выводы по 4 главе.....	149
Заключение.....	150
Библиографический список.....	152

Введение

Важнейшим направлением повышения эффективности освоения рудных месторождений является рациональное использование природных и техногенных ресурсов. Быстрые темпы развития горной промышленности России привели к истощению богатых по содержанию балансовых запасов месторождений и к накоплению на поверхности Земли значительных объемов техногенного сырья, качественные характеристики которого часто сопоставимы с содержанием ценных компонентов в перспективных месторождениях. Так, за последние 50 лет содержание основных ценных компонентов в добываемой руде на медно-колчеданных месторождениях Южного Урала значительно снизилось. Содержания меди снизилось в 2,6 раз, цинка, золота и серебра, соответственно в 3,1, 2 и 1,5 раза. Доля труднообогатимых руд возросла с 15 до 40% общей массы перерабатываемого сырья. Среднее сквозное извлечение полезных компонентов остается в течении многих лет практически на одном уровне. Остаются в недрах и теряются при переработке более 50% полезных ископаемых. Причем, богатые по содержанию металлов крупные медно-колчеданные месторождения Южного Урала, такие как Учалинское, Сибайское, Гайское, Молодежное, Александринское, находятся в стадии доработки. При этом в результате отработки запасов и переработки руд медно-колчеданных месторождений Урала накоплено более 1,5 млрд.т. техногенного сырья, которое может быть рассмотрено как альтернативный источник получения меди, цинка, железа, других цветных, драгоценных и редких металлов. Кроме того, в регионе есть резервные медно-колчеданные месторождения, которые в настоящее время не вовлечены в эксплуатацию, ввиду низкого качества руд (Западно-Озерное), малых объемов балансовых запасов (Озерное), значительной глубины залегания рудных тел (Ново-Учалинское, месторождения Подольской группы).

Эффективно вовлечь данные запасы в разработку возможно лишь сочетанием физико-технической и физико-химической геотехнологий в полном цикле комплексного освоения месторождений с обоснованием требований к качеству вовлекаемого в эксплуатацию природного и техногенного минерального сырья. Однако, в настоящее время методика

обоснования требований к качеству руд и техногенного сырья в полном цикле комплексного освоения месторождений отсутствует. Поэтому разработка нового методического подхода к обоснованию требований к качеству природного и техногенного минерального сырья при комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии представляет весьма актуальную задачу.

Целью диссертационной работы является разработка методики определения требований к качеству медно-колчеданного сырья, вовлекаемого в эксплуатацию комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологией, обеспечивающей повышение полноты и комплексности освоения месторождений медно-колчеданных руд и сопутствующих техногенных образований.

Идея работы состоит в том, что повышение эффективности освоения медно-колчеданных месторождений и сопутствующих техногенных образований комбинированной геотехнологией обеспечивается путем дифференциации требований к качеству минерального сырья по видам применяемых геотехнологий в полном цикле комплексного освоения месторождений.

Задачи исследований:

- обобщение методик обоснования требований к качеству рудного и техногенного сырья, вовлекаемого в эксплуатацию физико-техническими и физико-химическими геотехнологиями;
- изучение влияния горно-геологических условий залегания и особенностей вещественного состава медно-колчеданного природного и техногенного сырья, способов его добычи и переработки, экономических факторов на требования к качеству вовлекаемых в разработку минеральных ресурсов;
- оценка требований к качеству природного и техногенного сырья по видам применяемых геотехнологий;
- разработка методики обоснования требований к качеству природного и техногенного сырья в полном цикле комплексного освоения рудного месторождения;

- разработка технологических рекомендаций по комплексному освоению месторождения «Ново-Учалинское» комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологией.

Для решения поставленных задач в качестве **объекта исследований** выбраны горнотехнические системы комплексного освоения месторождений медно-колчеданных руд этажно-камерной системой разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства и кучным выщелачиванием окомкованных хвостов обогащения руд.

Методы исследований:

В работе использован комплексный метод исследований, включающий обобщение и анализ отечественного опыта обоснования требований к качеству минерального сырья, геолого-минералогические исследования и химический анализ, опытно-промышленные испытания показателей геотехнологий, имитационное моделирование, экономико-математический анализ и технико-экономические расчеты с обработкой результатов исследований методами математической статистики.

Положения, выносимые на защиту:

1. При проектировании полного цикла комплексного освоения медно-колчеданных месторождений величина минимального промышленного содержания металлов в добываемых запасах должна быть дифференцирована по видам применяемых физико-технических и физико-химических геотехнологий с учетом эффекта от утилизации техногенного сырья, образующегося при добыче и переработке руд.
2. В полном цикле комплексного освоения медно-колчеданных месторождений использование хвостов обогащения руд для закладки выработанного пространства позволяет снизить минимальное промышленное содержание в извлекаемых запасах на 8 – 14 % в зависимости от производственной мощности рудника, глубины ведения горных работ, среднего содержания металлов в руде; при этом извлечение физико-химической геотехнологией металлов из хвостов дополнительно снижает минимальное промышленное содержание металлов в руде до 26% в зависимости от цены металлов и уровня их извлечения из хвостов.

3. Включение в полный цикл комплексного освоения медно-колчеданных месторождений подсистемы формирования и эксплуатации техногенных образований целесообразно при содержании металлов в хвостах выше значения, определяемого показательной функцией $\alpha_{min}^T = b \cdot k_1^{\alpha^П} \cdot k_2^Ц \cdot k_3^{A_p} \cdot k_4^{\varepsilon_T}$, где b , k_1 , k_2 , k_3 и k_4 – постоянные, установленные множественной регрессией; $\alpha^П$ – среднее содержание условной меди в руде, %; $Ц$ – цена меди на бирже, тыс. у.е./т; A_p – производственная мощность подземного рудника по руде, млн. т/год; ε_T – извлечение меди из хвостов обогащения.

Научная новизна работы:

1. Методика обоснования требований к качеству добываемого сырья, отличающаяся учетом результатов взаимодействия физико-технических и физико-химических геотехнологий в полном цикле комплексного освоения месторождений многокомпонентных руд для совместного вовлечения в эксплуатацию природного и техногенного сырья.

2. Дифференциация минимально-промышленного содержания при комплексном освоении медно-колчеданных месторождений по видам применяемых геотехнологий с учетом эффекта от утилизации техногенного сырья, образующегося при добыче и переработке руд.

3. Зависимости минимально-промышленного содержания металлов в извлекаемых запасах медно-колчеданных руд от глубины ведения горных работ, производственной мощности подземного рудника, содержания металлов в руде, стоимости металлов и уровня их извлечения из техногенного сырья.

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

Практическая значимость работы состоит в разработке рекомендаций по обоснованию требований к качеству медно-колчеданного сырья, позволяющих определить условия вовлечения в разработку природного и

техногенного сырья различного вещественного и качественного состава физико-техническими и физико-химическими геотехнологиями.

Результаты работы использованы при выполнении государственного контракта с Минобрнауки РФ №16.515.11.5065 (руководитель академик РАН К.Н. Трубецкой).

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на международных конференциях «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (V, VI, VII, VIII, IX и X Международная научная школа молодых ученых и специалистов, Москва, 2008-2013 гг.), научном симпозиуме «Неделя горняка» (Москва, 2009– 2014 гг.), «Комбинированная геотехнология: теория и практика реализации полного цикла комплексного освоения недр» (Магнитогорск, 2011 г.), 66 научно-технической конференции Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова.

Публикации

Материалы диссертации опубликованы в 12 работах, в том числе в 4-х изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН «Техногенное преобразование недр Земли: развитие теоретических основ эффективного использования и сохранения георесурсов», а также гранта Президента РФ НШ №.2986.2008.5 для государственной поддержки ведущей научной школы России, возглавляемой академиком РАН К.Н. Трубецким.

Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка из 121 наименования и представлена на 160 страницах, включая 42 рисунка, 14 таблиц и 32 формул.

Личный вклад автора состоит в обобщении опыта разработки медно-колчеданных месторождений, исследовании влияния качества сырья на показатели физико-технических и физико-химических геотехнологий, разработке методики обоснования требований к качеству природного и техногенного сырья при полном цикле комплексного освоения месторождений многокомпонентных руд. Автор принимал участие в

проведении лабораторных и опытно-промышленных экспериментов по определению технико-экономических показателей кучного выщелачивания техногенного сырья Бурибаевского и Учалинского ГОКов.

Автор выражает благодарность научному руководителю - проф., д-ру техн. наук М.В. Рыльниковой, чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунову, доц., канд. техн. наук Д.Н. Радченко за помощь в работе над диссертацией и ценные советы, а также сотрудникам кафедры ПРМПИ МГТУ им. Г.И. Носова и руководству Бурибаевского и Учалинского горно-обогатительных комбинатов за помощь при проведении исследований.

1. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕДНО-КОЛЧЕДАННОГО СЫРЬЯ НА ВЫБОР КОМБИНИРОВАННОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ

1.1. Горно-геологические и горнотехнические особенности разработки медно-колчеданных месторождений

Развитие горнодобывающей промышленности за последнее столетие было неразрывно связано с научным и техническим прогрессом. Появление и внедрение новых технологий добычи и переработки руд позволяет разрабатывать месторождения и их участки, ранее считавшиеся некондиционными. Так, за последние 50 лет содержание основных ценных компонентов в добываемой руде на медно-колчеданных месторождениях Южного Урала значительно снизилось (рис.1.1). Содержание меди снизилось в 2,6 раз, цинка, золота и серебра соответственно в 3,1, 2 и 1,5 раза. Эта картина является типичной для горнодобывающих предприятий, осуществляющих разработку месторождений многокомпонентных руд.

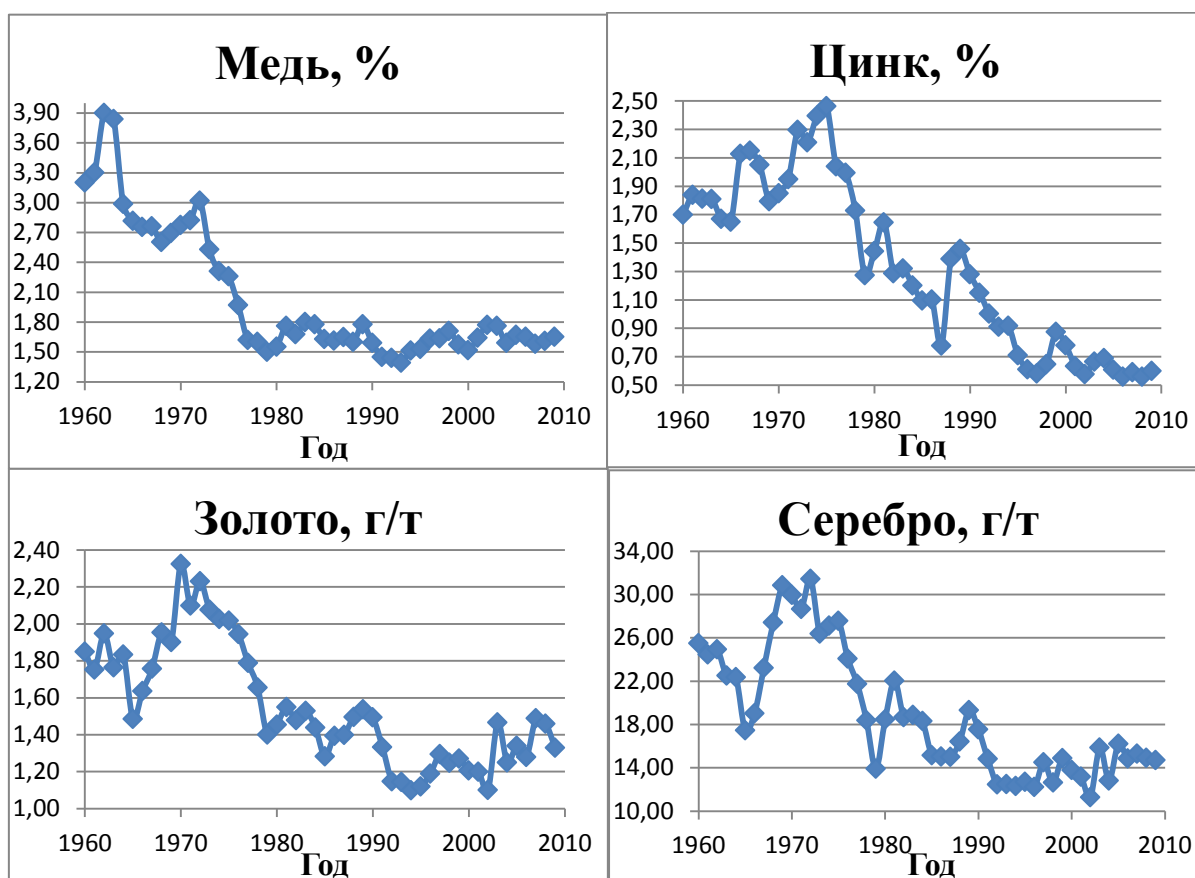


Рисунок 1.1 - Динамика содержания полезных компонентов в добываемых рудах за период 1960-2010 гг. на медно-колчеданных месторождениях Южного Урала

Основная часть запасов медно-колчеданных руд России сосредоточена на месторождениях Южного Урала. В общем минерально-сырьевом балансе России они составляют 28,4% [13]. По глубине залегания все месторождения этого типа условно делятся на глубокозалегающие, средних и малых глубин. К глубокозалегающим относятся Ново-Учалинское, Узельгинское, Талганское, Подольское месторождения. Представителями месторождений средних глубин являются Учалинское, Озёрное, Западно-Озёрное, Молодёжное, Сибайское, Бакр-Узяк, Октябрьское, Юбилейное, Гайское. Месторождения малых глубин представляют Чебачье, Александринское, Камаган, Таш-Тау, Балта-Тау, Майское и Восточно-Семеновское [12,54,113,73]. Характеристика наиболее крупных медно-колчеданных месторождений Южного Урала приведена в табл. 1.1.

Таблица 1.1 - Параметры залегания и способ разработки медно-колчеданных месторождений Южного Урала

Тип месторождения	Месторождение	Глубина залегания, м	Угол падения, град.	Способ разработки	Минимально-промышленное содержание по способам добычи и сортам руд
Глубокозалегающий	Ново-Учалинское	630-1400	20-30	Не разрабатывается	Условной Cu -1.8%
	Узельгинское	130-1600	5-10	Подземный	Zn: МЦ – 2,78% Cu: МК – 1,6%
	Талганское	100-700	5-10	Подземный	Cu: МЦ – 3,08% Cu: МК – 2,92%
	Подольское	560-720		Подземный	н/д
Средних глубин	Учалинское	350-585	75-85	Комбинированный	- 1,1%
	Озёрное	120-510	65-80	Подземный	Cu: 2,6%
	Западно-Озёрное	120-510		Открытый	Открытый: Cu – 1,4% Подземный: Cu – 2,5%
	Молодёжное	70-480	25-60	Комбинированный	н/д
	Сибайское		50	Комбинированный	Подземный: Cu – 1,4%
	Бакр-Узяк			Открытый	-
	Октябрьское	50-542	10-35	Подземный	2,5%

Продолжение табл.1.1.

Тип месторождения	Месторождение	Глубина залегания, м	Угол падения, град.	Способ разработки	Минимально- промышленное содержание по способам добычи и сортам руд
Средних глубин	Юбилейное	56-1270	25-35	Комбинированный	Cu Открытый: 1,53% Подземный: 1,82%
	Гайское	100-1750	60-75	Комбинированный	Открытый: 1,3% Подземный: 1,8%?
Малых глубин	Чебачье	250-460		Подземный	2,56%
	Камаган			Открытый	Cu МР – 1,66% МЦ – 1,35%

Все месторождения сосредоточены в Магнитогорской металлогенической зоне, представленной двумя девонскими островными дугами – Восточно-Магнитогорской и Западно-Магнитогорской. Учалинский и Верхнеуральский меднорудные районы приурочены к территории Восточно-Магнитогорской дуги. По минеральному составу и генетическим характеристикам месторождений, представленным в табл. 1.1. они относятся к уральскому типу [41].

На выбор геотехнологии освоения месторождения существенное влияние оказывают структурный состав руд и качественные характеристики минерального сырья. Обобщенная характеристика структурных особенностей и вещественного состава руд основных медно-колчеданных месторождений Южного Урала приведена в табл. 1.2.

Анализ данных таблицы 1.2 свидетельствует, что главными рудными минералами медно-колчеданных месторождений Уральского региона в процентном отношении от общей массы руды являются: пирит (60 – 90), сфалерит (0,2 – 25), халькопирит (0,1 – 10). Второстепенные минералы представлены теннантитом, галенитом, магнетитом, гематитом, борнитом и др. Из нерудных минералов наиболее распространены кварц, серицит, хлорит, барит, кальцит. Редкие минералы представлены эпидотом, сидеритом, гипсом, арагонитом, гранатом, турмалином, пьомонтитом, аксинитом, тинценитом, родонитом, браунитом, опалом, монтмориллонитом, ярозитом, вивианитом и другими. Руды характеризуются неоднородностью вещественного состава, который проявляется в неравномерном

Таблица 1.2.

Характеристика вещественного состава руд основных медно-колчеданных месторождений Южного Урала

Месторождение	Содержание компонентов, %			Минералы				Протокол ГКЗ	Кондиции и бортовое содержание
	Главные	Полезные	Вредны е	Рудные		Нерудные			
				Главные	Второстепенные	Главные	Второстепенные		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Учалинский рудный район									
Учалинское	Cu-1,02%, Zn-3,2%, S, Au, Ag	Pb, Mo, Co, Ge, Sc, Sn, Pt, V, P	As, Sb, F, Hg	пирит, халькопирит, сфалерит	теннантит, галенит, магнетит, гематит, борнит	кварц, серицит, хлорит, барит, кальцит	сидерит, гипс, арагонит, гранат, турмалин, аксинит, родонит, браунит, опал, монтмориллонит, ярозит, вивианит	№4283 от 20.03.1964г	Cu-0,4% при сод. Zn< 1,0% МК – Cu>0,4% Zn<1,0% МЦК - Cu>0,4% Zn>1,0% СК-Cu<0,4% Zn< 1,0% S>35%
Ново-Учалинское	Cu-0,95%, Zn-2,6%, S	Au, Ag, Se,Te, Cd, In	As, Sb, F, Hg	пирит, халькопирит, сфалерит	блеклые руды, галенит, магнетит	кварц, барит, серицит, хлорит, кальцит	лейкоксен, аксинит	Протокол РКЗ РБ № 2/966 от 20.08.98	Cu-0,4% при сод. Zn- 1,0% S-35%
Верхнеуральский рудный район									
Узельгинское	Cu-1,34%, Zn-2,62%, S	Au-1,73 г/т, Ag-30,99 г/т, Te, Cd, In, Ba, Pb, Co, Bi, Ni, Ge, Tl	As, Sb, F	халькопирит, сфалерит, блеклая руда, пирротин, пирротин-пирит	галенит, арсенопирит, магнетит, марказит.	кварц, кальцит, серицит, хлорит и гипс.	барит	№ 708-К, от 31.06.1973г.	в МЦК, Zn>0,8% в МК, Cu>0,5% Zn<0,8% в СК, S> 35%
Западно-Озёрное	Cu-0,82, Zn-0,74, S-42,5%	Se-0,022%, Au-1,49г/т, Ag-2,3г/т, Te, Cd, In, Pb, Ga, Co, Bi, Ni, Ge, Tl	As, Sb, F, Hg	пирит, халькопирит, сфалерит	галенит, блеклая руда, марказит, пирротин, арсенопирит	кварц, хлорит, серицит, кальцит, барит	плагиоклаз, амфибол	№10960 от 23.11.90 г.	Cu-0,5% МК – Cu>0,5% Zn< 1,0% МЦК- Zn>1,0% СК-Cu<0,4% Zn< 1,0% СК- Cu<0,3% Zn< 1,0% S>35%

Продолжение табл. 1.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Озерное	Cu-1,91%, S	Zn-0,57%, Au-0,81г/т, Ag-11,87г/т, Se-0,034%, Te, In, Cd, Tl, Ga, Ge, Pb, Co, Bi, Ni	As, Sb, F	пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит	магнетит, арсенопирит	кварц, хлорит, серицит, кальцит	барит	№6484 от 03.03.1972 г.	Cu-0,7% МК – Cu>0,7% Zn< 1,0% МЦК- Cu>0,7% Zn> 1,0% ЦК -Cu<0,7% Zn> 1,0% S>35%
Талганское	Cu-3,37%, Zn-3,39%, S	Ba, Se, Te, In, Cd, Ga, Tl, Ge	Pb, As, F, Hg, Sb	пирит, халькопирит, сфалерит и блеклая руда	галенит, борнит, гематит	кварц, хлорит, серицит	кальцит, барит	1979 г.	н/д
Молодёжное	Cu-2,56%, Zn-0,52%, S	Au-2,8 г/т, Ag-58,4 г/т, Ba, Se, Te, In, Cd, Co, Ni, Mo, Bi, Tl, Ge, Ga	As, Sb	пирит, сфалерит, халькопирит, борнит, теннантит	галенит, магнетит, гематит	барит, кварц, серицит, хлорит, гипс, кальцит,	эпидот, флюорит	№ 115-К от 27.08.64г.	в МЦК, Zn>1,5% в МК- Cu>0,7% Zn<1,5% в СК- S > 35%
Чебачье	Cu-1,7%, Zn-2,49%, S	Au, Ag, Se, Te, Cd, In, Ba, Tl, Ga, Ge, Bi, Ni, Co	Pb, Hg, As, F	пирит, халькопирит, сфалерит	борнит, блеклая руда, галенит	кварц, барит, серицит	хлорит, карбонат, эпидот, лейкоксен, апатит, флюорит	№1273-К 1978 г.	в МЦК, Zn>1,0%, в МК, Cu>0,7% Zn<1,0% в СК, S > 35% Cu>0,7%, Zn<1,0%
Сибайский рудный район									
Сибайское	Cu-2,36%, Zn-0,13, S-15,73%, Au-0,3г/т, Ag-4,7г/т	Se-51,09г/т, Te, In, Cd, Ge, Ga, Co	As, F, Hg, Sb	пирит, халькопирит, сфалерит, пирротин	мельниковит, магнетит	кварц, кальцит, хлорит, серицит	клиноциозит, каолинит	№2236 от 13.05.1958 г. Нижняя залежь: №232 от 12.03.2008 г.	в МК, Cu>0,5% Zn<1% в МЦК, Cu>0,5% Zn>1%

Продолжение табл. 1.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Бурибайский рудный район									
Октябрьское	Cu-1,94%, Zn-1,25%, S	Au, Ag, , Cd, Bi, Pb	Pb, Hg, As, F	пирит, халькопирит, сфалерит	борнит, ковеллин и халькозин.	кварц, серицит, барит	хлорит, карбонат	-	-
Юбилейное	Cu-1,56%, Zn-1,01%, S-40,4%	Au-1,48г/т, Ag-12,32г/т, Se, Te, In, Cd, Ge, Ga	As, F, Hg, Sb	пирит, халькопирит, сфалерит	галенит, ковеллин, хальконтит	Кварц, хлорит, кальцит, серицит	барит	№1941 от 10.06.2009	в МК, Cu>0,5% Zn<1,0% в МЦК, Zn>1,0%
Подольское	Cu-1,73%, Zn-1,05%, S-33,9%, Au, Ag	Ba, Se, Te, In, Cd, Co, Mo, Bi, Tl, Ge, Ga, Re, Pb	As, F, Hg, Sb, P	пирит, мельниковит, халькопирит, теннантит, сфалерит	галенит, борнит, гематит, ковеллин, халькозин, арсенопирит, висму тин, рутил.	кварц, барит, кальцит, хлорит, диксит, серицит	клиноциозит, каолинит, ангидрит, флюорит, гипс, десмин.	-	-
Гайский рудный район									
Гайское	Cu-1,26%, Zn-0,47%, S-35,08%	Au-1,14г/т, Ag-10,99г/т, Se-39г/т, Te- 27г/т, In, Cd, Co		пирит, халькопирит, сфалерит	теннантит, борнит	кварц, барит, хлорит, серицит	кальцит,	№11161 от 20.12.1991	в МК, Cu>0,5% Zn<1,0% в МЦК, Cu>0,5% Zn>1,0% в СЦК, Cu<0,5% Zn>1,0%

распределении ценных компонентов по глубине и по площади рудных залежей, в присутствии вредных примесей, таких, как мышьяк, сурьма, фосфор, ртуть и другие, в изменчивости структурно-текстурных особенностей руд.

Наличие сложных минеральных форм и вредных примесей оказывает влияние на технологические свойства руд, выбор геотехнологии их разработки и требования к их качеству.

Месторождения Южного Урала характеризуются значительными колебаниями содержания ценных компонентов в рудах. Анализ данных, представленных в рис. 1.1 и табл.1.2, показал, что в настоящий момент запасы богатых и рядовых руд истощаются, и все в большей мере вовлекаются в эксплуатацию месторождения с низким содержанием полезных компонентов.

Разрабатываемые и планируемые к разработке медно-колчеданные месторождения Южного Урала: Учалинское, Гайское, Узельгинское, Талганское, Молодежное, Ново-Учалинское, Озерное, Западно-Озерное заключают в себе балансовые запасы медно-колчеданных руд в количестве 793,4 млн.т., в которых содержится 9,7 млн.т. меди со средним содержанием в руде 1,22%, 8,9 млн.т. цинка со средним содержанием 1,12%, а так же 937,8 т золота и 13215,8 т серебра со средним содержанием соответственно 1,18 г/т и 16,65 г/т и забалансовые запасы в количестве 80,7 млн.т., со средним содержанием меди 0,5%, цинка – 0,39%, золота и серебра, соответственно, 0,75 г/т и 6,39 г/т. Параметры залегания рудных тел (табл. 1.1) и качество руд месторождений определили выбор преимущественно комбинированной геотехнологии их комплексного освоения.

Крутое падение мощного штокообразного рудного тела, качественные характеристики руд **Учалинского месторождения** предопределили выбор комбинированного способа разработки с последовательным развитием открытых и подземных работ для добычи медных, медно-цинковых и цинковых руд и последующей их флотации на Учалинской обогатительной фабрике.

В пределах залежи выделяют сплошные колчеданные руды (серы более 35 %) и вкрапленные (серы менее 35 %). Руды представлены следующими

промышленными типами (сортами): медными (медно-колчеданным - МК и медным вкрапленным - МВ), медно-цинковыми (медно-цинковоколчеданным - МЦК и медно-цинковым вкрапленным - МЦВ), цинковистыми (цинково-колчеданным - ЦК и цинковым вкрапленным - ЦВ) и серно-колчеданным (СК). Цинксодержащие руды составляют 84.26 % запасов, что делает Учалинское месторождение уникальным по запасам цинка среди колчеданных месторождений Уральского региона [65,83].

Требования к качеству запасов, в рамках обоснования кондиций, и их разделение на балансовые и забалансовые были установлены протоколом ГКЗ СССР №4283 от 20.03.1964 г на основе уровня цен на товарную продукцию, действующих в тот период времени и без дифференциации запасов по способам добычи. Очевидно, что своевременный пересмотр кондиций при значительных изменениях цен на металлы, технологий добычи будет способствовать повышению полноты использования запасов месторождения.

На месторождении имеются участки со сложными горно-геологическими и горнотехническими условиями с низким содержанием полезных компонентов [68], разработка которых применяемой технологией добычи и переработки руд на данный момент не эффективна [46]. За время разработки месторождения физико-техническими способами накоплены значительные объемы техногенного сырья с значительными содержаниями ценных компонентов (хвосты обогащения, отвальные породы, просыпь сепарации и другие). Эффективно вовлечь в разработку некондиционные руды и накопленные техногенные запасы возможно сочетанием физико-технических и физико-химических способов добычи и переработки руд и техногенного сырья [20].

Условия залегания (глубина от 630 до 1400 м) и вещественный состав руд перспективного **Ново-Учалинского** месторождения определяют выбор подземного способа его разработки с применением систем с твердеющей закладкой выработанного пространства. Близость месторождения к Учалинскому руднику (рис. 1.2) создает возможность использования выработок действующего рудника с развитой инфраструктурой для вскрытия запасов близлежащего месторождения, что

позволяет существенно сократить сроки и стоимость строительства подземного рудника [67]. Расстояние между Ново-Учалинским месторождением и Учалинским карьером составляет 2,2 км.

Главное рудное тело Ново-Учалинского месторождения представляет собой меридионально вытянутую деформированную линзовидную залежь. Протяженность рудного тела по простиранию составляет 1400 м (от профиля 26^ю на севере до профиля 52^ю на юге) [37,76]. Средний угол погружения рудной залежи в южном направлении 40°. Глубина по вертикали от дневной поверхности до верхней выклинки в северной части - 625 м, в южной - 1050 м. Мощность рудного тела изменчива: максимум зафиксирован в северной части - 186 м [37,76]. В центральной части рудного тела наблюдается некоторое уменьшение мощности - до 70 м. В южной части отмечается тенденция к увеличению мощности до 140 м, что придает рудному телу гантелеобразную форму (рис. 1.3) [67].

В северной части рудного тела установлено разлинзование, выражающееся в ответвлении от лежащего бока основной рудной залежи небольшого линзообразного тела (рудное тело № 2). В северном направлении оно все больше расходится с основным рудным телом, где расстояние между ними достигает 80 м, при этом происходит резкое уменьшение мощности рудных тел до полного их выклинивания. Морфология рудного тела №2 сходна с морфологией главного рудного тела [67].

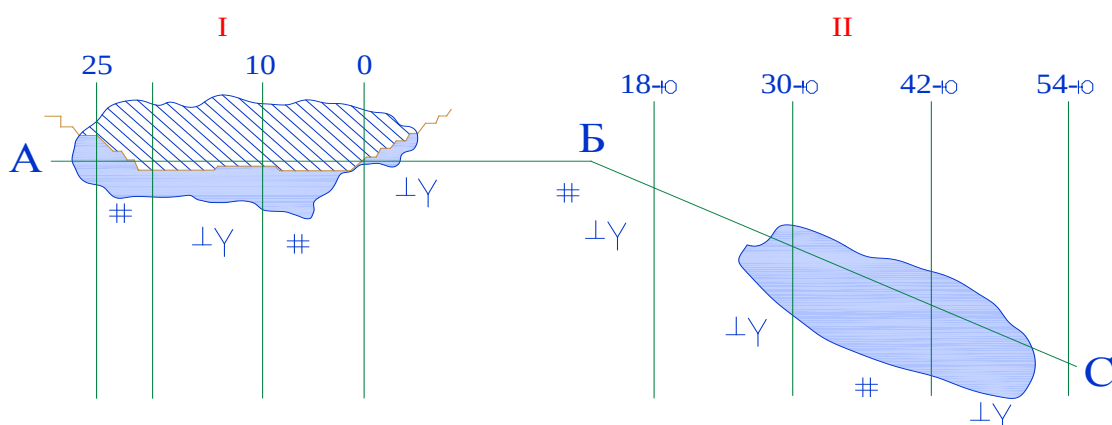


Рисунок 1.2 - Линия среза АВС на продольном разрезе через: I – Учалинское и II – Ново-Учалинское месторождения

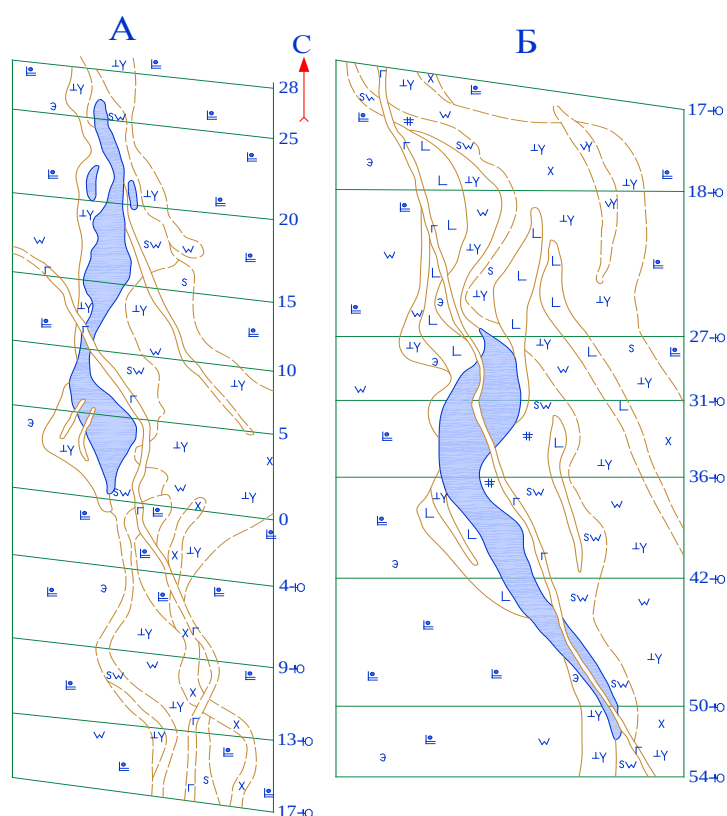


Рисунок 1.3 - Наклонный план-срез через: А – Учалинское и Б – Ново-Учалинское месторождения по линии АВС

Запасы месторождения были утверждены Протоколом РКЗ РБ (протокол № 2/966 от 20.05.98) и подсчитаны по временным кондициям, утвержденным ЦКЗ Министерства металлургии СССР (протокол N 625-вк от 15.03.1991) [37]. С того времени, цены на медь и цинк выросли почти в 2 раза, и, несомненно, что экономически обоснованные требования к минимально-промышленному содержанию условной меди в запасах месторождения существенно снизились.

Месторождение характеризуется достаточно большими запасами, но является довольно бедным, содержание меди – 0,95% и цинка – 2,38%. Попутными элементами являются золото, серебро, свинец, кадмий, селен, теллур, германий и др. Сложные инженерно-геологические условия – большая глубина залегания, склонность руд к самовозгоранию, наличие тектонических нарушений существенно осложняют технологию подземных горных работ. Эффективная разработка Ново-Учалинского месторождения возможна при применении инновационных геотехнологий с использованием горно-капитальных выработок действующего Учалинского рудника для вскрытия запасов, вовлечения в разработку бедных по содержанию руд

комбинированными физико-техническими и физико-химическими методами геотехнологиями с утилизацией отходов переработки руд в закладке выработанного пространства.

Горнотехнические условия **Гайского месторождения** характеризуются мощным слоем покрывающих пород, многочисленными крутопадающими рудными телами, имеющими значительные суммарные запасы ценных руд, крайне неравномерным распределением металлов и сопутствующих элементов в верхней части месторождения, склонностью отдельных рудных тел к эндогенным пожарам. Это предопределило выбор комбинированного способа разработки месторождения с параллельным ведением открытых и подземных горных работ и флотацией руд на Гайской обогатительной фабрике.

Месторождение представлено сплошными рудами (содержание серы - более 35%) и прожилково-вкрапленными (содержание серы - менее 35%). Руды представлены пятью промышленными сортами руд: медными (медный колчедан - МК), медно-цинковыми (МЦ), цинковыми (Ц), серно-цинковыми (СЦ) и серными (серный колчедан – СК). Наибольшие объемы запасов представлены медными рудами и составляют 68,5%. Подсчет запасов, производился по кондициям, разработанным Гайским ГОКом и ПГО «Башкиргеология» и утвержденным ГКЗ СССР 24.11.1989 (протокол «2386-к»). Количество балансовых запасов составляет 473,6 млн. т. со средним содержанием меди 1,33%, цинка – 0,49%, золота – 1,2 г/т и серебра – 11,6 г/т. Забалансовые запасы составляют 38,24 млн. т. со средним содержанием меди - 0,37%, цинка – 0,2%, золота и серебра, соответственно, - 0,39 г/т и 4,03 г/т.

Для снижения эксплуатационных затрат и повышения эффективности освоения месторождения используются хвосты обогащения руд для закладки выработанного подземного пространства. Повысить эффективность освоения месторождения возможно также за счет вовлечения в разработку забалансовых руд и техногенного сырья физико-химическими геотехнологиями.

Сложное строение **Узельгинского месторождения**, где оруденение представлено в верхнем и нижнем ярусе, разделенные 200-280 метровой толщей пород. В рудных телах отмечено значительное колебание

содержаний полезных компонентов и вредных примесей, что предопределило первоочередную выемку запасов нижнего яруса, руды которого характеризуются более низким содержанием вредных примесей – мышьяка, сурьмы и фосфора.

Вскрытие Узельгинского месторождения осуществлено пятью вертикальными стволами и наклонным съездом. На месторождении выделяются следующие промышленные сорта и минеральные типы руд: медно - колчеданный; медно – цинково-колчеданный; цинково–колчеданный и серно-колчеданный (пиритовый, пирит - пирротиновый, пирротиновый) [42,93]. Всего на месторождении до начала эксплуатации оконтурено медно – колчеданных и медных вкрапленных руд – 37,3 %; медно-цинково-колчеданных, цинково-колчеданных, медно-цинковых вкрапленных и цинковых вкрапленных – 55,7 %; серно-колчеданных – 7 %. Балансовые запасы руд на 01.01.2003 были представлены в количестве 77,9 млн. т. со средним содержанием в них меди – 1,35%, цинка – 2,33%, золота и серебра, соответственно, - 1,64 г/т и 29,5 г/т. Забалансовые запасы представлены 1,36 млн.т. руды со средним содержанием меди – 1,2%, цинка – 0,47% и серебра – 5,1 г/т. Запасы месторождения были подсчитаны на основе кондиций, утвержденных протоколом ГКЗ СССР № 708-К, от 31.06.1973г.

Наличие вредных примесей и низкое качество колчеданного сырья, непригодного для флотации, позволило вовлечь в разработку только 9 рудных тел из 64, геологически оконтуренных на месторождении. Причем, отдельные забалансовые рудные тела месторождения, фактически уже вскрытые подземными выработками, теряются в недрах, что влечет потери ценных компонентов и низкое качество освоения недр. Вовлечение в промышленную эксплуатацию некондиционных руд, непригодных для обогащения методом флотации, возможно на основе внедрения технологии, основанной на сочетании физико-технических и физико-химических процессов.

Доработка **Гумешевского месторождения**, представленного окисленными рудами со средним содержанием меди 0,59%, осуществляется методом скважинного подземного серноокислотного выщелачивания. Разработка этого месторождения была начата еще в 1702 году. После

многовековой эксплуатации месторождения к 1994 году запасы кондиционной медной руды исчерпались. Остались так называемые медьсодержащие глины. Первоначально разведка велась под подземный или открытый способ отработки, но результаты технико-экономических расчетов показали, что добыча оставшихся запасов физико-техническими геотехнологиями с переработкой окисленных руд методом флотации – нерентабельна.

После всесторонних исследований специалисты института «Уралмеханобр» дали положительное заключение на переработку этих глин выщелачиванием с переработкой продуктивных растворов методами гидрометаллургии. Испытания нового способа добычи начались в 2000 году. Технология предусматривает выщелачивание медной руды с переводом ионов меди в раствор, из которого позднее и выделяется медь.

Работы по скважинному выщелачиванию меди были начаты в 2004 г. Пилотная установка извлечения меди из руды Гумешевского месторождения была разработана акционерным обществом Уралгидромет совместно с SNC-Lavalin Europe Limited (Великобритания) и Уральской технологической компанией. В результате на Гумешевском месторождении было пробурено около 100 скважин. В процессе апробации технологии достигнута производительность 20 тонн цементной меди в месяц.

На месторождении выделяются по вещественному составу четыре типа руд: скарноиды, бурые железняки, дезинтегрированные первичные руды и техногенно-измененные руды под воздействием подземных работ. Результаты опытно-промышленной разработки Гумешевского месторождения показали перспективность и эффективность скважинного способа подземного выщелачивания окисленных и полуокисленных руд в зоне техногенеза и указали на необходимость пересмотра кондиций в целом по месторождению [87]. В настоящее время извлечение меди в продуктивные растворы ведется на двух участках. Переработка продуктивных растворов осуществляется в комплексе экстракции и электролиза, где из полученного раствора получают высококачественные медные катоды марки М00К.

Горно-геологические условия и качественные характеристики руд **Юбилейного месторождения** предопределили комбинированный способ

разработки сочетанием физико-технических и физико-химических процессов. Медно-колчеданное месторождение «Юбилейное» включает 6 рудных залежей и приурочено к третьей толще баймак–бурибаевской свиты, разделяемой на нижнюю «дацитовую» и верхнюю «базальтовую» подтолщи. Рудные залежи перекрыты мощной (70-80 м) толщей песчано-глинистых и гравийно-галечно-валунных отложений юрского возраста. Рудовмещающие породы интенсивно изменены до серицит-кварцевых, хлорит-кварцевых, хлорит-серицит-кварцевых пород.

Верхние части Первой и Третьей залежей представлены зоной бурых железняков, зоной окисления и зоной вторичного сульфидного обогащения. Глубина залегания Первой – Третьей залежей, проектируемых к отработке открытым способом, изменяется от 52 до 364 м. Глубина залегания Шестой залежи, включающей 70% всех запасов месторождения, достигает 1300 м. Бурые железняки представляют типичную для медно-колчеданных месторождений Южного Урала «железную шляпу» с высокими содержаниями благородных металлов [66]. Из-за низкой изученности качественных характеристик бурых железняков в 1973 г. не было сделано окончательного заключения об их промышленной ценности, поэтому в 1987-88 гг. были проведены поисково-оценочные работы на бурые железняки, составлено ТЭС, в котором месторождению дана положительная оценка как объекта промышленной значимости и запасы были поставлены на баланс по кондициям, утвержденным протоколом РКЗ РБ №3/955 от 31 марта 1997 г. По данным ООО «Башкирская медь» балансовые запасы золотосодержащих бурожелезняковых руд по состоянию на 1996 г. составляют 433 тыс. т со средним содержанием золота – 6,64 г/т и цинка – 10,85 г/т. Забалансовые запасы составляют 126,5 тыс. т, со средним содержанием в них золота и серебра, соответственно, - 1 г/т и 3,2 г/т. В настоящее время большая часть этих запасов отработана.

Руды месторождения представлены тремя минеральными типами (промышленными сортами): пиритовыми (серноколчеданными), халькопирит-пиритовыми (медными), сфалерит-халькопирит-пиритовыми (медно-цинковыми). Основными ценными компонентами являются – медь, цинк, сера, золото и серебро со средним содержанием, соответственно,

1,56%, 1,01%, 40,4%, 1,48 г/т и 12,32 г/т. Сопутствующие компоненты представлены кадмием, селеном, теллуром, германием, индием, таллием и галлием.

Отработка месторождения осуществляется открытым способом с кучным выщелачиванием цианидами бурых железняков и обогащением методом флотации сульфидных руд. Дальнейшая отработка месторождения планируется комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологией, что обусловлено значительными колебаниями содержания ценных компонентов в рудах и присутствия окисленных минералов [112].

Значительная глубина **Озерного месторождения** и относительно высокое содержание меди на нижних горизонтах рудной залежи определяют эффективность подземного способа разработки с применением этажно-камерных систем с твердеющей закладкой выработанного пространства. Главным является рудное тело №1 (рис. 1.4), заключающее 99,3% балансовых и 93,0% забалансовых запасов руд. Форма тела - грибовидный шток, размер его верхней части в плане - 300×200 м, длина по падению 300 м. С глубины 400 м, рудное тело расщепляется на апофизы длиной до 40 м и мощностью 5-8 м.

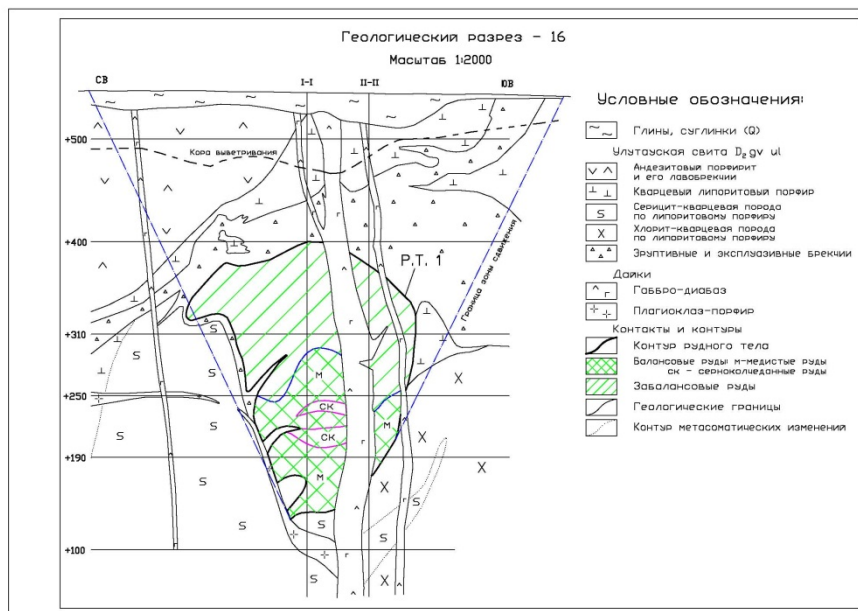


Рисунок 1.4 - Геологический разрез Озерного месторождения.

На месторождении представлено по минеральному типу пять сортов руд: медистый сплошной и вкрапленный колчедан, серный колчедан, медно-

цинковые и цинковые. К промышленным сортам относятся медистые сплошные и вкрапленные руды, и серный колчедан. 64% балансовых запасов представлено сплошными рудами и 36% - вкрапленными. Промышленные запасы характеризуются содержанием меди – 2,82%, цинка – 0,13%, золота и серебра соответственно – 0,25 и 0,75 г/т. Также присутствуют значительные содержания селена, индия, теллура, кадмия, таллия и других попутных компонентов

Верхнюю часть месторождения составляют непромышленные по содержанию меди руды. Здесь находятся все запасы собственно-цинковых руд, 95,7% запасов серного колчедана и 12,8% запасов непромышленных медных руд. Среднее содержание меди в забалансовых запасах составляет 0,44%, цинка – 0,88%, золота – 1,1 г/т, серебра – 11,7 г/т, селена – 0,03%, теллур – 0,01%. В результате испытаний [52] медных и медно-цинковых руд по схеме прямой селективной флотации были получены результаты, которые свидетельствуют о нецелесообразности обогащения данной руды таким способом. Вовлечение данных запасов (более 60% в целом по месторождению) в разработку возможно за счет комбинирования физико-технических и физико-химических процессов, что будет способствовать росту эффективности и комплексности освоения месторождения [78,81].

Расположение рудных тел **Западно-Озерного** месторождения в двух рудоносных уровнях обуславливает перспективность применения комбинированного открыто-подземного способа разработки с последовательно-параллельным ведением открытых и подземных горных работ [52]. Оруденение месторождения представлено 15-ю рудными телами линзообразной формы субгоризонтального залегания на глубинах 30 – 520 м в пределах нижнего и верхнего уровней. На нижний рудоносный уровень приходится 88% запасов, на верхний – 12%. На месторождении оконтурено 15 колчеданных тел. Почти весь объем балансовых руд месторождения (98,7%) сосредоточен в рудных телах №1-3, наиболее крупное из них - рудное тело №1 содержит 78,7% руды и 63,2% меди. Балансовые запасы руд характеризуются значительным содержанием меди – 0,82%, цинка - 0,74%, серы – 42,5%, золота и серебра, соответственно, – 1,5 и 2,3 г/т. Количество

забалансовых запасов - незначительное и составляет около 1,5% в целом по месторождению.

Месторождение представлено тремя промышленными сортами руд: медные, медно-цинковые, серные. Медные руды, приуроченные к различным участкам рудных тел, составляют около 59% запасов месторождения, медно-цинковые – около 41%. Серноколчеданные руды месторождения имеют крайне незначительное развитие висячем боку рудного тела №1. Проектом, выполненным ФГУП «ГИПРОЦВЕТМЕТ», предусмотрена первоначальная отработка верхней части месторождения, количество запасов которого составляет около 6 млн. т, открытым способом с флотацией руд на Учалинской обогатительной фабрике. Сложное строение руд и присутствие окисленных минералов выявили нерентабельность флотации, ввиду низкого извлечения меди – не более 30-55%. В настоящее время ведется поиск эффективных технологий переработки руд, работы по их добыче на месторождении временно приостановлены. Запасы, залегающие ниже дна карьера, могут быть вскрыты наклонным стволом непосредственно из карьерного пространства. Это позволит существенно сократить сроки вскрытия и объем горно-капитальных работ. Системы разработки на подземном руднике – камерные и слоевые с твердеющей закладкой выработанного пространства. Повысить эффективность освоения месторождения возможно за счет использования хвостов обогащения в закладке выработанного пространства после доизвлечения из них ценных компонентов методом кучного выщелачивания во внутрикарьерном пространстве, либо применением комбинированных методов переработки руд.

Основные запасы **Сибайского месторождения** отработаны одноименным карьером глубиной 525 м [40,85]. Распределение оставленных запасов руды по периметру бортов и в основании карьера, низкие прочностные характеристики руды и вмещающих пород при действии высоких сдвигающих нагрузках от деформирующихся высоких бортов карьера обуславливали необходимость применения для доработки месторождения систем разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства при малых допустимых пролетах обнажений. Сложившаяся

горнотехническая ситуация не позволяет эффективно вовлечь в разработку прибортовые запасы традиционными физико-техническими способами добычи. Стоит отметить, что требования к качеству запасов руд было обосновано в кондициях от 1958 г. по методическим рекомендациям, существовавшим в тот период времени, и пересмотр кондиций был произведен лишь в 2008 г. на момент, когда большая часть запасов уже была отработана, а кондиционные по содержанию металлов запасы оставлены в днище и бортах карьера. Отсутствие такого важного критерия кондиций, как минимально-промышленное содержание условного металла, тоже поспособствовало тому, что не был осуществлен своевременный переход от открытых работ к подземным. В сложившейся ситуации повысить эффективность освоения месторождения возможно путем комбинации физико-технических и физико-химических геотехнологий.

Таким образом, особенностями горно-геологических условий разработки и строения медно-колчеданных месторождений Урала является наличие большого числа линзообразных рудных тел, сложенных преимущественно сульфидами. Рудные тела часто расположены на нескольких стратиграфических уровнях. Присутствие на контакте рудных тел и во вмещающих породах метасоматических измененных разностей предопределяет необходимость разработки специальных мероприятий по обеспечению устойчивости рудных и породных обнажений.

Обобщая специфику разработки медно-колчеданных месторождений Урала, следует обратить внимание на положительный опыт применения комбинированных технологий с использованием карьерного пространства для проходки горно-капитальных вскрывающих выработок близрасположенных рудников, для вскрытия нижележащих или отдельных рудных залежей. Склонность руд к самовозгоранию предопределили применение на подземных работах практически на всех месторождениях систем разработок с твердеющей закладкой выработанного пространства. Основным недостатком систем с искусственным поддержанием пространства является высокая стоимость закладочных работ, что не позволяет вовлечь в эффективную промышленную разработку залежи руд с низким содержанием ценных компонентов.

Минерально-сырьевая база медно-колчеданных месторождений Урала в настоящее время истощается. Ее восполнение возможно за счет введения в эксплуатацию резервных месторождений, таких как Юбилейное, Ново-Учалинское, Озерное, Западно-Озерное и Чебачье, так и за счет повышения комплексности освоения уже разрабатываемых. На разрабатываемых месторождениях имеются значительные выклинки, рудные тела с низким содержанием полезных компонентов, некондиционная по содержанию рудная масса, складированная в отвалах. Разработка данных запасов какой-либо одной геотехнологией невозможна или малоэффективна. Комплексное освоение недр в полном геотехнологическом цикле является необходимой мерой, которая позволит более эффективно разрабатывать новые месторождения медно-колчеданных руд. Одним из современных подходов, который сейчас активно развивается, является реализация полного геотехнологического цикла, который предполагает рациональную комбинацию физико-технических и физико-химических геотехнологий, в результате которых формируются потоки природного и техногенного сырья [102] с обязательной утилизацией последнего в выработанном пространстве недр Земли. При данном подходе абсолютно меняется структура формирования себестоимости добычных работ, калькуляция затрат и доходности и другие технико-экономические показатели горнодобывающего предприятия. Поэтому при проектировании полного цикла комплексного освоения месторождений многокомпонентных руд при обосновании требований к качеству запасов руд необходимо учитывать дополнительный эффект от вовлечения в разработку техногенных георесурсов.

1.2. Характеристика техногенных образований на основе отходов добычи и переработки медно-колчеданных руд

В ходе разработки медно-колчеданных месторождений физико-техническими геотехнологиями сформированы большие объемы техногенных образований, представленных отвалами вскрышных пород и некондиционных руд, хранилищами хвостов обогащения, минерализованных промышленных стоков, металлургических шламов. Характеристика наиболее

крупных техногенных образований, сформированных в результате разработки медно-колчеданных руд, представлена в табл. 1.3 и 1.4.

Таблица 1.3. Характеристика основных техногенных хранилищ медно-колчеданных месторождений Южного Урала

Наименовани е комбината	Площ адь, Га	Ориентиро вочные запасы, млн. т	Содержание ценных компонентов				
			Cu, % тыс.т	Zn, % тыс.т	S, % тыс.т	Au, гр/т т	Ag, гр /т т
Отвалы							
Учалинский ГОК	573	494	0,05 254	0,12 565	5 14000	-	-
БМСК	600	517	0,1 517	0,4 2068	6,3 32571	-	-
Гайский ГОК		461	0,11 501	0,08 368,8	4,6 21206	-	-
Бурибаевский ГОК	25,8	4,9	0,7 34,3	0,12 5,9	7,2 352,8	0,5 2,45	4,6 22,54
Хвостохранилища							
Учалинский ГОК	113	40,8	0,22 89,7	0,63 257,1	23,1 6307	0,6 16,38	8,5 232,1
БМСК	169,7	18,5	0,21 38,8	0,5 92,2	22,5 4161	0,85 15,7	18,49 342
Гайский ГОК	190	47	0,38 178,6	0,37 173,9	21 9870	0,7 32,9	4 188
Бурибаевский ГОК	31	7	0,51 35,7	1,22 85,4	29,42 2059	1,2 8,4	10,3 72,1

Техногенные образования, как правило, для доизвлечения полезных компонентов практически не используются, ввиду отсутствия широко апробированных комбинированных физико-технических и физико-химических геотехнологий, а также методической базы их проектирования с обоснованием требований к количественным и качественным характеристикам руд и техногенного сырья. Для внедрения техногенного сырья в промышленное использование необходимо, в первую очередь, изыскать новые технологические решения и определить требования к качеству данных видов георесурсов, определяемые, в первую очередь, величиной промышленных кондиций.

Таблица 1.4 - Характеристика хранилищ отходов обогащения медно-колчеданных руд Южного Урала

Наименование показателей	Ед. изм.	БМСК		Учалинский ГОК	Бурибаевское РУ	Гайский ГОК
		Новое	Старое			
1. Площадь по отводу земли	га	146,2	23,5	113	31	190
2. Мощность вертикальная	м	до 25	до 22	до 21	до 18	до 40
3. Длина	м	1560	740	1700	600	-
4. Ширина	м	600	350	750	600	-
5. Период эксплуатации	г	1966-2005	1959-1966	1969-2010	1942-1970, 1971-наст.вр.	до 2010

Значительное содержание ценных компонентов в техногенных образованиях, сформированных при разработке месторождений медно-колчеданных руд, и большие объемы их накопления делают указанную проблему весьма актуальной. Так, отвалы вскрышных пород и некондиционных руд на Учалинском ГОКе содержат 494 млн. тонн горной массы с оценочным содержанием в них меди и цинка, соответственно, 254 и 565 тыс. тонн. В отвалах Гайского ГОКа накоплено свыше 461 млн. т вскрышных пород и некондиционных руд. Причем в специальном отвале №14 на площади 23 Га накоплено 10,4 млн. т забалансовых руд со средним содержанием меди - 0,56%, цинка – 0,44%, селена - 38,7 г/т, золота и серебра, соответственно, 0,32 и 5,2 г/т. На отвалах Башкирского медно-серного комбината, эксплуатирующего Сибайское месторождение, накоплено свыше 517 млн. т вскрышных пород и забалансовых руд. В горной массе отвалов содержится 517 тыс. т меди и 2068 тыс. т цинка. В районе Карабашского медеплавильного комбината на площади 15 га складированы пиритсодержащие породы мощностью до 1,5 м, содержащие до 58% сульфидов и до 0,26% меди, 0,31% цинка, 0,1% мышьяка, 0,13% свинца.

В общей сложности, техногенного сырья на Южном Урале, представленного хвостами обогащения медно-колчеданных руд, накоплено свыше 115 млн. т. Так, хвостохранилище Гайского ГОКа вмещает свыше 47 млн. т отходов обогащения, размещенных на площади 190 Га со средним

содержанием: меди – 0,38%, цинка – 0,37%, серы – 21%, золота и серебра, соответственно, – 0,7 и 4 г/т.

В хвостохранилище Учалинского ГОКа накоплено более 40 млн. т низкодисперсного сырья со средним содержанием меди - 0,22%, цинка – 0,63%, серы – 23,1%, золота и серебра, соответственно, - 0,6 и 8,5 г/т.

Накопленные хвосты обогащения медно-колчеданных руд Урала в среднем содержат 0,3% меди, 0,54% цинка, 19,8% серы, 0,65 г/т золота и 7,4 г/т серебра. Практически во всех отходах обогащения присутствует широкий спектр попутных компонентов, присущих исходным природным рудам, – золото, серебро, селен, теллур, индий, галлий, германий, кадмий, таллий, кобальт, а также мышьяк, висмут свинец, никель, сурьма, ванадий и др.

Анализ данных табл. 1.3 и 1.4 свидетельствует, что хвостохранилища занимают значительные площади земельного отвода, мощность хвостов, складированных в них, изменяется в пределах 18-40 м. При этом, большая часть хранилищ отходов уже законсервированы, а эксплуатируемые в настоящее время находятся на стадии завершения эксплуатации. Вместе с тем, масштабы добычи и переработки руд характеризуются нарастающей динамикой и непрерывным поступлением в хранилища отходов с высоким содержанием ценных компонентов.

Сопоставление содержаний ценных компонентов в отходах обогащения (табл. 1.3) с соответствующими содержаниями в перспективных месторождениях свидетельствует о целесообразности рассмотрения хранилищ отходов в качестве альтернативных источников минерального сырья с постановкой их на баланс предприятия как техногенных месторождений.

По экспертным оценкам, вовлечение хвостов обогащения в переработку позволит обеспечить горнодобывающие предприятия цветной металлургии Урала дополнительной сырьевой базой на 40-50 лет [4,57,82]. Однако, широкой эксплуатации пиритсодержащих хвостохранилищ препятствует то, что традиционный флотационный метод обогащения, используемый для переработки медно-колчеданных руд, оказался малоэффективным для переработки хвостов.

Необходимо отметить, что сформированные техногенные образования месторождений руд цветных металлов имеют ряд специфических особенностей, которые, в свою очередь, оказывают влияние на оценку возможностей их вовлечения в промышленное использование. Как и природные месторождения полезных ископаемых, сырье техногенных образований характеризуется большим разнообразием физико-механических, технологических и других свойств. Образования имеют определённый состав и особую внутреннюю структуру распределения полезных компонентов, зоны вторичного гипергенеза, окисления, сегрегации, концентрации на геохимических барьерах и т.п. Техногенные образования характеризуются своеобразным генезисом, условиями залегания, а также пониженным содержанием полезных компонентов. В первую очередь, это относится к отвалам рудников и хвостохранилищ обогатительных фабрик.

Например, при складировании хвостов обогащения руд большое значение оказывает сегрегационный эффект, в результате которого происходит гравитационная дифференциация твердой фазы пульпы (рис.1.5) [16]. В связи с этим наблюдается существенная анизотропия и изменчивость содержания полезных компонентов во всех направлениях, причем, максимальная изменчивость чаще наблюдается по вертикали (рис.1.6) [16].

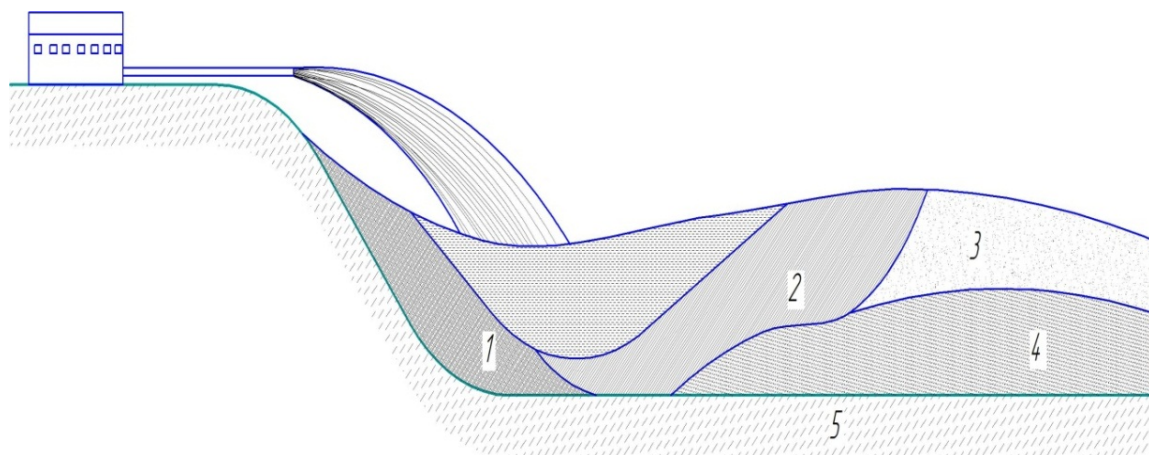


Рисунок 1.5 – Схема распределения литологических разностей по площади хвостохранилища: 1 – пылеватые пески; 2 – супеси; 3 – суглинки; 4 – глины; 5 - глины ложа хвостохранилища

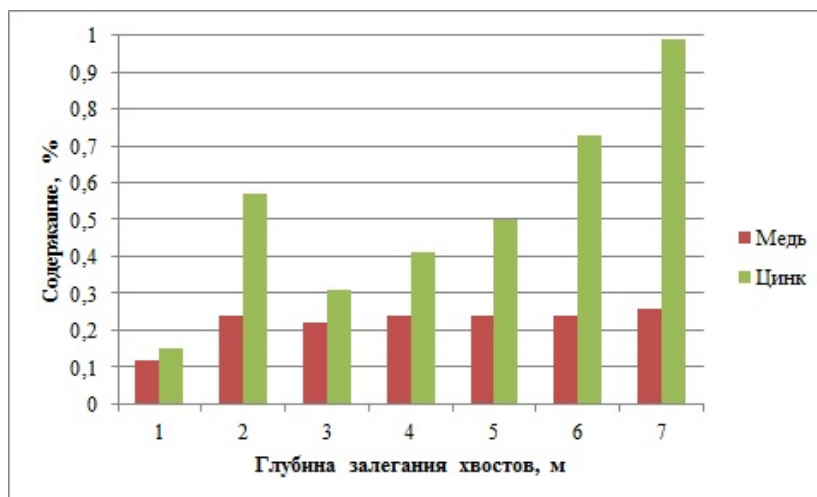


Рисунок 1.6 – Диаграмма изменчивости содержания меди и цинка в лежалых хвостах обогащения Сибайской обогатительной фабрики по вертикали.

Так, в массиве старогодних хвостов Бурибаевского ГОКа, складирование которых производилось в период 1937-79 гг., в подстилающих породах содержание меди изменяется от 0,02 до 0,49%, цинка – от 0,04 до 0,52, серы – от 0,22 до 27,5%. Данный факт свидетельствует о миграции компонентов и, следовательно, о снижении содержания на одних участках, особенно в верхней незатопленной части хранилища, и концентрации на других. Кроме того, вблизи от места слива хвостов происходит отложение более тяжелых и крупных фракций с повышением массовой доли серы [17]. Это обуславливает необходимость учета закономерностей распределения качества техногенного сырья по массиву хвостохранилища и изыскания технологий целенаправленного формирования техногенных образований для их последующей разработки.

Следует отметить, что длительное хранение отходов обогащения медно-цинковых руд в хранилищах приводит к их частичному, а, в ряде случаев, и полному окислению. При хранении отходов в результате процессов окисления, выветривания минералов руд и вмещающих пород, выщелачивания ценных компонентов происходит существенное изменение первичных минеральных форм. Активированная окислительными процессами минеральная масса достаточно легко подвергается природному выщелачиванию атмосферной водой. Об этом свидетельствует высокая минерализация отвальных стоков после контакта их с хвостовой массой. Продукты выщелачивания, попадающие в окружающую среду, создают зоны разрушения экосистемы, оказывая негативное воздействие на живую

природу, в т.ч. человека. Процессы выветривания и естественного выщелачивания продолжаются наиболее интенсивно после консервации хвостохранилищ, вследствие закисления водной фазы.

Необходимо констатировать тот факт, что каждое техногенное месторождение, как впрочем и природное, является абсолютно уникальным. В этой связи, особенности вещественного состава природных руд и, соответственно, накопленных в результате их переработки техногенных отходов определяют дифференцированный подход к вовлечению их в промышленную эксплуатацию. С этой точки зрения, для эффективного и максимально полного использования промышленных отходов необходимо индивидуально рассматривать каждое техногенное месторождение с учетом следующих наиболее важных характеристик: минерального и химического состава; физико-механических, химических и технологических; структурных и текстурных, а также условий формирования, складирования и хранения отходов.

Таким образом, практически на всех медно-колчеданных месторождениях Урала имеются частично вскрытые и подготовленные к выемке запасы бедных руд, а также накоплены техногенные образования в виде складированных отходов горнометаллургического производства, которые могут быть эффективно вовлечены в промышленную эксплуатацию технологиями, основанными на сочетании процессов физико-технических и физико-химических способов добычи в полном геотехнологическом цикле. При проектировании полного цикла, вовлечение отходов добычи и переработки руд является обязательной мерой, и уже на стадии проектирования разработки месторождения это должно учитываться. В связи с этим, актуальной задачей горного производства, является развитие методологии обоснования требований к качественным характеристикам техногенного сырья, дифференцированным по видам применяемых технологий. Кроме того, на стадии проектирования комбинированной разработки месторождений необходимо учитывать эколого-экономический эффект от вовлечения техногенных образований в эксплуатацию с обоснованием требований к качеству сырья. Полученные в ходе добычи и

переработки потоки техногенного минерального сырья являются источником получения дополнительной товарной продукции.

1.3 Требования к качеству природного и техногенного сырья при комбинированной разработке медно-колчеданных месторождений.

При разработке медно-колчеданных месторождений основные требования к качеству природного сырья зависят от способов разработки месторождения, переработки руд, технических условий предприятий, осуществляющих дальнейший передел минерального сырья и состояния минерально-сырьевой базы.

Качество медно-колчеданных руд определяется по следующим показателям: химическому составу (содержанию полезных и вредных компонентов); минеральному составу; физико-механическим свойствам; структурно-текстурным особенностям строения массива; прочим свойствам (гранулометрическому составу, слёживаемости, окисляемости, склонности к самовозгоранию, флотуруемости и т.п.).

При разработке медно-колчеданных месторождений физико-техническими геотехнологиями формируются рудопотоки, требования к качеству которых определяется технологическими свойствами добываемых руд, их склонностью к флотации, зависящими от минералогического состава и структурно-текстурных характеристик руд. Сплошные сульфидные руды - медистые пириты являются довольно трудным объектом для флотационного обогащения. Это объясняется, прежде всего, непостоянством химического состава сульфидов меди и пирита, чрезвычайно тонкой вкрапленностью сульфидных минералов, их взаимным прорастанием, склонностью вторичных медных сульфидов к переизмельчению. При обогащении этих руд должна быть решена, прежде всего, основная задача рудоподготовки – достижение необходимой степени раскрытия минералов при минимальном ошламовании. Из-за тонкой и неравномерной вкрапленности сульфидов требуемые показатели извлечения достигаются использованием многостадийных схем измельчения и флотации, при которых решается задача эффективного отделения медных сульфидов от пирита [46].

Медные окисленные и смешенные руды имеют сложный минеральный состав. В них, как правило, одновременно присутствуют карбонаты (малахит и азурит), окислы (куприт и тенорит), силикаты (хризоколла) и сульфаты (брошантит и хальконтит) меди [46,48]. В зависимости от минерального состава окисленные медные руды классифицируются на легкообогатимые (основные медные минералы – малахит и азурит), среднеобогатимые (содержащие оксиды и карбонаты) и труднообогатимые (включения хризоколлы и куприта).

Важно отметить, что для применения методов выщелачивания и гидрометаллургии являются наиболее пригодными окисленные и вторичные руды. Поэтому образующиеся в результате разработки медно-колчеданных месторождений, выветривания и окисления в отвалах бедные руды, характеризующиеся сложным вещественным составом, могут быть эффективно вовлечены в эксплуатацию только сочетанием физико-технических и физико-химических технологий с предварительным обоснованием требуемых качественных характеристик для выделения промышленно значимых запасов.

Кроме этого, качество медно-колчеданных руд во многом зависит от присутствия вредных примесей, усложняющих процессы обогащения, металлургического передела, либо ухудшающих качество извлекаемых металлов. К числу таких вредных примесей относятся: углекислые и глинистые вещества, способствующие повышению шламообразования; мышьяк и сурьма, ухудшающие качество металлов; ртуть и фтор, влияющие на процессы переработки продуктивных растворов выщелачивания.

Немаловажным при обосновании требований к качеству минерального сырья является определение технологических типов и сортов руд, предопределяющих выбор технологий их добычи и переработки [26,14,51].

Тип руды характеризуется химико-минералогическим составом, структурой, формой связи минералов и физико-механическими свойствами. На медно-колчеданных месторождениях руды по минеральному и химическому составу, наличию в них сульфидов, окислов, карбонатов и сульфатов меди подразделяются на следующие технологические типы: сульфидные, окисленные и смешанные.

По текстурным особенностям медьсодержащие руды подразделяются на массивные (сплошные) и вкрапленные. Сплошные руды, обычно более богатые, характеризуются высоким содержанием серы, представленной пиритом, в сростании с которым находятся сульфиды меди и цинка. При применении прямой селективной флотации сплошных руд, они являются труднообогатимыми. Вкрапленные руды являются более бедными по содержанию меди и цинка, которое в рядовых рудах не превышает 1-2%, а в бедных 0,4-1%. Однако, вкрапленные руды характеризуются более высоким извлечением.

Сорт руды определяется её промышленной ценностью - содержанием полезного компонента. В зависимости от содержания меди в перерабатываемой руде, медные руды условно подразделяются на богатые (содержание меди более 2%), рядовые (0,8 - 2%), бедные (0,5 – 0,8%) и некондиционные (менее 0,5%).

Сульфидные, смешанные и окисленные руды, с содержанием меди более 0,8 %, добываются традиционными физико-техническими способами с обогащением на основе флотации и пирометаллургической переработки. Причем, богатые сульфидные и окисленные руды могут направляться непосредственно в плавку, тогда как бедные медью руды предварительно подвергаются обогащению.

На качество природного и техногенного сырья при применении физико-химической геотехнологии влияет большое число разнообразных природных факторов, которые определяют условия растворения и выноса металлов из рудного тела. К ним, прежде всего, относятся геологические, гидрогеологические, минералого-геохимические и горнотехнические характеристики месторождения.

В работах И.К. Луценко, В.Г. Бахурова, Р.С. Мещерской, А.А. Бурыкина, В.К. Бубнова [38,39] было изучено влияние природных условий месторождения на параметры выщелачивания металлов. Наиболее важное значение имеют следующие геологические и гидрогеологические характеристики: запасы металлов (особенно в проницаемых рудах), форма и размер рудных тел, содержание металлов в руде, характер распределения металлов по литолого-фильтрационным типам руд, глубина и условия их

залегания, проницаемость, уровень подземных вод, мощность и напор продуктивного водоносного горизонта, гранулометрический, химический и минералогический составы руд и вмещающих пород [46].

Благоприятными для выщелачивания являются месторождения, на которых водонасыщенные проницаемые руды залегают в водоупорных вмещающих породах. В этом случае фильтрация химического растворителя происходит только по руде, что существенно повышает качество продуктивных растворов и эффективность выщелачивания.

Минеральный и химический составы руд являются факторами, определяющими требования к качеству вовлекаемых в разработку запасов. Наличие металлов в виде трудновыщелачиваемых минералов делает указанный процесс извлечения низко эффективным, и, наоборот, наличие легко поддающихся растворению минералов, наряду с другими благоприятными геологическими факторами, определяют перспективность выщелачивания. При этом вмещающие породы должны быть химически устойчивыми по отношению к выбранному выщелачивающему реагенту.

Выделено три группы минералов по степени выщелачивания:

- хорошо выщелачиваемые (карбонаты, оксиды и гидроксиды железа и марганца, минералы шестивалентного урана, меди и др.);
- слабовыщелачиваемые (некоторые гидрослюда, полевые шпаты, сульфиды и др.);
- весьма слабовыщелачиваемые или практически нерастворимые (кварц и другие оксиды кремния — опал, халцедон, амфиболы, пироксены и др.).

Расход, выбор реагента и режим орошения являются наиболее важными факторами, оказывающими влияние на качество продуктивных растворов требуемого качества. От выбора реагента зависит эффективность химического взаимодействия рудообразующих минералов с активным химическим агентом, а также избирательное растворение ценных компонентов с последующим удалением образующихся химических примесей из зоны реакции посредством движущегося потока [29,46].

Интенсивность выщелачивания является также определяющим фактором, оказывающим влияние на эффективность процессов и качество продуктивных растворов. Она зависит от минерального и

гранулометрического состава выщелачиваемых руд. Как правило, интенсивность выщелачивания увеличивается с уменьшением крупности руды, однако, в ряде случаев, излишнее дробление приводит к ухудшению фильтрации растворов в массиве, возникновению обратного процесса седиментации ценных компонентов и, как следствие, снижению интенсивности выщелачивания [38]. Поэтому для хорошо фильтрующихся руд (например, Коунрадского месторождения) разработаны различные методы орошения: налив растворов непосредственно в прудки, разбрызгивание по поверхности или их комбинация. Для орошения быстрофильтрующихся руд, содержащих большое количество крупных фракций (например, руд Волковского месторождения), необходимы разбрызгивающие системы орошения.

В результате эксплуатации месторождений сочетанием физико-технической и физико-химической технологиями неизбежно образуются различные техногенные потоки минерального сырья. К ним относятся - вскрышные породы, отвалы бедных и окисленных руд, хвосты обогащения, подотвальные, шахтные и карьерные воды, отвалы пиритного концентрата, просыпи сепарации руд. Как правило, для извлечения ценных компонентов они практически не используются, ввиду низкого качества или отсутствия эффективных технологий промышленной эксплуатации. Для включения этого сырья в промышленное использование необходимо, в первую очередь, изыскать новые технические решения для вовлечения сырья в эксплуатацию с заданными требованиями к его качеству.

Стоит заметить, что при проектировании комбинированной геотехнологии требования к качеству природного и техногенного сырья, вовлекаемого в эксплуатацию различными способами добычи, существенно отличаются. Так, при открытой разработке месторождений требования к содержанию полезного компонента в руде - одни, для подземной разработки – другие. При реализации физико-химической геотехнологии требования к качеству зависят от различных факторов: способов выщелачивания – подземное, кучное, скважинное; места производства работ – в карьере или на поверхности, в подземной камере, в горном массиве или в разрыхленной рудной массе; вида сырья - руда на месте залегания, складированная в

отвалах, оставленная в закладке или потерянная в зоне обрушения, техногенное сырье горно-металлургического производства – хвосты обогащения: текущие, лежалые, находящиеся под затоплением действующих или законсервированных хвостохранилищ; а также металлургические шлаки и минерализованные промышленные воды [25,81].

Высокое содержание ценных компонентов в техногенных образованиях при разработке месторождений медно-колчеданных руд и большие объемы их накопления делают указанную проблему весьма актуальной. Так, отвалы вскрышных пород и забалансовых руд на Башкирском медно-серном комбинате, сформированные во время отработки открытым способом месторождений: Бакр-Тау (объем забалансовых руд - 140 тыс. тонн, средние содержания меди - 0.60%, цинка -1.29%); Таш-Тау (объем забалансовых руд - 39 тыс. тонн, содержание в них меди - 1.10%, цинка - 0.46%); Балта-Тау (объем забалансовых руд - 421.6 тыс. тонн, содержание в них меди - 0.73%, цинка - 0.93%). Породы отвалов в различной степени минерализованы сульфидами, количество которых в метасоматитах достигает 8-9 %.

В процессе длительного хранения забалансовых руд под действием атмосферных осадков происходит природное выщелачивание полезных компонентов, что приводит к снижению качества сырья и загрязнению окружающей среды тяжелыми элементами.

Кроме того, основная масса вскрышных пород и забалансовых руд складирована в отвалах без сортировки и предварительной подготовки основания, что отрицательно сказывается на параметрах технологии и возможности утилизации отходов. Лишь небольшая часть пород основного состава размещена в спецотвалах, которые предназначены для переработки. Но длительный срок хранения руд в спецотвалах приводит к изменению качества сырья и снижению полезных свойств. Доказано, что при хранении бедных руд в спецотвале более 50 лет, полезные свойства руды и способность их к последующей переработке полностью утрачивается [46,71].

В настоящее время на базе отвалов диабазового камня организовано дорожно-строительное производство, производящее фракционированный щебень марки 1100-1200 и дробленый песок марки 700-800 для собственных нужд Учалинского ГОКа (закладка выработанного пространства

Учалинского подземного рудника, строительные работы) [16]. В 2000 году объем вскрыши Учалинского карьера и шахты составил 113 тыс. м³, из которых использовано только 36 тыс. м³. Из отвалов в 2000 году использовано 600 тыс. м³ диабазового камня, в 2001-2005 гг. - 850 тыс. м³ в год.

Сопоставление содержаний ценных компонентов в отходах обогащения (табл. 1.5) с содержанием их в перспективных месторождениях свидетельствует о целесообразности рассмотрения хранилищ отходов в качестве альтернативных источников минерального сырья с постановкой их на баланс предприятия, как техногенного месторождения [70].

Таблица 1.5 - Содержание основных ценных компонентов в хранилищах отходов обогащения руд Южного Урала

Хранилища обога­ти­тель­ных фаб­рик	Содержание элементов					
	Медь тыс.т	Цинк тыс.т	Сера тыс.т	Железо тыс.т	Золото т	Серебро т
Гайская	120	92	10640	5548	32	160
Бурибаевская	24,84	11,549	1412,6	1276,2	6,62	56,80
Учалинская	89,7	257,04	6306,30	8050,8	16,38	232,05
Сибайская	34,40	89,44	3646,40	5899,6	13,84	344
Всего:	239,30	326,83	22005,30	20774,6	68,84	792,85

Необходимо также отметить, что, наряду с традиционными (базовыми) компонентами, приведенными в табл. 1.5, в отходах переработки медно-колчеданных руд содержатся другие цветные, а также редкие металлы и рассеянные элементы [31,108].

При этом длительное хранение отходов обогащения медно-колчеданных руд в хранилищах приводит к их частичному, а, в ряде случаев, и полному окислению, природному выщелачиванию полезных компонентов в окружающую среду и, как следствие, существенному снижению качества техногенного сырья. Кроме этого, в результате процессов окисления, выветривания минералов руд и вмещающих пород, выщелачивания ценных компонентов происходит изменение первичных минеральных форм [70].

Хранение хвостов в водной фазе хранилища сопряжено с безвозвратной потерей качества техногенного сырья, повышением концентраций ионов

тяжелых металлов в оборотной воде обогатительных фабрик, что также свидетельствует о естественном выщелачивании металлов. Процессы выветривания и естественного выщелачивания продолжаются наиболее интенсивно после консервации хвостохранилищ и проявляется в закислении водной фазы.

Таким образом, отходы обогащения медно-колчеданных руд, как объекты разработки, характеризуются рядом специфических особенностей. Они представляют собой мелкозернистый материал 70-90 % крупностью - 0,074 мм. Их усредненный гранулометрический состав: +0,14 мм - 6 %, +0,1 мм - 7 %, +0,074 мм - 2 %, +0,044 мм - 7 %, -0,044 мм - 78 % [71]. Основной минеральный состав: пирит - 57 %, сфалерит - 1,1 %, халькопирит - 0,8. %, оксиды железа (лимонит, магнетит, гематит) - 2 %, халькантит и вторичные сульфиды - 0,2 %, нерудные минералы (кварц, полевые шпаты, серицит, хлорит, барит, кальцит) - 8,9%. [7]. Хвостохранилища медно-колчеданного сырья отличаются от природных месторождений происхождением, условиями залегания и пониженным содержанием ценных компонентов. Присутствуют и сходства с природными месторождениями, заключающиеся в сложном внутреннем строении залежей. В результате, освоение техногенных месторождений связано с рядом трудностей и в настоящее время производится весьма ограниченно, преимущественно для использования в закладке и строительных работах [96].

Следует отметить, что исходя из приведенной ситовой характеристики, возможность использования породной части хвостов в качестве стройматериалов определяется перспективой селективного выделения нерудной части материалов, слагающих хвостохранилище [109].

С целью вовлечения в эксплуатацию бедных руд, ранее складированных в отвалах на Учалинском ГОКе, была внедрена технология рентгенометрической покусковой сепарации. Несмотря на явные экономические и технологические преимущества данной технологии, при ее внедрении образуется просыпь сепарации. Это некондиционная по крупности фракция, которая не может быть переработана ни рентгенометрической сепарацией, ни в цикле обогащения, но имеет достаточно высокое содержание меди – 0,5% и цинка – 1,86% [46].

Высокое содержание ценных компонентов в данном виде отходов свидетельствует о необходимости их извлечения перед утилизацией. При этом извлечение ценных компонентов с получением богатых по качеству продуктивных растворов целесообразно производить после грохочения по классу 3 мм. Класс -3 мм может рассматриваться как отвальный продукт для использования в строительстве или в качестве компонентов смеси для закладки выработанного пространства.

Анализ практики разработки медно-колчеданных месторождений, в силу их специфических горно-геологических, гидрогеологических, горнотехнических условий, ценности руд, склонности к самовозгоранию, определяет необходимость применения систем разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства. Однако, достаточно высокие затраты на использование привозного цемента и дробление скальных пород вскрыши и попутной добычи сдерживают эффективное применение этой прогрессивной технологии [1].

Поэтому в последнее время достаточно большое внимание уделяется технологии возведения техногенных массивов с использованием в качестве заполнителей закладочных смесей отходов производства и местных вяжущих материалов [50]. Вместе с тем, присутствие в отходах полезных компонентов, тонкая дисперсность и кислотность среды сдерживают их использование для приготовления закладочной смеси. Применение отходов производства для формирования закладочных массивов становится возможным после доизвлечения полезных компонентов и определения составов закладочных смесей, отвечающих требованиям механических характеристик. Стоит заметить, что использование хвостов обогащения для приготовления закладочной смеси значительно снижает эксплуатационные затраты на ее приготовление и, соответственно, полную себестоимость добычных работ, примерно на 25-30% [72]. Снижение эксплуатационных затрат на добычу 1 т полезного ископаемого, в свою очередь, позволяет значительно снизить требования к качеству вовлекаемого сырья и увеличить количество балансовых запасов.

Таким образом, при обосновании требований к качеству медно-колчеданных руд и техногенного сырья необходимо дифференцировать

запасы месторождения по видам применяемых технологий с учетом их качественных и количественных характеристик и эколого-экономического эффекта, полученного от вовлечения в разработку техногенного сырья, химического и вещественного состава, структурно-текстурных особенностей. Вовлечение в разработку запасов бедных руд и техногенного сырья позволит повысить эффективность освоения медно-колчеданных месторождений и расширить минерально-сырьевую базу горных предприятий.

1.4 Методы обоснования требований к качеству сырья при комбинированной разработке природных и техногенных месторождений

В настоящее время обоснование требований к качеству руд производится на основе «Методических рекомендаций по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых (кроме и горючих сланцев)» [44]. Причем, эти требования определяются статически на момент реализации в проекте какой-либо одной геотехнологии без учета возможностей перехода на другие способы добычи. В составе ТЭО кондиций рассчитываются требования к качеству только природного сырья, причем в качестве основного показателя рассчитывается минимально-промышленное содержание основного или суммы ценных компонентов, приведенных по ценности руд к основному, т.е. минимально-промышленное содержание условного компонента [44].

Существенный вклад в решение проблемы обоснования требований к качеству минерального сырья, неразрывно связанной с важнейшими проблемами комплексного освоения недр и повышения качества продукции горных предприятий, внесли академики А.В. Сидоренко, Н.В. Мельников, В.В. Ржевский, М.И. Агошков, К.Н. Трубецкой, член. корр. РАН Д.Р. Каплунов, доктора наук Бронников Д.М., Прокопьев Е.П., Юматов Б.П., Адигамов Я.М., Ломоносов Г.Г., М.В. Рыльникова, Е.И. Панфилов, В.Н. Уманец, С.С. Резниченко, С.А. Филиппов и другие известные ученые.

Впервые в России геолого-экономические приемы оценки качества минерального сырья были разработаны применительно к условиям золотодобывающей промышленности в начале XX века. В задачи оценки входило определение запасов золота и платины и установление

промышленного значения россыпных и коренных месторождений этих металлов. Основным показателем промышленного значения месторождения в условиях еще дореволюционной России являлся критерий прибыли [43].

В годы первых пятилеток, в СССР, наиболее полно вопросы оценки качества запасов месторождений были рассмотрены Н.И. Трушковым (1931, 1934), который само понятие оценки определил с позиций социалистического планового хозяйства. Он отмечал, что в условиях социалистического хозяйства необходимо учитывать не только абсолютную ценность месторождения, но и потребность народного хозяйства в данном виде сырья. Им отмечена необходимость учета относительной точности геолого-экономической оценки и фактора времени. Обращено внимание на требования оценки забалансовых и перспективных запасов. Решающую роль Н.И. Трушков отводил правильному определению геологических, горнотехнических и технологических показателей разработки месторождений.

С 1928 года в связи с потребностями проектирования крупных горных предприятий институтами «ГИПРОМЕЗ», «ГИПРОЦВЕТМЕТ» и другими была начата разработка кондиций на рудные месторождения, что явилось составной частью работ по оценке качественных характеристик запасов.

В.В. Померанцев в своих работах подробно рассмотрел вопросы предпроектной геолого-экономической оценки месторождений. Им выделена оценка запасов месторождения на стадиях поисково-разведочных работ, предварительной и детальной разведок. Оценку на первой стадии он предлагал производить с использованием двух показателей: производительности предприятия и капиталовложений на его строительство. При оценке в период проведения предварительной и детальной разведок В.В. Померанцев основными критериями выделил рентабельность эксплуатации месторождения и экономическую эффективность капиталовложений. Оценка осуществляется путем определения основных технико-экономических показателей по эмпирическим формулам. Последние были выведены на основе статистической обработки данных по эксплуатации ряда месторождений. Основное достоинство предлагаемого метода – простота

технико-экономических расчетов. Наряду с этим, следует отметить и невысокую точность определения показателей по предложенным формулам.

Д.Н. Рура в 1958 г, предложил при оценке качества запасов месторождений использовать метод вариантов, как наиболее объективный. Метод вариантов включает в себя подсчет запасов при нескольких значениях бортового содержания, которое влияет на определение возможной производительности предприятия, себестоимости руды и конечной продукции, капиталовложений в зависимости от подсчитанных по вариантам запасов [30]. Оптимальный вариант выбирается с учетом удовлетворения нужд народного хозяйства в определенном виде сырья по допустимой себестоимости. Стоит заметить, что данный способ нашел широкое развитие, и его дальнейшее применение для обоснования требований к качеству запасов минерального сырья, и в наше время он считается наиболее объективным, что и указано в методике ГКЗ [44].

В начале второй половины XX века в России требования к качеству минерального сырья начали обосновывать в так называемых «постоянных» геологических кондициях, на основе которых определялись границы месторождения, балансовые и забалансовые запасы [56,88]. Геологические кондиции устанавливались на основе средних для месторождения горно-геологических и экономических условий.

Анализ методов обоснования кондиций качества полезных ископаемых данного периода, показывает, что применение геологических кондиций для выемки запасов часто приводит в одних случаях к включению в контур отработки месторождения явно экономически неэффективных запасов месторождения, в других, наоборот, к оставлению за контуром отработки таких запасов полезных ископаемых, добыча которых экономически эффективна [58].

Различные участки месторождения, как известно, отличаются мощностью, углом падения, физико-механическими свойствами руды и вмещающих пород, содержанием полезных компонентов, включением прослоек пустых или слабооруденелых пород и т.д. Эти различия, как утверждают авторы [21,88,89], не могут быть учтены при обосновании геологических кондиций, и поэтому последние определяются из средних

условий по месторождению. Основным недостатком данной методики является то, что усреднение геологических и горно-технических параметров приводит к завышению или занижению требований к качеству запасов месторождений.

Резниченко С.С. в своей работе [75] классифицировал кондиции в зависимости от периодов освоения месторождения (разведка, проектирование горного предприятия и эксплуатация) на: геологические, проектные и эксплуатационные.

Кондиции геологические определяют требования к качеству полезных ископаемых в недрах и к геологическим условиям, соблюдение которых позволяет правильно разделять запасы месторождения по их народно-хозяйственному значению.

Кондиции проектные устанавливают требования к качеству полезных ископаемых в недрах, соблюдение которых позволяет получить наилучшие технико-экономические показатели при разработке месторождения. На основании проектных кондиций устанавливаются промышленные запасы полезного ископаемого. Геологические кондиции, на основании которых выделяются балансовые и промышленные запасы, могут отличаться друг от друга. Геологические кондиции подсчитываются приближенно, когда недостаточно хорошо известны технологии разработки месторождения, производительность горного предприятия [75].

Эксплуатационные кондиции на руду определяют совокупность требований к качеству руды, поступающей на переработку, соблюдение которых позволяет получить наилучшие технико-экономические показатели по всему циклу добычи и переработки руды. Эксплуатационные кондиции на руду служат для выделения эксплуатационных запасов.

Стадии расчетов, а также взаимосвязь геологических, проектных и эксплуатационных кондиций представлены на рис. 1.7. [75]. В своей работе автор, предложил оптимизировать параметры кондиций в ходе эксплуатации месторождения открытым способом путем поэтапной оптимизации бортового содержания. Однако, в современных рыночных условиях с значительными колебаниями на металлы это приводит к потере запасов руд, которые в дальнейшем могли бы быть эффективно переработаны.

Обоснование требований к качеству сырья при комбинированной разработке месторождений в работе не рассматривается.



Рисунок 1.7 - Стадии расчета и взаимосвязь геологических, проектных и эксплуатационных кондиций.

В ходе эксплуатации месторождения запасы и их качественные и количественные характеристики подвергаются значительной корректировке в ходе эксплуатационной разведки. Несоответствие данных, отраженных в технико-экономическом обосновании (ТЭО) кондиций, с фактическими, приводит к потере запасов, которые по своим качественным характеристикам являются балансовыми и могут быть эффективно вовлечены в разработку. Данную проблему предложили решить авторы [3,9,21,89,111], указывающие, что в ходе разработки месторождения, наряду с параметрами постоянных

кондиций, необходимо пользоваться дополнительными параметрами эксплуатационных кондиций. С их помощью следует производить технико-экономическую оценку запасов отдельных эксплуатационных (выемочных) участков месторождения, горно-геологическая характеристика которых существенно отличается от принятой при обосновании постоянных кондиций.

К числу параметров эксплуатационных кондиций, используемых для оценки запасов отдельных участков месторождения, относятся: минимальное качество (содержание полезных компонентов) запасов отдельного выемочного участка месторождения – $C_{м.э}$; минимальное качество (содержание полезных компонентов) на контуре запасов выемочного участка – $C_{б.о}$; максимально допустимое содержание вредных примесей.

Авторы правомерно считают, что параметры эксплуатационных кондиций для оценки запасов выемочного участка необходимо определять из условия равенства извлекаемой ценности всей конечной продукции из единицы запасов и предстоящих затрат на получение этой продукции из этой единицы запасов. Причем, затраты, производимые горным предприятием, независимо от того, будут или нет извлекаться запасы рассматриваемого участка, не учитываются.

Минимальное содержание (a_d) полезных компонентов, приведенных к условному содержанию, в запасах отдельного выемочного участка месторождения предложено определять по формуле [3]:

$$a_d = \frac{Z_{д.об.пр}}{0,01I_{об}I_M(\Pi - Z_{м.м})}, \%, \quad (1.1)$$

где $Z_{д.об.пр}$ – сумма предстоящих затрат на добычу, транспортирование и обогащение 1 т добытого полезного ископаемого, р/т; $I_{об}, I_M$ – коэффициенты извлечения полезного компонента (основного для комплексных руд), соответственно, при обогащении и металлургическом переделе, доли ед.; Π – цена единицы конечной продукции, принятая в расчетах постоянных кондиций, р; $Z_{м.м.}$ – сумма затрат на транспортирование продукта обогащения до металлургического завода и металлургический передел в себестоимости 1 т конечной продукции, р/т.

Формула, предложенная авторами в работах [3,94], по структуре аналогична формуле определения промышленного минимума рекомендуемой

в методике за 1965 г[45], и используемой для оценки кондиций в наше время [44]. По своему назначению эксплуатационные кондиции являются средством для рационального использования ресурсов недр [3,21]. Однако, в современных рыночных условиях данная методика, в рамках которой обосновываются требования к качеству вовлекаемых в разработку участков месторождения, привела к выборочной отработке запасов месторождения с высоким содержанием ценных компонентов и переводу в категорию забалансовых участков месторождения, которые могли бы быть эффективно переработаны. В работах [3,9,21,43,56,58,75,88,89,94,105,106,111,114-121] требования к качеству техногенного сырья при комбинированной разработке месторождений также не рассматривались.

В ходе разработки месторождения формируются различные потоки техногенного сырья: хвосты обогащения, вскрышные породы, отходы сепарации руд, порода от проходки, подотвальные и шахтные воды и многие другие. Данные потоки сырья могут быть эффективно вовлечены в разработку. Академик К.Н. Трубецкой и проф. В.Н. Уманец, З.А. Терпогосов, В.Г. Шитарев и др. [95,97,99,100] предложили производить технико-экономическую оценку техногенных образований для перевода последних в категорию техногенных месторождений. В методике указано: «в связи с возможностью использования сырья, сосредоточенного в техногенных минеральных объектах, первоочередной задачей в их освоении является выделение из них тех, которые могут быть отнесены к техногенным месторождениям, т.е. объектов, которые по количеству и качеству содержащегося в них минерального сырья являются пригодными для эффективного использования в сфере материального производства» [99]. Для оценки качественных характеристик техногенных образований, предложено рассчитывать основные параметры кондиций техногенного сырья:

- минимально-промышленное содержание полезного компонента в запасах техногенного месторождения, приведенное к содержанию условного основного компонента – $\alpha_{\min}$;
- перспективное минимально-промышленное содержание полезных компонентов – $\alpha_{\min}^{\text{П}}$;

- минимальное (граничное) содержание полезного компонента в подсчетном участке месторождения, определяемое исходя из условий окупаемости предстоящих эксплуатационных затрат – $\alpha_{гр}$;
- коэффициенты для приведения в комплексных рудах содержаний полезных компонентов к содержанию условного основного компонента, а также минимальное содержание попутных компонентов, учитываемые при приведении к основному;
- минимальные запасы техногенного месторождения или его изолированного участка;
- перечень попутных компонентов, извлекаемых из руд совместно с основными компонентами.

Минимально-промышленное содержание (α_{min}) полезного компонента – это такое содержание, при котором обеспечивается равенство извлекаемой ценности минерального сырья и полных затрат на получение товарной продукции [99]. Перспективное минимальное содержание ($\alpha_{min}^П$) полезного компонента – это такое содержание, при котором использование новых и перспективных технологий позволит целесообразно разрабатывать запасы минерального сырья. Минимальное (граничное) содержание ($\alpha_{гр}$) – это такое содержание полезного компонента, при котором в результате оконтуривания запасов участка месторождения, внутри него будет обеспечено перспективное минимальное содержание.

Минимальное содержание полезных компонентов (α_{min}) предлагается определять в целом для техногенного месторождения или его изолированных участков по формуле:

$$\alpha_{min} = \alpha_{хв.в} + \frac{C}{0,01 \cdot \varepsilon_{пред} \cdot \varepsilon_M (\Pi(1+K) - C_M)} \left(1 - \frac{\alpha_{хв.в}}{\beta}\right), \quad (1.2)$$

где $\alpha_{хв.в}$ – содержание условного полезного компонента во вторичных отходах (хвостах) после доизвлечения его в концентрат, %; β – содержание полезного компонента в концентрате, %; C – затраты на добычу, транспортировку, предварительное обогащение и обогащение 1 т техногенного сырья, р/т; C_M – полная стоимость металлургического передела 1 т металла, р/т; Π – оптовая цена 1 т готовой продукции, р/т; $\varepsilon_{пред}$, ε_M – извлечение металла при предварительном обогащении и металлургическом переделе, дол. ед.

Однако, в данной методике техногенное месторождение рассматривается, как уже сформированное, и не указывается необходимость учета полученного экономического эффекта от вовлечения в разработку техногенного сырья при обосновании требований к качеству руд. Так же является довольно спорным предложение авторов рассчитывать перспективное минимальное содержание металла, ввиду невозможности спрогнозировать динамику цен на металлы и изменение различных технологических показателей (извлечение при обогащении и металлургическом переделе, себестоимость добычных работ и т.д.).

В настоящее время при расчетах минимально-промышленного содержания условного компонента (т.е. суммы содержаний полезных компонентов, приведенных к содержанию основного компонента) вопрос о круге попутных металлов, включаемых в расчет содержания условного металла по тому или иному подсчетному блоку, месторождению решается субъективно. Из предложенного ГКЗ [44] определения понятия «попутных компонентов» остается неясным, как быть в тех случаях, когда в совокупности попутные компоненты имеют более высокую ценность, нежели чем основной [37].

Методики определения предельных содержаний рассеянных элементов в комплексном сырье разработаны А.М. Быбочкиным, А.М. Сечевицей и многими другими известными учеными [8,10, 84]. Профессор Ф.Д. Ларичкин в своей работе [36,37] предложил устанавливать предельное (браковочное) содержание ценного компонента в комплексном сырье, ниже которого его извлечение при комплексной переработке сырья экономически неэффективно на конкретном этапе развития производства.

Предельное содержание ($\alpha_{i \text{ пр}}$) предложено рассчитывать в процентах по формуле [37]:

$$\alpha_{i \text{ пр}} = \frac{(3_{\text{п+р}})_i}{\varepsilon_i \text{Ц}_i (1-\text{Р})} * 100, \quad (1.3)$$

где i – номер ценного компонента; ε_i – извлечение i -го ценного компонента в готовую продукцию, дол. единицы; Ц_i – рыночная цена 1 т i -го ценного компонента в готовой продукции, р; Р – коэффициент разубоживания руды при добыче, дол. единицы.

Данная методика позволяет определить минимальное содержание попутных компонентов и более точно рассчитать требования к качеству минерального сырья. Геологические данные, на основании которых рассчитываются кондиции, как правило не дают точных данных по попутным компонентам и ориентированы преимущественно на основные компоненты, именно поэтому сдерживается применение данной методики на стадии проектирования рудников.

Обоснование требований к качеству минерального сырья – одна из наиболее важных составных частей оценки месторождений. Конструирование и обоснование рациональных параметров горнотехнических систем комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии базируется на современных требованиях, которые предъявляются к комплексной разработке месторождений полезных ископаемых. Комбинация процессов различных видов горных работ осуществляется на принципе эмерджентности входящих геотехнологических процессов. Это предопределяет необходимость совершенствования методической базы проектирования, актуальной для современных условий. Поэтому совершенствование методики обоснования требований к качеству природного и техногенного сырья, оценки уровня использования недр и экологических последствий является актуальной задачей. От ее успешного решения зависит эффективность работы горных предприятий и всей горнодобывающей промышленности.

1.5 Цель, задачи и методы исследования.

Обобщение опыта применения физико-технических и физико-химических геотехнологий показал, что, несмотря на явные преимущества комбинированной геотехнологии, принятые в настоящее время в проектах решения не всегда позволяют вовлечь в эффективную отработку все промышленные запасы месторождения. В подземном пространстве, за проектным контуром в бортах и основании карьеров остаются выклинивающиеся в массиве и распределённые по периметру рудные участки; в шахтных полях не полностью отрабатываются бедные руды и маломощные рудные залежи, отдаленные локальные рудные тела, запасы, расположенные в неблагоприятных горно-геологических условиях.

Важно отметить, что наиболее полное и качественное извлечение запасов медно-колчеданных руд сложного вещественного состава и сопутствующих техногенных образований обеспечивается при применении физико-технических и физико-химических способов добычи. Для эксплуатации месторождений различными технологиями, прежде всего необходимо оценить качественные характеристики руд, характеризующихся сложным вещественным составом.

Проведенный аналитический обзор теории и практики обоснования требований к качеству добываемого сырья свидетельствует, что до настоящего времени принципы дифференциации запасов по видам применяемых геотехнологий в единой горнотехнической системе не установлены. Отсутствует опыт реализации данных технологий применительно к разработке месторождений многокомпонентных руд цветных и благородных металлов.

Повысить экономическую эффективность разработки месторождений комбинированной геотехнологией возможно за счет эффективного вовлечения всех минерально-сырьевых потоков в промышленную разработку путем применения различных комбинаций физико-технических и физико-химических геотехнологий. Отсутствие в отечественной практике методик обоснования требований к качественным характеристикам запасов природного и техногенного сырья, дифференцированным по видам применяемых технологий и вещественному составу сырья, определило комплекс поставленных в диссертационной работе задач и основную цель исследований.

Целью диссертационной работы является разработка методики определения требований к качеству медно-колчеданного сырья, вовлекаемого в эксплуатацию комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологией, обеспечивающей повышение полноты и комплексности освоения месторождений медно-колчеданных руд и сопутствующих техногенных образований.

Идея работы состоит в том, что повышение эффективности освоения медно-колчеданных месторождений и сопутствующих техногенных образований комбинированной геотехнологией обеспечивается путем дифференциации требований к качеству минерального сырья по видам

применяемых геотехнологий в полном цикле комплексного освоения месторождений.

Задачи исследований:

- обобщение методик обоснования требования к качеству рудного и техногенного сырья, вовлекаемого в эксплуатацию физико-техническими и физико-химическими геотехнологиями;
- изучение влияния горно-геологических условий залегания и особенностей вещественного состава медно-колчеданного природного и техногенного сырья, способов его добычи и переработки, экономических факторов на требования к качеству вовлекаемых в разработку минеральных ресурсов;
- оценка требований к качеству природного и техногенного сырья по видам применяемых геотехнологий;
- разработка методики обоснования требований к качеству природного и техногенного сырья в полном цикле комплексного освоения рудного месторождения;
- разработка технологических рекомендаций по комплексному освоению месторождения «Ново-Учалинское» комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологией.

Для решения поставленных задач в качестве **объекта исследований** выбраны горнотехнические системы комплексного освоения месторождений медно-колчеданных руд этажно-камерной системой разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства и кучным выщелачиванием окомкованных хвостов обогащения руд.

Методы исследований:

В работе использован комплексный метод исследований, включающий обобщение и анализ отечественного опыта обоснования требований к качеству минерального сырья, геолого-минералогические исследования и химический анализ, опытно-промышленные испытания показателей геотехнологий, имитационное моделирование, экономико-математический анализ и технико-экономические расчеты с обработкой результатов исследований методами математической статистики.

2. РАЗВИТИЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ ОБОСНОВАНИЯ УСЛОВИЙ РЕАЛИЗАЦИИ КОМБИНИРОВАННОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ К КАЧЕСТВУ МЕДНО-КОЛЧЕДАННОГО СЫРЬЯ

2.1. Факторы, определяющие требования к качеству сырья при комбинированной геотехнологии

Развитие горнодобывающей промышленности происходит на фоне непрерывного изменения экономических условий и спроса на рынке сырьевых ресурсов. Все это привело к истощению минерально-сырьевой базы горных предприятий, скоплению в огромных количествах техногенных отходов, что негативно отражается на экологической обстановке, а также отрицательно сказывается на экономике предприятий, в том числе ввиду высоких экологических выплат. В результате горным предприятиям необходимо решать проблему сокращения объемов складирования отходов и восполнения собственной минерально-сырьевой базы, как за счет поиска новых месторождений, так и за счет повышения комплексности освоения ранее разрабатываемых.

В аспекте комплексного освоения недр ценность месторождений должна устанавливаться на основе рассмотрения их не обособленно и абстрактно, а в тесной взаимосвязи с работой горно-добывающих и металлургических предприятий на основе комбинации физико-технических и физико-химических геотехнологий с вовлечением в разработку отходов добычи и переработки руд. Это требует учета положения, что при добыче и дальнейшей переработке руд недропользователь получает минерально-сырьевые потоки не только в виде концентрата или товарного металла, но и в виде хвостов обогащения, вскрышных пород, минерализованных стоков и других потоков, использование которых в полном цикле комплексного освоения месторождений позволяет получить дополнительный экономический эффект [46].

Методики обоснования требований к качеству минерального сырья и кондиций на вовлекаемые в разработку руды в условиях применения какой либо одной монотехнологии достаточно подробно и широко апробированы.

Создание принципиально новых горнотехнических систем комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии

предъявляет новые требования к обоснованию кондиций на вовлекаемое в эксплуатацию минеральное сырье. Обоснование кондиций должно обеспечить распределение запасов по способам добычи для эффективной разработки полезных ископаемых с учетом специфики вещественного состава и перспектив дальнейшего использования, причем, как природного, так и техногенного сырья.

Дифференциация запасов природного и техногенного сырья должна производиться на основе кондиций, в рамках которых обосновываются основные требования к качеству сырья, такие как:

- бортовое и минимально-промышленное содержание ценных компонентов, приведенных к условному содержанию;
- максимально допустимые содержания вредных примесей;
- минимальная мощность рудного тела (пластов, залежей, жил и т.п.)
- максимально допустимая мощность прослоев пустых пород;
- минимальные запасы изолированных тел полезных ископаемых (участков, блоков и т.п.);

Факторы, определяющие требования к качеству природного и техногенного сырья [62,110], группируются на три группы: геологические, экономические и технологические (табл. 2.1). Причем, основные параметры кондиций устанавливаются обычно на природное сырье, но с учетом экономического эффекта, полученного от вовлечения (утилизации и т.п.) в разработку отходов его добычи и переработки.

Геологические факторы являются определяющими при установлении ценности запасов месторождения и требований к их качеству. Так, глубина залегания рудных тел и объемы геологических запасов прямо влияют на себестоимость ведения добычных работ и транспортирования рудной массы до обогатительной фабрики. Качество типов и сортов руд, их распределение в недрах являются основными факторами, которые определяют технологию их добычи и переработки. Содержание и число ценных и вредных компонентов в каждом виде полезного ископаемого и другие его технологические свойства предопределяют величину извлекаемой ценности руд. Мощность прослоев пустых пород влияет на показатели разубоживания

руд и, как следствие, на содержание ценных компонентов в рудной массе, поступающей на переработку.

Табл. 2.1. Факторы, определяющие требования к качеству руд при комплексном освоении медно-колчеданных месторождений

Геологические	Экономические	Технологические
Глубина залегания рудных тел, их форма и размеры; гидрогеологическая характеристика месторождения; объем геологических запасов руд; характер распределения рудной минерализации в запасах руд; физико-механические свойства руд и вмещающих пород; типы и сорта руд; содержание ценных компонентов и вредных примесей; характеристика структуры горного массива; мощность прослоев пустых пород.	Капитальные и эксплуатационные затраты на добычу и переработку руд; налоговые платежи; уровень цен на металлы на мировых биржах; курсы валют; спрос на товарную продукцию; валовая извлекаемая ценность 1 т руды; стоимость товарной продукции; извлекаемая ценность; качество получаемой товарной продукции; срок эксплуатации запасов руд различными геотехнологиями.	Характеристики геотехнологий; способ разработки месторождения; виды применяемых геотехнологий системы разработки; показатели интенсивности освоения запасов руд (производственная мощность, количество использованных техногенных отходов в качестве строительного сырья и закладки выработанного пространства); уровень потерь и разубоживания полезного ископаемого в зависимости от вида геотехнологий; объемы горно-капитальных работ; удельный объем подготовительно-нарезных работ; качественные характеристики сырья поступающего на переработку; технологии переработки минерального сырья и уровень извлечения основных и попутных полезных компонентов в товарную продукцию.

Экономические факторы являются, по сути, основными, которые определяют ценность месторождения и требования к качественным характеристикам руд месторождения (минимально-промышленное содержание условного металла, минимальную мощность рудного тела, содержание вредных примесей и др.), оцениваемых с учетом действующих при проектировании разработки месторождения рыночных цен на товарную продукцию и уровней налоговых платежей.

Во многом, в зависимости от уровня капитальных и эксплуатационных затрат на добычу и переработку руд принимаются решения по инвестициям

и началу строительства рудника. Эти затраты учитываются при расчетах минимально-промышленного содержания металла в геологических запасах месторождения и являются одним из основных факторов, которые определяет уровень кондиций. Уровень цен на полезные компоненты является тем фактором, который, по сути, отвечает на вопрос - насколько рентабельно можно вовлечь запасы руд с тем или иным содержанием ценных компонентов и вредных примесей. Немаловажным показателем качества руд являются цены на попутные компоненты. Как показывает практика разработки медно-колчеданных руд, при формировании валовой ценности 1 т руды, доля в ней попутных компонентов может изменяться в пределах 20-60% общей ценности минерального сырья. Ввиду этого ошибка при определении ценности попутных компонентов может привести к безвозвратной потере части запасов, которые могли бы быть эффективно вовлечены в эксплуатацию.

Немаловажным фактором при разработке месторождений многокомпонентных руд являются вид применяемых геотехнологий, схемы вскрытия и способы разработки (открытый, подземный, подводный, комбинированный), применяемые геотехнологии добычи и переработки минерального сырья, системы разработки и другие немаловажные факторы. От этих технологических факторов зависит ценность месторождения, объемы и качество извлекаемых запасов. Так, применение какой-либо одной монотехнологии приводит к потере запасов, которые не отвечают требованиям данной технологии и, следовательно, количество извлекаемых запасов становится значительно меньшим, чем при применении комбинированной геотехнологии.

Например, большая часть запасов Сибайского медно-колчеданного месторождения была отработана открытым способом, что в итоге привело к потере значительной части запасов, расположенных в бортах и днище карьера. Отработка этих запасов подземным способом с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями малоэффективна. Вместе с тем, данные запасы возможно отработать физико-химической геотехнологией, так как руды под воздействием окружающей среды подверглись окислительным процессам и по своим качественным

характеристикам не соответствуют требованиям обогатительной фабрики, и склонны к выщелачиванию.

Вместе с тем, применение открытого способа разработки на ряде месторождений позволяет от 10-15% до 20-30% и более увеличивать извлекаемые запасы в контурах карьера по сравнению с подземным способом разработки [110]. Помимо этого, при открытом способе разработки значительно увеличиваются экологические платежи за изъятие сельскохозяйственных земель под отвалы вскрышных пород, и высока вероятность, что часть запасов останется за контуром карьера. При подземном способе разработки величина извлекаемых запасов может в большей мере изменяться в зависимости от применяемых схем вскрытия месторождения, способов подготовки горизонтов и блоков, порядка разработки месторождения и от вида применяемых систем разработки. Например, применение систем разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства позволяет увеличить объемы извлекаемых запасов на 15-20% по сравнению с условиями применения системам разработки с обрушением руды и вмещающих пород [110]. При этом, вовлечение в разработку техногенных образований (хвостов обогащения, вскрышных пород и т.д.) для приготовления закладочных смесей позволяет значительно снизить затраты на закладочные работы и в целом на добычу полезных ископаемых [72]. Так, использование лежалых хвостов обогащения для приготовления закладочной смеси на Гайском ГОКе позволило снизить себестоимость добычных работ на 35-40%, что, в свою очередь, позволило вовлекать в эксплуатацию запасы руд с более низким содержанием ценных компонентов.

Физико-химические геотехнологии позволяют вовлекать в разработку те рудные запасы, которые ранее были отнесены к категории забалансовых для физико-технических способов добычи. Это обусловлено прежде всего с тем, что капитальные и эксплуатационные затраты на выщелачивание руд и переработку растворов выщелачивания значительно ниже, нежели чем при применении традиционных способов добычи и переработки руд. Поэтому требования к качеству руд и непосредственно к содержанию ценных компонентов значительно ниже. Однако, технология выщелачивания

характеризуется невысокими показателями извлечения ценных компонентов (медь - 40-70%, цинк - 20-50%). Ввиду этого, часть запасов (бедных по содержанию ценных компонентов, представленных окисленными и смешанными рудами и т.п.) на медно-колчеданных месторождениях, которые не отвечают требованиям кондиций, установленных для физико-технических геотехнологий добычи, может быть эффективно вовлечена в эксплуатацию физико-химическими геотехнологиями.

Важно отметить, что производственная мощность горного предприятия является одним из основных технологических факторов, от которого зависит себестоимость добычи и переработки руд. Чем она выше, тем меньше эксплуатационные затраты в пересчете на 1 т руды. Это, в свою очередь, влияет на уровень минимально-промышленного содержания металла - важнейшего показателя требований к качеству минерального сырья. Это связано с тем, что при обосновании минимального промышленного содержания ценного компонента учитывается себестоимость добычи и переработки руды в пересчете на 1 т запасов: чем выше производительность горного предприятия по руде - тем ниже требования к содержанию ценных компонентов.

Таким образом, при вовлечении в разработку техногенного сырья важно учитывать характеристики первичной системы разработки «руда – товарная продукция – техногенные отходы», т.к. использование техногенных отходов, полученных в ходе добычи и переработки руд, в пересчете на 1 т руды и полученный от этого экономический эффект должен учитываться при определении минимально-промышленного содержания металлов. По оценкам авторов [72], использование отходов обогащения при приготовлении закладочной смеси позволяет снизить себестоимость добычных работ до 20-30%.

Факторы, определяющие требования к качеству техногенного сырья несколько отличаются от требований к качеству природного сырья. По аналогии с природным сырьем, факторы, определяющие требования к качеству техногенного сырья, можно разделить на три группы: геологические, экономические и технологические (табл. 2.2) [62,95,99, 110]. Так, немаловажным фактором является фазовое состояние сырья, от

которого зависит, требуются ли мероприятия по его изменению или нет. Например, для хвостов обогащения, поступающих с обогатительной фабрики для последующего выщелачивания, необходимо предварительно провести мероприятия по удалению жидкой фазы до влажности 8-10% [69,70]. Эти мероприятия требуют дополнительных затрат и, как следствие, повышают уровень кондиций на вовлекаемое в разработку сырье. Параметры залегания техногенных образований тоже является весьма важным фактором, определяющим эффективность их последующей эксплуатации. Стихийное складирование и длительное хранение хвостов обогащения приводит их к частичному, а в ряде случаев, и к полному окислению, природному выщелачиванию ценных компонентов и миграции последних в окружающую среду, что приводит, как следствие, к значительному ухудшению качества техногенного сырья. Напротив, окисление минералов является положительным фактором для физико-химических геотехнологий и способствует повышению интенсивности процессов выщелачивания. Поэтому целенаправленное формирование техногенных образований с заданными параметрами складирования техногенного сырья с целью управления его качественными характеристиками является необходимым условием для комплексного освоения рудных месторождений [2].

С учетом анализа отечественного и мирового опыта разработки техногенных образований, опытно-промышленной апробации технологии кучного сернокислотного выщелачивания отходов добычи и переработки медно-колчеданных руд, нами были систематизированы факторы, определяющие требования к качеству техногенного сырья и приведенные в таблице 2.2.

В зависимости от запасов техногенного минерального сырья и занимаемых при его складировании площадей, техногенные месторождения разделены на три группы: большие, средние и малые. По аналогии с природными месторождениями известно, что чем меньше запасы техногенного месторождения и его площадь, тем больше относительная ошибка оценки количества и качества запасов [99]. Кроме того, от объема запасов техногенного месторождения зависит количество вовлекаемого в

разработку техногенного сырья в единицу времени, т.е. производственная мощность предприятия по переработки отходов.

Табл. 2.2. Факторы, определяющие требования к качеству техногенного сырья при комплексном освоении медно-колчеданных месторождений

Геологические	Экономические	Технологические
Вид техногенного сырья; гидрогеологическая характеристика района залегания техногенного сырья; объемы техногенного сырья; характер распределения минерализации в техногенном образовании; фазовое состояние сырья (твердое, жидкое); гранулометрический состав техногенных отходов; параметры залегания техногенного образования, его форма и размеры; физико-механические свойства твердых техногенных образований; содержание ценных компонентов и вредных примесей.	Капитальные и эксплуатационные затраты на добычу и переработку техногенного сырья; уровень цен на металлы на мировых биржах; спрос на товарную продукцию; стоимость товарной продукции; валовая и извлекаемая ценность; налоговые и экологические платежи; затраты на природоохранные мероприятия; срок эксплуатации запасов техногенного сырья.	Способ формирования техногенного образования; способ разработки техногенного месторождения; показатели интенсивности освоения запасов техногенного сырья; уровень вовлечения техногенных отходов в разработку при освоении природного месторождения; качественные характеристики сырья поступающего на переработку; способ переработки техногенного сырья и уровень сквозного извлечения основных и попутных компонентов в товарную продукцию.

Одной из основных отличительных особенностей техногенных месторождений, по сравнению с природными, определяющими технологию их разведки и добычи, является степень дезинтеграции слагающего их материала. Гранулометрический состав техногенного сырья меняется в довольно широких пределах.

Анализ горнотехнической литературы [11,99,101 и др.] и текущей ситуации на горнодобывающих предприятиях Южного Урала показал, что отвалы пород и забалансовых руд представлены фракциями от 2 до 1000 мм и более, в гидроотвалах накоплены материалы крупностью, изменяющейся от мелкодисперсного до гравелистого состояния. Гранулометрический состав техногенного сырья является одним из основных факторов, который определяет технологию переработки и утилизации отходов, и, если мероприятия по дополнительной дезинтеграции сырья требуют затрат

превышающих уровень извлекаемой ценности, то вовлечение данных техногенных образований может оказаться нерентабельным.

Содержание ценных компонентов в техногенном сырье, также как и в природном сырье, является тем фактором, который преимущественно определяет ценность техногенного месторождения и учитывается при дифференциации металлосодержащих отходов по эффективности доизвлечения ценных компонентов в ближайшее время и (или) в перспективе. Важно отметить, что именно от содержания ценных компонентов и их минерального состава зависят перспективы освоения техногенного месторождения, в каком качестве техногенное сырье будет использоваться - для получения товарных металлов, стройиндустрии или для приготовления закладочной смеси. Как правило, дифференциация запасов рудного сырья по его промышленной ценности производится на основе минимально-промышленного содержания ценных компонентов, приведенного к условному основному компоненту и, соответственно, если фактическое содержание на единицу объема техногенного сырья ниже минимального, то данный участок техногенного месторождения не отвечает требованиям промышленного использования.

Экономические факторы, определяющие требования к качеству техногенного сырья, также как и для природных месторождений, влияют на его ценность и в целом техногенного месторождения. На основе таких экономических факторов, как уровень цен на металлы, спроса на товарную продукцию и других, по сути определяется перспективность вовлечения техногенного месторождения в эффективную промышленную эксплуатацию и требования к качеству сырья. От уровня капитальных и эксплуатационных затрат на добычу и переработку техногенного сырья напрямую зависят требования к его качеству, т.е. - чем они выше, тем выше требования, предъявляемые к ним. Важно отметить, что если качественные характеристики техногенного сырья не удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям, то с целью эффективного извлечения ценных компонентов необходимо оценить перспективы использования данного сырья для вспомогательных нужд горнодобывающего комплекса: применения технологических вод для нужд обогатительной фабрики, использования

проходческих пород и хвостов обогащения руд для приготовления закладочной смеси и т.д. Затем следует определить требования к их качеству в соответствии с целями последующего использования.

Одним из основных экономических факторов, определяющих требования к качеству техногенного сырья, является сумма налоговых и экологических платежей. Вовлечение в разработку техногенных образований позволяет не только получить дополнительный доход от реализации металлов, но и снизить налоговые и экологические платежи горного предприятия. В зависимости от этих факторов и показателей их характеризующих, определяются требования горнодобывающего комплекса к качеству природного и техногенного сырья. Так, товарная продукция, полученная от вовлечения техногенных отходов и некондиционных руд в разработку, в соответствии с «Федеральным законом от 22.07.2008 №158-ФЗ» [49,104] не облагается налогом на добычу полезных ископаемых и, соответственно, ее реализация может позволить горнодобывающим предприятиям России при вовлечении данных видов сырья в разработку получить дополнительный экономический эффект. Снижение издержек горнодобывающего производства, в свою очередь, позволяет предприятиям вовлекать в эксплуатацию запасы рудного сырья более низкого качества и пересматривать кондиции в целом по месторождению.

Максимальное использование отходов добычи и переработки руд при разработке месторождений твердых полезных ископаемых наиболее полно учитывается в идее полного геотехнологического цикла комплексного освоения недр, предложенной член-корр. РАН Д.Р. Каплуновым и проф. М.В. Рыльниковой, и развитой специалистами ИПКОН РАН [22-24,27]. Идея полного геотехнологического цикла предусматривает совокупное наличие двух неотъемлемых условий – это безотходное (малоотходное) использование всех вовлекаемых в ходе освоения участка недр георесурсов и извлечение их рациональным сочетанием технологических процессов и оборудования различных способов добычи. Причем, одно без другого либо невозможно, либо явно неэффективно при вовлечении в промышленную разработку всех запасов месторождения какой-либо монотехнологией [79].

Все вышеперечисленные факторы прямо или косвенно влияют на требования к качеству природного и техногенного сырья, однако, в полном геотехнологическом цикле комплексного освоения месторождений необходимо учитывать взаимосвязь геотехнологий и условия их реализации. Это обусловлено тем, что качественные характеристики сырья при реализации комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии различны и динамично изменяются под влиянием технологических факторов, что, в свою очередь, приводит к изменению показателей, которые определяют ценность вовлекаемого в разработку сырья.

Учет взаимосвязи геологических, экономических и технологических факторов, определяющих требования к качеству природного и техногенного сырья в полном геотехнологическом цикле комплексного освоения месторождений, необходим при обосновании требований к качеству вовлекаемого в эксплуатацию рудного сырья.

2.2. Особенности научно-методического подхода к обоснованию требований к качеству сырья, вовлекаемого в эксплуатацию в полном цикле комплексного освоения месторождений.

Комплексное освоение месторождений полезных ископаемых объективно является необходимым условием развития современного общества, предъявляющего все более ужесточенные экологические требования к разработке месторождений полезных ископаемых, что на фоне негативных проявлений внешних и внутриэкономических факторов определяет динамику развития геотехнологий.

Развитие современного общества объективно обуславливает необходимость реализации идеи комплексного освоения месторождений, выдвинутой академиком А.Е. Ферсманом в 1932 году и получившей развитие в трудах академиков А.В. Сидоренко, Н.В. Мельникова, В.В. Ржевского, М.И. Агошкова, К.Н. Трубецкого, член. корр. РАН Д.Р. Каплунова и других известных ученых. В настоящее время, когда традиционные физико-технические геотехнологии не предлагают каких-то революционных прорывов в разработке месторождений, возможности комбинирования

процессов физико-технических и физико-химических геотехнологий способствуют существенному росту эффективности, полноты и комплексности освоения недр Земли.

В современных условиях комплексное освоение недр предусматривает использование с максимальным эффектом всего ресурсного потенциала месторождений – кондиционных и бедных руд, сопутствующих полезных ископаемых, промежуточных продуктов, техногенных образований прошлых лет, минерализованных вод, подземного пространства, а также складированных и текущих отходов добычи и переработки руд [46].

В этой связи, идея полного цикла комплексного освоения месторождений, включающая не только добычу и обогащение руд, но и глубокую переработку техногенного сырья (некондиционных руд, складированных до настоящего времени в отвалах, хвостов обогащения и прочего техногенного сырья) с обязательной утилизацией всех конечных отходов в выработанном пространстве карьеров и шахт, наиболее полно отвечает современным требованиям проектирования комплексного освоения недр [24].

Базовая горнотехническая система комплексного освоения рудных залежей сложного вещественного состава (рис. 2.1), предложенная авторами [24], базируется на идее полного геотехнологического цикла освоения недр. Данная горнотехническая система включает технологические подсистемы по извлечению балансовых запасов месторождения открытым способом системами разработки с внешним отвалообразованием пород вскрыши, и подземным способом – системами разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства на основе отходов выщелачивания бедных руд и отходов обогащения. Самостоятельной подсистемой представлен комплекс подземного выщелачивания бедных руд на месте залегания и комплекс кучного выщелачивания в карьере, на поверхности и в подземных камерах второй очереди предварительно окомкованных текущих и старогодних (ранее размещенных в хвостохранилище) отходов обогащения. Объединение продуктивных растворов, поступающих из различных участков выщелачивания, способно обеспечить требуемое качество основного

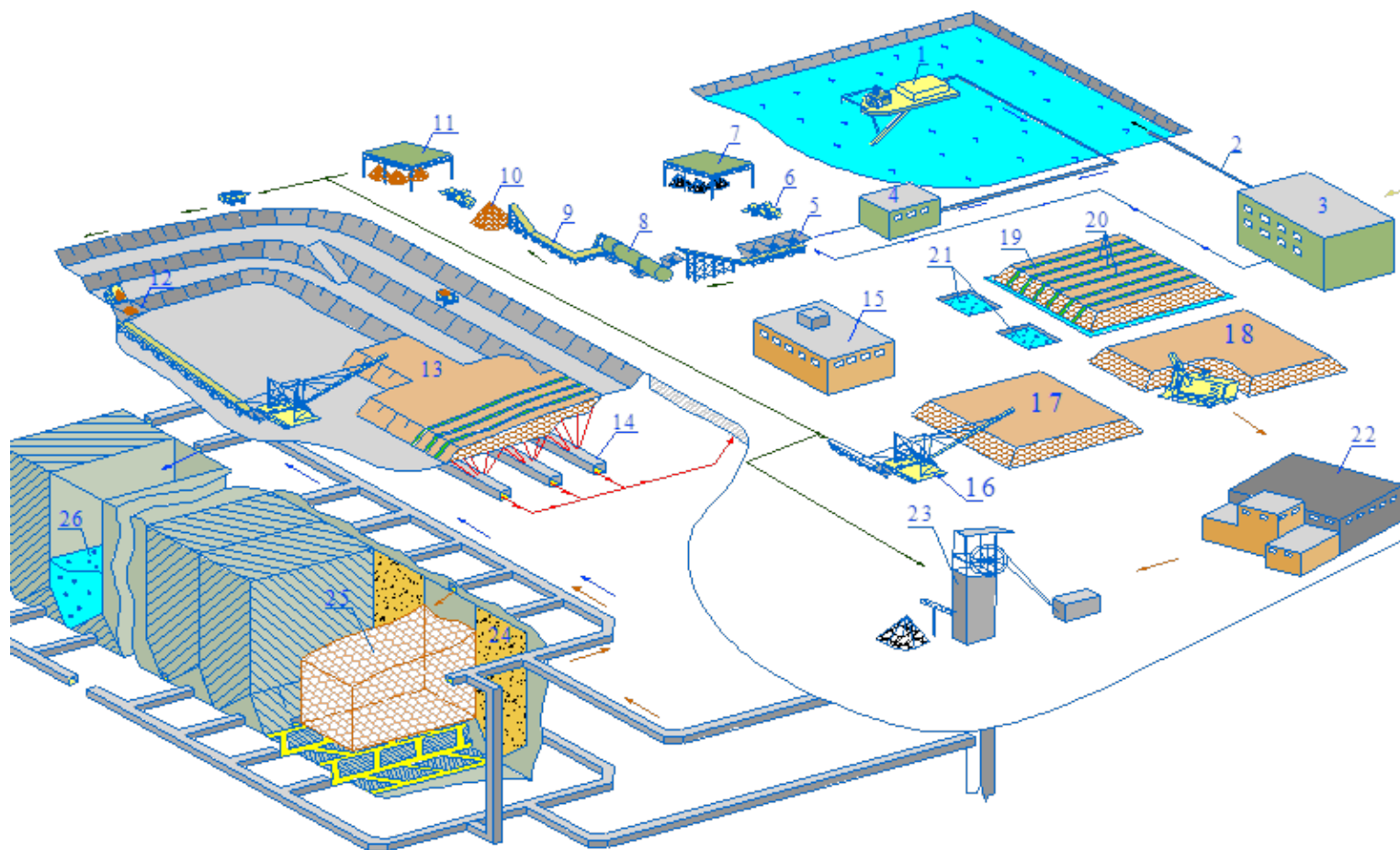


Рисунок 2.1. Базовая горнотехническая система комплексного освоения рудных месторождений: 1 – земснаряд; 2 – пульповод; 3 – обогатительная фабрика; 4 – корпус обезвоживания; 5 – дозирующий бункер; 6 – доставка компонентов шихты из склада (7); 8 – окомкователь; 9 – система конвейеров; 10, 11 – временный склад окатышей; 12 – приемный бункер; 13 – штабель окатанного материала; 14 – выработки для сбора продуктивного раствора; 15 – комплекс переработки продуктивного раствора; 16 – консольный штабелеукладчик; 17 и 19 – формируемый и выщелачиваемый штабель окатанного материала; 18 – склад отходов выщелачивания (после извлечения полезных компонентов); 20 – система орошения; 21 – прудки продуктивного и маточного растворов; 22 – закладочный комплекс; 23 – копер; 24 – искусственный массив на основе твердеющей закладочной смеси; 25 – массив окатышей; 26 – формируемый массив гидравлической закладки.

жидкого сырьевого потока – продуктивного раствора. На единой промплощадке в базовой горнотехнической системе предусмотрено также размещение цеха обезвоживания и окомкования текущих и лежалых хвостов обогащения для последующего выщелачивания, цеха приготовления специфического потока твердеющей закладочной смеси для закладки выработанного пространства подземных камер первой очереди и цеха гидрометаллургической переработки продуктивных растворов, поступающих с участков выщелачивания. В качестве активного рабочего агента в процессах выщелачивания используются жидкие вспомогательные потоки в виде минерализованных стоков, имеющие зачастую кислую или щелочную среду [46,102].

При реализации данной горнотехнической системы формируются минерально-сырьевые потоки, отличающиеся фазовым, минеральным и гранулометрическим составом. Это - рудопотоки от открытых, открыто-подземных и подземных горных работ, потоки отвальных и попутных некондиционных руд, специфические отходы горного и обогатительного производства, продуктивные растворы с участков кучного и подземного выщелачивания, минерализованные рудничные воды.

Схема формирования и движения минерально-сырьевых потоков в горнотехнических системах комплексного освоения рудных месторождений представлена на рис. 2.2 [46,102].

Очевидно, что при проектировании полного цикла комплексного освоения месторождений комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологиями требования к качеству разнофазовых потоков природного и техногенного сырья, вовлекаемого в эксплуатацию различными способами добычи, существенно отличаются [24,80]. Так, при открытой разработке месторождений требования к минимальному промышленному содержанию полезного компонента в руде - одни, для подземной разработки – другие. При реализации физико-химической геотехнологии требования к качеству сырья зависят от различных факторов: способов выщелачивания - подземное, кучное, скважинное; места производства работ – в карьере или на поверхности, в подземной камере, в горном массиве или в разрыхленной рудной массе; вида сырья - руда на месте залегания, складированная в

отвалах, оставленная в закладке или потерянная в зоне обрушения, либо техногенное сырье горно-металлургического производства – хвосты обогащения: текущие, лежалые, находящиеся под затоплением действующих или законсервированных хвостохранилищ, а также металлургические шлаки и минерализованные промышленные воды [81].

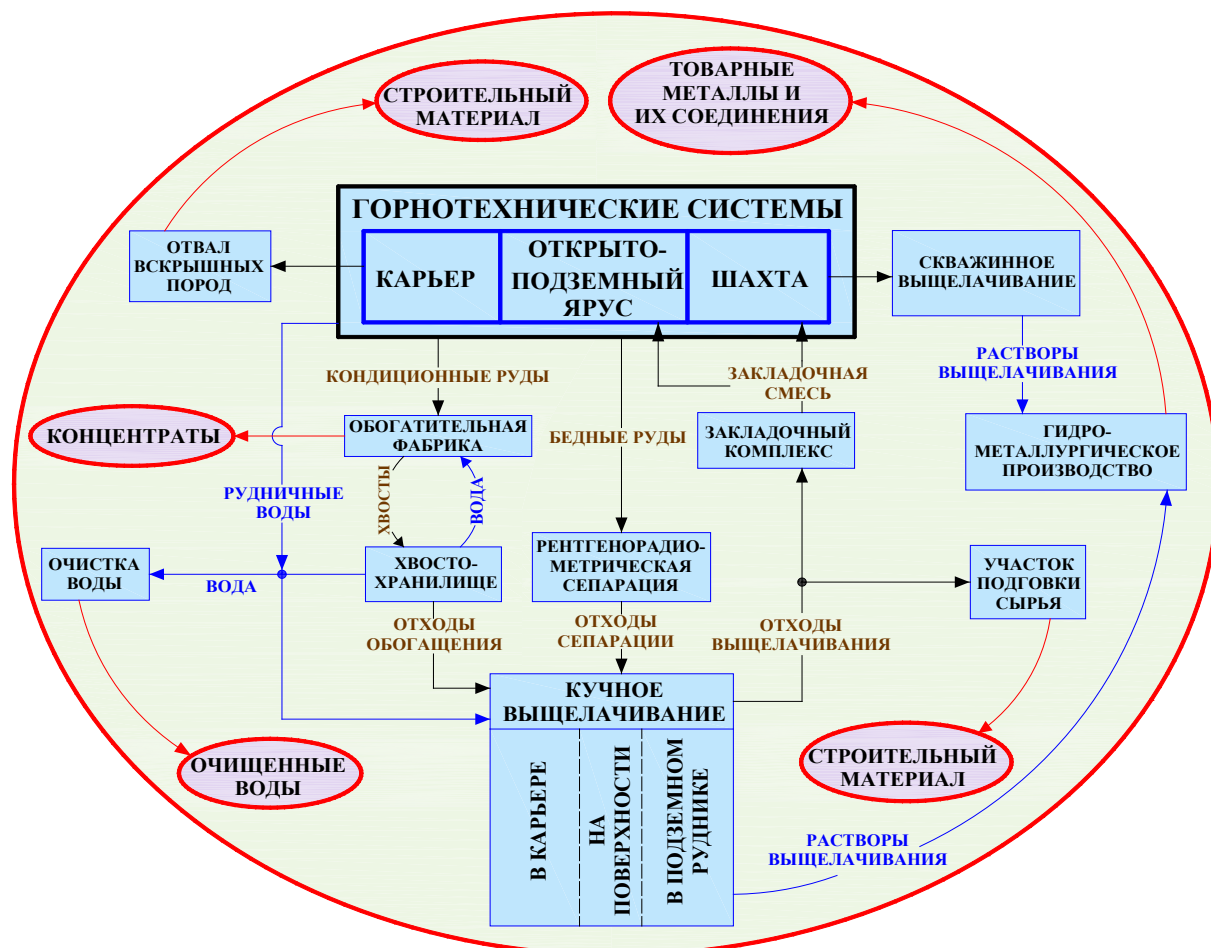


Рисунок 2.2. Схема формирования минерально-сырьевых потоков в полном цикле освоения месторождений комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологией

Поэтому, в зависимости от применяемой горнотехнической системы комбинированной геотехнологии, включающей в себя элементы открытой, открыто-подземной, подземной разработки и физико-химических методов добычи, требования к качеству минерального сырья у каждого способа будут различны.

В соответствии с этим, при комплексном освоении рудных месторождений комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологиями в единой горнотехнической системе подход к определению требований к качеству минерального сырья для более эффективного и

рационального использования всех георесурсов месторождения должен быть дифференцирован по видам применяемых геотехнологий [64,81].

Так, для условий открытой разработки медно-колчеданных месторождений Урала минимальное промышленное содержание по приведенной (условной) меди меньше, чем для подземной разработки, а при сернокислотном выщелачивании требования к качеству сырья будут еще ниже, чем в том и другом случае [64,81].

Распределение запасов руд месторождения и формируемых в ходе их разработки потоков техногенного сырья по их качественным и количественным характеристикам при комплексном освоении в полном геотехнологическом цикле следует производить с учетом промышленной ценности отходов, способов их образования, складирования и хранения. В зависимости от вида сырья, вещественного состава и способа образования для выбора геотехнологии разработки и эксплуатации, либо утилизации отходов, все минеральное сырье разделено на три группы (табл. 2.3) [64]:

1. Природное сырье, сформированное в результате освоения природных запасов месторождения;
2. Техногенное сырье, формируемое в процессе освоения природных запасов месторождения;
3. Техногенные и природно-техногенные запасы сырья в образованиях прошлых лет, сформированных ранее в результате эксплуатации рудных месторождений.

Учитывая существенное влияние на требования к качеству природного сырья степени вовлечения отходов добычи и переработки руд в эксплуатацию, технологии их активной утилизации были распределены по 3 группам (табл. 2.3) в зависимости от промышленной ценности природных и техногенных запасов и минерально-сырьевых потоков, формируемых в ходе их разработки.

Запасы природного сырья разделены по виду промышленной ценности и значимости на три группы:

- кондиционные запасы руд для физико-технической геотехнологии (открытой, подземной, открыто-подземной и скважинной гидродобычи);
- кондиционные руды для разработки физико-химической геотехнологией (скважинное, подземное, кучное и кюветное выщелачивание);
- забалансовые руды, т.е. некондиционные для всех видов геотехнологий.

Таблица 2.3. Дифференциация требований к качеству природного и техногенного медно-колчеданного сырья в зависимости от вида применяемых геотехнологий.

Вид сырья	Группа	Условия вовлечения в эксплуатацию	Геотехнология	Характеристика минерального сырья	Технология эксплуатации либо утилизации минерального сырья формируемого при разработке техногенных месторождений
Природное сырье	Балансовые: кондиционное для физико-технической геотехнологии	$\alpha^p \geq \alpha_{min}^{pT}$ и $Q^p \geq Q_{min}^{pT}$	Открытая разработка	Руды с высоким и средним содержанием ценных компонентов	Складирование отходов добычи руд и вскрышных пород в выработанном пространстве карьера с целью их утилизации
			Подземная разработка	Руды с высоким содержанием ценных компонентов и содержанием серы не более 35%	Складирование отходов добычи руд в выработанном пространстве подземных камер в виде закладочной смеси
			Открыто-подземная разработка	Устойчивые руды в бортах и днище карьера с высоким и средним содержанием ценных компонентов	Утилизация хвостов обогащения руд в выработанном пространстве карьера и/или подземных камер в виде гидравлической закладки
			Скважинная гидродобыча	Рыхлые, низкопрочные, слабосвязные, плотные глинистые и неустойчивые руды	Складирование отходов обогащения руд в выработанном пространстве подземных камер в виде гидравлической закладки
	Балансовые: кондиционное для физико-химической геотехнологии	$\alpha_{min}^{pT} > \alpha^p \geq \alpha_{min}^{pX}$ и $Q^p \geq Q_{min}^{pX}$	Кучное выщелачивание	Руды с низким содержанием ценных компонентов, окисленные и другие некондиционные для физико-технической геотехнологии добытые в ходе разработки	Складирование отходов выщелачивания в выработанном пространстве карьера и/или подземных камер; утилизация отходов выщелачивания в выработанном пространстве карьера и/или подземных камер в виде сыпучей или гидравлической закладки
			Скважинное выщелачивание	Трещиноватые и пористые руды с низким содержанием ценных компонентов, окисленные в бортах и днище карьера, выклинках рудных тел, изолированные рудные тела	----
			Подземное выщелачивание	Руды с низким содержанием ценных компонентов, окисленные в бортах и днище карьера, изолированные рудные тела, камеры второй очереди	Формирование техногенного месторождения в выработанном пространстве подземных камер из бедных руд в виде сыпучей закладки
	Забалансовые	$\alpha^p < \alpha_{min}^{pX}$, $\alpha^p < \alpha_{min}^{pT}$, и/или $Q^p < Q_{min}^{pX}$ $Q^p < Q_{min}^{pT}$	не предусматривается	Некондиционные руды для физико-технической и физико-химической геотехнологии, в бортах и днище карьера, в зоне обрушения пород; выклинки рудных тел; изолированные рудные тела	Запасы остаются в недрах для освоения их в будущем, в случае их извлечения, складировются в спецотвалы для освоения в будущем

Продолжение табл.2.3

Вид сырья	Группа	Условия вовлечения в эксплуатацию	Геотехнология	Характеристика природного и техногенного минерального сырья	Технология эксплуатации либо утилизации минерального сырья формируемого при разработке техногенных месторождений
Техногенное сырье	Кондиционные	$\alpha^T \geq \alpha_{min}^T$ и $Q^T \geq Q_{min}^T$	Выщелачивание	отходы кондиционной фракции предконцентрации руд, текущие хвосты обогащения руд	Формирование в выработанном пространстве карьера и/или подземных камер техногенного месторождения из окомкованного материала текущих отходов обогащения
				текущие хвосты обогащения руд	----
	Некондиционные, но ценные в долгосрочной перспективе	$\alpha_{min}^T > \alpha^T \geq \alpha_{min}^{TP}$ и $Q^T \geq Q_{min}^T$		отходы кондиционной фракции предконцентрации руд, хвосты обогащения из затопленных и законсервированных хвостохранилищ	Селективное складирование техногенного сырья в выработанном пространстве карьера для целенаправленного изменения качественных характеристик и освоения в будущем; складирование отходов обогащения руд в контейнерах из геотекстиля для их освоения в будущем;
				хвосты обогащения из затопленных законсервированных хвостохранилищ	Формирование из отходов обогащения руд пористого массива в выработанном пространстве карьера и/или подземных камер для их освоения в будущем
	Некондиционные	$\alpha^T < \alpha_{min}^{TP}$, и/или $Q^T < Q_{min}^T$		не предусматривается	Вскрышные породы и породы от проходки горных выработок, отходы сепарации, текущие и затопленные хвосты обогащения, отходы выщелачивания – руд, просыпи сепарации, окомкованных хвостов обогащения
Техногенное сырье прошлых лет	Кондиционные	$\alpha^{TPЛ} \geq \alpha_{min}^{TPЛ}$ и $Q^{TPЛ} \geq Q_{min}^{TPЛ}$	Кучное и (или) подземное выщелачивание	Ранее некондиционные руды из отвалов, хвосты обогащения – затопленные, законсервированные и лежалые	Формирование массива окатышей во внутрикарьерном пространстве из отходов обогащения руд; формирование техногенного массива в отработанных подземных камерах из лежалых отходов обогащения руд; формирование выщелачиваемого массива в выработанном пространстве карьера из лежалых бедных руд;
	Некондиционные	$\alpha^{TPЛ} < \alpha_{min}^{TPЛ}$ и/или $Q^{TPЛ} < Q_{min}^{TPЛ}$	не предусматривается	Отвалы породы, некондиционные руды из отвалов, хвосты обогащения – затопленные, законсервированные и лежалые	Утилизация отходов добычи и переработки руд в выработанном пространстве карьера и/или подземных камер в виде гидравлической закладки.

К кондиционным запасам руд для физико-технической геотехнологии можно отнести руды с высоким содержанием ценных компонентов, извлекаемая ценность которых превышает затраты на их добычу и переработку. В результате разработки этих запасов формируются основные минерально-сырьевые потоки - рудопотоки от открытых, подземных и открыто-подземных горных работ, которые направляются на переработку на обогатительную фабрику. Переработка данных сырьевых потоков, как правило, приносит основную часть дохода горнодобывающего предприятия.

Требования к качеству руд для физико-технических геотехнологий определяются, главным образом, перерабатывающими предприятиями с учетом реальных природных, технических и технологических возможностей горного предприятия, исходя из уровня технических возможностей, технологии и экономики переработки. При этом основным критерием требований к качеству добытого полезного ископаемого, очевидно, является обеспечение высоких технолого-экономических показателей по всей цепи производств [98]. Однако, в связи с разными технико-экономическими показателями добычных работ у открытого, открыто-подземного и подземного способов разработки, требования к содержанию ценных компонентов в рудах различно. Но качество руды, в общем случае, определяется не только содержанием в ней ценных компонентов, но также и другими характеристиками: наличием и количеством в руде вредных примесей, крепостью, влажностью, слеживаемостью, окисляемостью, склонностью к самовозгоранию и другими [28].

Так, склонность руд и пород к самовозгоранию при содержании серы более 18-20% препятствует применению системы разработки с обрушением руды и вмещающих пород и требует применения систем разработки с закладкой выработанного пространства, предпочтительно твердеющими смесями. Слеживаемость руд, содержащих много увлажненных глинистых и илистых частиц, препятствует применению систем разработки с магазинированием руды, при которых отбитая руда аккумулируется в очистном пространстве и определенное время находится в нем без движения [35].

Высокая крепость руд (коэффициент крепости по М.М. Протодяконову более 8), предопределяет необходимость применения взрывного способа отбойки.

В случаях, если руды являются рыхлыми и слабосвязными при $\sigma_{сж} < 0.1$ МПа целесообразно применять технологию скважинной гидродобычи с использованием низконапорных струй. Для применения струй среднего давления, более всего подходят плотные глинистые руды [86].

К кондиционным рудам разрабатываемых физико-химической геотехнологией относятся запасы, которые не отвечают требованиям по качеству и объемам запасов сырья, предъявляемых физико-технической геотехнологией. Это обусловлено тем, что извлечение ценных компонентов при применении физико-химической геотехнологии пока остается на довольно низком уровне (около 45-65%), при значительной продолжительности выщелачивания от 2-7 месяцев до 2-3 лет [46]. Как правило, это руды - с низким содержанием ценных компонентов, окисленные, расположенные в бортах и днище карьера, в зоне обрушения руд и пород, изолированные рудные тела и их выклинки.

Руды, которые являются окисленными, содержат высокое содержание вредных примесей, или характеризуются технологическими свойствами, не отвечающими требованиям обогатительной фабрики, добытые открытым, открыто-подземным и/или подземным способом целесообразно вовлекать в разработку методами кучного выщелачивания, т.к. эти технологии позволяют эффективно эксплуатировать окисленные руды с избирательным извлечением ценных компонентов.

Для технологии подземного выщелачивания предпочтительны окисленные руды с низким содержанием ценных компонентов, а также руды, расположенные в бортах и днище карьера, изолированные рудные тела, запасы вкрапленных руд, расположенные в камерах второй очереди, отработка которых не является рентабельной. При этом руды должны иметь достаточные фильтрационные свойства: $K_{\phi} > 0,5$ м/сут. Если массив руд характеризуется низкими фильтрационными свойствами, $K_{\phi} \leq 0,5$ м/сут, необходимо провести мероприятия для повышения фильтрации путем взрывного разрушения массива. При K_{ϕ} более 0,5 м/сут взрывная подготовка

массива не требуется, ввиду высоких показателей скорости фильтрации [92]. В случае, если содержания серы в руде более 30%, отработка таких запасов предпочтительна технологией скважинного выщелачивания, т.к. руды будут самовозгораться.

Для технологии скважинного выщелачивания предпочтительны трещиноватые и пористые руды с достаточной проницаемостью рудовмещающих пород, наличие достаточной концентрации полезных компонентов в рудах для рентабельного получения готовой продукции. Важно отметить, что для технологии скважинного сернокислотного выщелачивания повышенная (более 2-3%) карбонатность руд является крайне негативным фактором, т.к. происходит временная коагуляция массива [6]. Успешное применение скважинного выщелачивания прежде всего зависит от правильного учета гидрогеологических факторов. Так, минералогический состав залежи и вмещающих пород должен обеспечивать избирательное извлечение ценных компонентов, проницаемость залежи должна превышать проницаемость вмещающих пород. Кроме того, важным является наличие частичной или полной естественной обводненности руд, приуроченности рудной минерализации к порам и трещинам, обеспечивающим проницаемость руды и др. [92,103].

Забалансовые руды это руды, качество и объемы которых не отвечают требованиям эффективной эксплуатации ни одной из известных геотехнологий. При проектировании разработки месторождения в полном геотехнологическом цикле необходимо учитывать наличие такого рода запасов, обеспечив сохранность их в недрах для возможного освоения в будущем. В случае прогнозирования их эксплуатации в будущем, целесообразно складировать техногенные ресурсы в специализированные отвалы.

Текущие потоки техногенного сырья, формируемые в результате освоения природных запасов месторождения руд разделены по критерию их промышленной ценности, на три группы:

- кондиционные потоки;
- некондиционные, но ценные в долгосрочной перспективе;
- некондиционные.

К кондиционным потокам техногенного сырья, перспективных для их вовлечения в разработку с целью извлечения ценных компонентов, относятся, как правило, текущие хвосты обогащения, поступающие непосредственно с обогатительной фабрики, и отходы (просыпь) сепарации руд.

Потоки техногенного сырья, являющиеся некондиционными на момент проектирования, но ценными в долгосрочной перспективе с целью извлечения ценных компонентов, представлены текущими хвостами обогащения руд, поступающими с обогатительной фабрики, либо с хвостохранилищ, а также просыпью сепарации руд.

Потоки некондиционного техногенного сырья, формируемого в процессе освоения природных запасов месторождения, представлены следующими минерально-сырьевыми потоками: вскрышные породы и породы от проходки горных выработок, отходы сепарации руд, текущие и затопленные хвосты обогащения, отходы выщелачивания (руд, просыпи сепарации, окомкованных хвостов обогащения). Данные потоки целесообразно использовать для приготовления состава закладочной смеси, производства строительных материалов и других различных нужд горнодобывающего производства.

Дифференциация природных запасов месторождения руд производится на основе показателя минимального промышленного содержания условного металла (α_{min}), рассчитываемого для каждой геотехнологии из условия, что α_{min} для физико-технической геотехнологии (α_{min}^{PT}) больше или равно α_{min} для физико-химической геотехнологии (α_{min}^{PX}). Расчет минимального промышленного содержания условного металла для разработки запасов руд (α_{min}^P) физико-техническими и/или физико-химическими геотехнологиями следует производить по формуле 2.1.

$$\alpha_{min}^P = \frac{З_д + З_п - П - П_т}{Ц \cdot \varepsilon \cdot (1 - P)} 100 \quad (2.1)$$

где $З_д$ – полная себестоимость добычи/разработки 1 т руды с учетом вовлечения техногенного сырья при ведении закладочных работ, руб/т; $З_п$ – полная себестоимость переработки 1 т добываемой/разрабатываемой руды, включая общерудничные (комбинатские и коммерческие расходы), руб/т; $П$ –

суммарная извлекаемая ценность попутных компонентов, приходящаяся на 1 т добытой руды не учтенных при приведении к условному, руб./т; Π_r – прибыль полученная от реализации товарной продукции полученной при разработке техногенного сырья, руб/т; Π – цена 1 т основного полезного компонента (металла), руб; ε – сквозное извлечение основного полезного компонента при разработке, переработке и металлургическом переделе, доли ед.; P – коэффициент, учитывающий разубоживание руд при добыче, доли единицы, доли ед.

При определении целесообразности промышленного освоения участков месторождения и изолированных рудных тел следует руководствоваться формулой [44]:

$$Q_{min} = \frac{Z_{доп} \cdot P}{(\Pi_{и} - Z_{д}) \cdot \Pi}, \quad (2.2)$$

где Q_{min} – минимальные запасы рудного тела (участка) или техногенного образования, т; $Z_{доп}$ – дополнительные затраты, связанные с вскрытием, подготовкой и разработкой рудного тела (участка), руб; $\Pi_{и}$ – извлекаемая ценность всех полезных компонентов в расчете на 1 т добываемого природного или техногенного сырья, руб; $Z_{д}$ – эксплуатационные расходы на добычу и переработку сырья до конечной товарной продукции, руб; Π и P – коэффициенты, учитывающие эксплуатационные потери в недрах и разубоживание руды, доли ед.

В каждом конкретном случае Q_{min} рассчитывается с учетом вида сырья (природного или техногенного) и вида геотехнологии его вовлечения в разработку.

Кроме того, при обосновании требований к качеству природного сырья важно учитывать уровень вовлечения техногенного сырья в разработку и способы его активной утилизации с учетом всех специфических особенностей горно-геологических условий природных и техногенных месторождений, минералого-петрографического состава руд и отходов их переработки.

Распределение твердых потоков техногенного сырья по их качественным характеристикам и направлениям активной утилизации [2,97] производится на основе показателей α_{min} и Q_{min} , при условии что, расчетное

α_{min} для вовлечения в разработку в ближайшей перспективе (α_{min}^T) больше расчетного α_{min} в долгосрочной перспективе $\alpha_{min}^{ТП}$, т.е. $\alpha_{min}^T > \alpha_{min}^{ТП}$. Минимальное содержание условного компонента для освоения техногенного образования в ближайшей перспективе (α_{min}^T , %) рассчитывается по формуле:

$$\alpha_{min}^T = \frac{3_{\phi} + 3_p + 3_{\pi}}{\Pi \cdot \varepsilon^T \cdot (1 - K_{\pi})} 100, \quad (2.3)$$

где 3_{ϕ} и 3_p – эксплуатационные затраты на формирование и разработку техногенного образования соответственно, руб/т; 3_{π} – эксплуатационные затраты на переработку продуктивных растворов полученных из техногенного сырья в пересчете на 1 т, руб/т; Π – цена 1 т основного полезного компонента (металла), руб; ε^T – сквозное извлечение основного полезного компонента при разработке, переработке и металлургическом переделе, доли ед.; K_{π} – потеря качества сырья, происходящая в ходе формирования и разработки техногенного образования, доли ед.

Минимальное содержание условного компонента для освоения техногенного месторождения в будущем ($\alpha_{min}^{ТП}$, %) рассчитывается по формуле:

$$\alpha_{min}^{ТП} = \frac{3_{\phi} + 3_{\pi} + 3_d}{\Pi \cdot \varepsilon^T \cdot (1 - K_{\pi} - P)} 100, \quad (2.4)$$

где 3_{ϕ} – эксплуатационные затраты на формирование техногенного образования и его поддержания в течение консервации, руб/т; 3_d – эксплуатационные затраты на разработку, руб/т; Π – прогнозная цена 1 т основного полезного компонента (металла), руб; K_{π} – потеря качества сырья, происходящая в ходе формирования, консервации и разработки техногенного образования, доли ед.

Техногенное сырье является кондиционным и вовлекается в разработку с целью получения товарной продукции в том случае, если фактическое содержание ценных компонентов (α^T) больше, либо равно рассчитанному по формуле 2.3, т.е. $\alpha^T \geq \alpha_{min}^T$. В этом случае не требуется длительных мероприятий по изменению качественных характеристик сырья. Кроме того, количество формируемого техногенного сырья (Q^T) в ходе разработки

геогенного месторождения, отвечающее требованиям α_{min}^T , должно быть достаточным и удовлетворять требования минимального объема запасов сырья (Q_{min}^T), рассчитываемого по формуле 2.2.

В случае, если фактическое содержание условного металла (α^T) в техногенном сырье больше, либо равно минимальному содержанию условного металла для освоения техногенного сырья, т.е. $\alpha^T \geq \alpha_{min}^T$, но технологические свойства техногенного сырья (рН, еН, пористость, содержание вредных примесей и др.) не позволяют использовать его в ближайшей перспективе и требуют целенаправленного изменения различных свойств, несмотря на то что фактическое содержание (α^T) является кондиционным, отходы добычи и переработки руд считаются некондиционными и утилизируются технологиями, предусматривающими целенаправленное изменение свойств.

Из техногенного сырья, являющегося кондиционным, целесообразно формировать в выработанном пространстве карьеров, подземных камер, на поверхности и техногенных ландшафтах техногенные месторождения для последующей их разработки. Технология предусматривает обезвоживание тонкодисперсного сырья, его окомкование, дробление и грохочение с оптимизацией грансостава отдельных фракций при укладке в техногенные образования, для обеспечения требуемых фильтрационных характеристик формируемых массивов, а также создания условий для их орошения и сбора продуктивных растворов. Эксплуатация техногенного месторождения предпочтительна методами кучного, либо скважинного выщелачивания с оптимизацией состава растворителя, технологии и режима его подачи на штабель, с проведением мероприятий по интенсификации процессов извлечения ценных компонентов.

Потоки техногенного сырья считаются некондиционными, но ценными в долгосрочной перспективе в случаях, когда фактическое содержание ценных компонентов (α^T) меньше рассчитанного минимального содержания по формуле 2.3, но выше расчетного минимального содержания для освоения в будущем ($\alpha_{min}^{ТП}$), определенного по формуле 2.4. Кроме того, формируемое техногенное сырье в ходе разработки природного месторождения,

отвечающее требованиям $\alpha_{min}^{ТП}$, должно быть достаточным для безубыточного освоения в будущем и удовлетворять требованиям минимального объема запасов сырья ($Q_{min}^{ТП}$), рассчитываемого по формуле 2.2.

Потоки техногенного сырья, отвечающие требованиям $\alpha_{min}^{ТП}$ и $Q_{min}^{ТП}$, т.е. если фактическое содержание условного металла (α^T) и объем техногенного сырья ($Q_{min}^{ТП}$) больше расчетных по формулам 2.2 и 2.3, вовлекаются в разработку технологиями активной утилизации, предусматривающими создание в выработанном пространстве карьеров и подземных рудников техногенных месторождений с заданными технологическими характеристиками для их освоения в будущем.

Техногенное сырье является некондиционным, если фактическое содержание ценных компонентов в нем, меньше расчетного α_{min} , определяемого по формулам 2.3-2.4 и/или его объемы не отвечают требованиям Q_{min}^T . Т.е. потоки техногенного сырья являются некондиционными в случаях, когда качественные характеристики сырья не отвечают требованиям ни одной из геотехнологий на момент проектирования и извлечение ценных компонентов не имеет смысла.

Потоки некондиционного техногенного сырья – вмещающие породы, обезвоженные хвосты обогащения руд целесообразно складировать в выработанном пространстве карьера и подземного рудника с целью сокращения объема складированных на поверхности отходов, решения вопросов управления состоянием подработанного подземными выработками и карьером горного массива, повышения устойчивости горных конструкций, рекультивации поверхности. Это технологическое направление предполагает решение вопросов обезвоживания техногенного сырья, его доставку и складирование в выработанные пространства рудников, изоляцию близлежащих подземных выработок, гидроизоляцию отходов для предотвращения загрязнения окружающей среды, рекультивацию поверхности для облагораживания природного ландшафта с исключением пылеобразования.

В большинстве горнорудных районов Южного Урала, в районе природного месторождения, на разработку которого осуществляется

проектирование полного цикла комплексного освоения, находятся сформированные ранее природно-техногенные и/или техногенные образования. К природно-техногенным запасам относятся целики, оставленные на границе карьеров и служащие для разделения открытых и подземных горных работ, охранные целики, оставленные при освоении месторождений камерно-столбовой системой разработки, и другие. К техногенным запасам относятся ранее некондиционные руды, складированные в отвалах, хвосты обогащения руд в хранилищах (затопленных, законсервированных) и отвальные породы.

Оценку промышленной значимости такого вида сырья следует производить на основе минимального содержания условного компонента ($\alpha_{min}^{ТПЛ}$) и минимального объема запасов ($Q_{min}^{ТПЛ}$) (форм. 2.2). Расчет $\alpha_{min}^{ТПЛ}$ необходимо производить по формуле:

$$\alpha_{min}^{ТПЛ} = \frac{3_d + 3_n + 3_\phi}{Ц \cdot \varepsilon^T \cdot (1 - K_{П} - P)} 100 \quad (2.5)$$

Дифференциацию запасов техногенного и природно-техногенного сырья прошлых лет по промышленному значению следует производить на основе требований минимального содержания условного металла в сырье прошлых лет ($\alpha_{min}^{ТПЛ}$). Т.е., если среднее фактическое содержание ценных компонентов ($\alpha^{ТПЛ}$) в элементарной выемочной единице техногенного месторождения, сформированного ранее, больше либо равно минимальному содержанию условного металла ($\alpha_{min}^{ТПЛ}$) и его фактические объемы ($Q^{ТПЛ}$) больше расчетного $Q_{min}^{ТПЛ}$, рассчитанному по формуле 2.2, то данное сырье является кондиционным для его вовлечения в разработку с целью извлечения ценных компонентов.

Кондиционные потоки техногенного и природно-техногенного сырья прошлых лет вовлекаются в разработку технологией, предусматривающей формирование в внутрикарьерном и/или подземном пространстве техногенного массива для последующей разработки с целью извлечения ценных компонентов.

Потоки техногенного сырья, не отвечающие требованиям минимального содержания для разработки старогодних техногенных месторождений ($\alpha_{min}^{ТПЛ}$) и/или минимального объема запасов ($Q_{min}^{ТПЛ}$), являются некондиционными и

утилизируются в выработанном пространстве карьера и/или подземных камер в виде гидравлической закладки.

Технологические решения по разработке техногенных образований прошлых лет базируются на детальном геолого-технологическом изучении техногенного сырья с установлением закономерностей зонального распределения ценных компонентов, изучением изменения физико-механических характеристик и структуры массивов по глубине и площади техногенного образования. На базе таких исследований производится выбор технологии добычи техногенного сырья, осуществляется выбор технологии его разделения различными методами сепарации, оценивается целесообразность переработки того или иного вида лежалых отходов методами обогащения, чанового, автоклавного, либо кучного выщелачивания.

Вовлечение в разработку потоков техногенного сырья при условии реализации полного цикла комплексного освоения месторождения позволяет получить значительный экономический эффект в виде снижения издержек на приготовление закладочной смеси, на размещение некондиционных отходов добычи и переработки руд, строительство гидротехнических сооружений для их хранения, рекультивацию горного отвода после завершения мероприятий по добыче и переработке природного и техногенного сырья. Помимо этого, вовлечение техногенного сырья в разработку технологиями, предусматривающими извлечение ценных компонентов [2,46, 16], позволяет получить дополнительную товарную продукцию в виде концентратов, продуктивных растворов выщелачивания, строительных материалов и других. Так же, реализация полного цикла комплексного освоения месторождения позволяет снизить экологические выплаты на хранение и утилизацию отходов горного производства, что, в свою очередь, непосредственно влияет на эффективность работы горнодобывающего предприятия.

Все вышеперечисленное наглядно свидетельствует о необходимости учета экономического и экологического эффекта от вовлечения отходов добычи и переработки руд, формирующихся при добыче природного сырья сочетанием различных геотехнологий. Ввиду этого, при определении

минимального промышленного содержания компонентов в природном сырье необходимо учитывать вышеперечисленные факторы и рассчитывать по формуле 2.1.

Формула расчета минимального промышленного содержания условного приведенного по ценности металла (α_{min}^p , 2.1) в природном сырье схожа с общепринятой [44], однако, ее элементы имеют отличия. Так, полная себестоимость добычи 1 т руды ($З_d$) предусматривает учет эффективного использования техногенного сырья (хвостов обогащения руд, вскрышных пород и пород от проходки горных выработок, отходов выщелачивания) при приготовлении закладочной смеси. Кроме того, в отличие от традиционной формулы [44], в расчетах учитывается прибыль от реализации товарной продукции (товарных металлов, концентратов, продуктивных растворов и др.), полученной от вовлечения в разработку техногенного сырья ($П_T$).

Вышеперечисленные особенности обоснования требований к качеству минерального сырья при проектировании комплексного освоения месторождений в полном геотехнологическом цикле наглядно показывают, что необходимо учитывать эффект от вовлечения в разработку не только природного, но и техногенного сырья.

2.3. Методика обоснования требований к качеству природного и техногенного сырья при комплексном освоении рудного месторождения

Создание горнотехнических систем на базе комбинации традиционного открытого и подземного способов добычи с физико-химической геотехнологией кучного и подземного выщелачивания ценных компонентов из бедных руд и техногенного сырья обеспечивает наиболее полное вовлечение всех природных и техногенных георесурсов в эффективное промышленное использование [25].

Исследование параметров, закономерностей и технологических характеристик процессов той или иной монотехнологии изучены достаточно подробно и нашли широкое отражение в горнотехнической литературе. Взаимоувязка процессов физико-технической и физико-химической геотехнологий в рамках единой горнотехнической системы приводит к

появлению новых свойств и закономерностей системы, которые малоизучены и требуют тщательной проработки при определении параметров ее функционирования.

Стоит отметить, что определение перспектив применения той или иной горнотехнической системы в полном геотехнологическом цикле комплексного освоения недр необходимо производить при проектировании разработки месторождения на стадии оценки запасов и технико-экономического обоснования кондиций, чтобы уже в предпроектных оценках запасы были дифференцированы по видам применяемых геотехнологий. Это будет способствовать повышению полноты и комплексности освоения недр.

Для определения оптимальных параметров горнотехнической системы (ГТС) и ее отдельных модулей была разработана математическая модель, которая предназначена для предварительных проектных расчетов и выбора рационального варианта реализации полного цикла комплексного освоения рудных месторождений комбинированными физико-техническими и физико-химическими геотехнологиями. Моделирование позволяет на стадии проектирования дифференцировать запасы рудного месторождения по видам применяемых технологий, а также на основе оценки объемов и качества формируемых в ходе разработки месторождения техногенных образований выбрать наиболее эффективные варианты утилизации отходов.

На основе анализа опыта разработки медно-колчеданных месторождений Южного Урала, систематизации требований к качеству минерального сырья (табл. 2.3) и в соответствии с современной концепцией комплексного освоения недр [24] разработан алгоритм определения требований к качеству природного и техногенного сырья при комплексном освоении рудного месторождения в полном цикле.

Представленный на рис. 2.3 алгоритм является основой математической модели функционирования ГТС. Алгоритм регламентирует последовательность расчетов и операций и включает в себя основные блоки:

- дифференцирование природных запасов руд по видам применяемых технологий;
- обоснование основных технологических параметров ГТС;

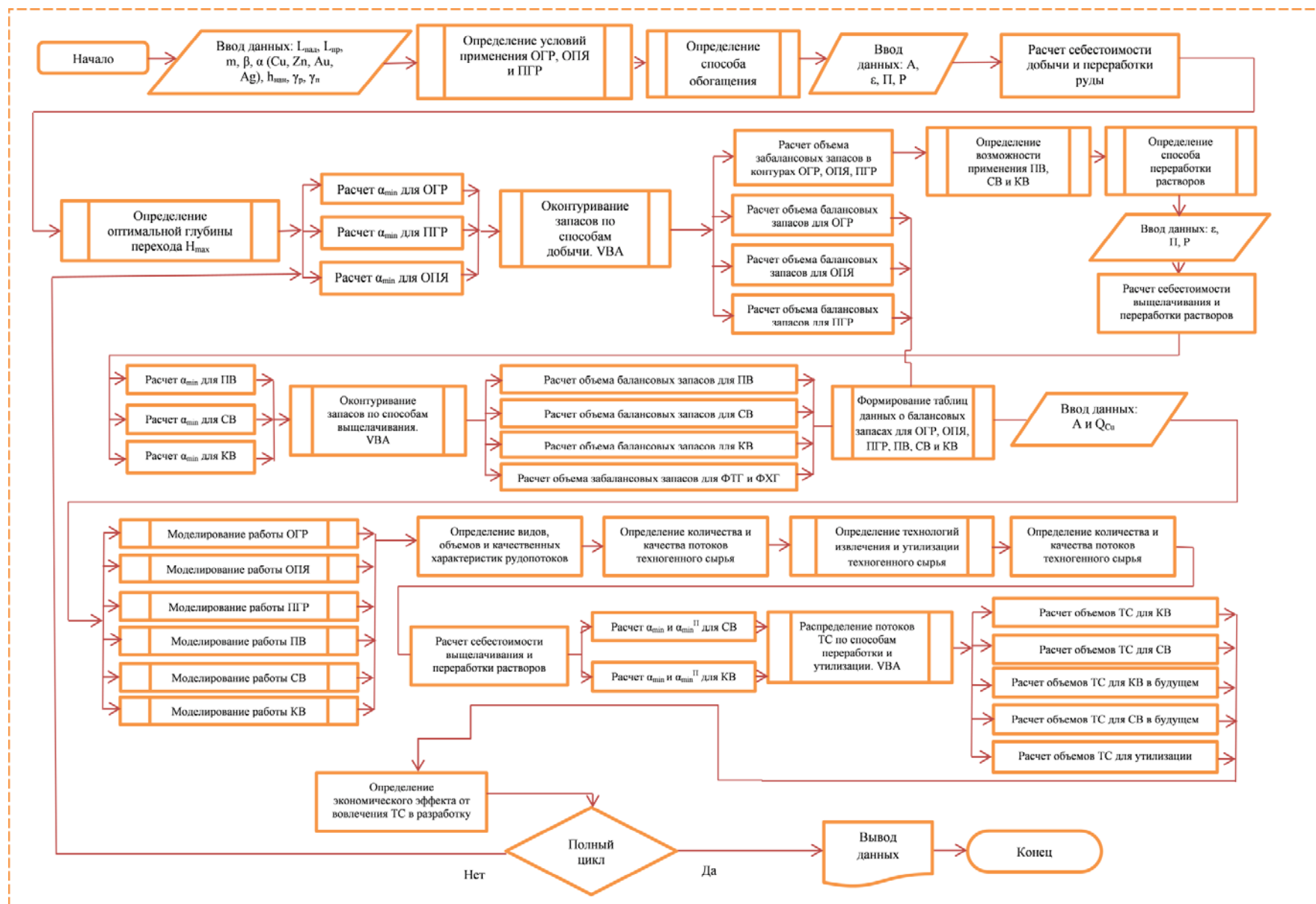


Рисунок 2.3. Алгоритм определения оптимальных требований к качеству природного и техногенного сырья при комплексном освоении рудного месторождения.

- определение порядка вовлечения участков месторождения в эксплуатацию физико-техническими и физико-химическими геотехнологиями;
- оценка видов, объемов и качественных характеристик техногенных образований;
- дифференциация потоков техногенного сырья по их промышленной ценности и способам утилизации;
- обоснование технологических схем формирования и эксплуатации техногенных образований при комплексном освоении месторождения.

Реализация расчетного блока разделения запасов по видам применяемых геотехнологий осуществлена для условий условного рудного месторождения многокомпонентных руд. Это позволяет определить - какая часть запасов месторождения соответствует требованиям к качеству рудного сырья и эффективному применению определенной геотехнологии. В расчетном блоке геологические данные представлены матрицей ячеек, каждая из которых характеризуется следующими вводными данными: содержанием ценного компонента (α^P , %); глубиной залегания ($H_{гп}$, м); плотностью руды (γ_p , т/м³), коэффициентом крепости руды по шкале проф. М.М. Протоdjяконова (f_p).

Затем производится расчет блока «Определение условий применения открытых, подземных и открыто-подземных горных работ». В этом блоке, в соответствии с ранее введенными геологическими данными, устанавливается целесообразность отработки месторождения открытым, подземным, либо открыто-подземным способом.

Затем производится расчет условного содержания основного металла в руде ($\alpha_{усл}^{Me}$, %) путем приведения содержания других металлов к основному по общепринятой формуле:

$$\alpha_{усл}^{Me} = \alpha_{Me} + K_{iMe} \alpha_{iMe} \quad (2.5)$$

где α_{Me} – содержание основного полезного компонента, %;

α_{iMe} – содержание i-го полезного компонента, %;

K_{iMe} – коэффициент перехода i-го металла в условный:

$$K_{iMe} = \frac{C_{iMe} \varepsilon_{iMe}}{C_{Me} \varepsilon_{Me}} \quad (2.6)$$

где C_{iMe} – цена единицы i-го товарного металла, извлекаемого из природного или техногенного сырья, руб.; C_{Me} – цена основного товарного металла, руб.;

ε_{iMe} – сквозное извлечение i -го ценного компонента при добыче, переработке и металлургическом переделе, доли ед.; ε_{Me} – сквозное извлечение основного компонента при добыче, обогащении и металлургическом переделе, доли ед.

В соответствии с технологическими характеристиками рудного сырья, определяется приоритетный способ его обогащения. Далее, с учетом содержания ценных компонентов, вводится их извлечение в концентрат при выбранном способе обогащения руд.

Показатели извлечения могут быть определены по полиномиальным зависимостям, полученным при статистической обработке практических данных обогатительных фабрик России с использованием материалов работы [32]:

$$\varepsilon_{Cu} = 98,14 \cdot \alpha_{Cu}^6 - 636,28 \cdot \alpha_{Cu}^5 + 1556,48 \cdot \alpha_{Cu}^4 - 1732,5 \cdot \alpha_{Cu}^3 + 769,96 \cdot \alpha_{Cu}^2 + 24,12 \cdot \alpha_{Cu} - 0,43 \quad (2.7)$$

$$\varepsilon_{Zn} = 81,9 \cdot \alpha_{Zn}^6 - 543,3 \cdot \alpha_{Zn}^5 + 1374,63 \cdot \alpha_{Zn}^4 - 1628,06 \cdot \alpha_{Zn}^3 + 848,1 \cdot \alpha_{Zn}^2 - 69,86 \cdot \alpha_{Zn} + 0,886 \quad (2.8)$$

$$\varepsilon_{Au} = -0,0457 \cdot \alpha_{Au}^6 + 0,603 \cdot \alpha_{Au}^5 - 1,74 \cdot \alpha_{Au}^4 - 6,15 \alpha + 31,95 \cdot \alpha_{Au}^2 - 7,96 \cdot \alpha_{Au} + 1,13 \quad (2.9)$$

где ε_i – извлечение i -го компонента при обогащении в концентрат;
 α_i – содержание i -го компонента в руде.

Учет в модели геологической изменчивости качества и технологических свойств руд в дальнейшем позволяет выделять потоки бедных, рядовых и богатых руд и распределять их по способам добычи.

Данные о содержании и извлечении ценных компонентов позволяют определить переводные коэффициенты K_{iMe} и условное содержание металла в руде.

В зависимости от вида выбранной физико-технической геотехнологии в модель вводятся показатели производственной мощности горного предприятия (A , млн. т/год), потерь и разубоживания (Π и P).

Далее рассчитывается себестоимость добычи и переработки руды для ранее выбранных физико-технических геотехнологий. Зависимости себестоимости добычи руды и выемки вскрышных пород приняты с учетом исследований [34] по состоянию на 1.01.2002.: на открытых горных работах (2.10-2.12); при выемке запасов открыто-подземного и подземного ярусов системами с закладкой выработанного пространства (2.13-2.14). Для перевода зависимостей в текущие цены применяется индекс, определяемый в соответствии с установленным индексом инфляции. Согласно письму

Минрегиона РФ от 12.02.2013 № 1951-ВТ/10 инфляционный индекс на изыскательские работы в 2013 году составил 3,64 (по отношению к базовым ценам по состоянию на 01.01.2001 года).

$$Z_{ДОБ}^{ОГР} = 68.5 * 1.0028^{Hогр} * 0,98^{Aогр} * 1,0043^f * K_{ц}, \quad (2.10)$$

$$Z_{ВНЕШН}^{ОГР} = 17.75 * 1.0009^{Hогр} * 0,98^{Aогр} * 1,0043^f * K_{ц}, \quad (2.11)$$

$$Z_{ВНУТР}^{ОГР} = 11.5 * 1.0008^{Hогр} * 0,98^{Aогр} * 1,0043^f * K_{ц}, \quad (2.12)$$

$$Z_{ЗАКЛАД,}^{ОПЯ} = 146,74 * 0,998^{Hопя} * 0,99^{Aопя} * 1,001^f * K_{ц}, \quad (2.13)$$

$$Z_{ЗАКЛАД}^{ПГР} = 216,4 * 1,00041^{Hпгр} * 0,9677^{Aпгр} * 1,0033^f * K_{ц}. \quad (2.14)$$

где $Z_{ДОБ}^{ОГР}$ - себестоимость добычи руды открытым способом, руб./т.; $Z_{ВНЕШН}^{ОГР}$, $Z_{ВНУТР}^{ОГР}$ - себестоимость вскрышных работ при системах разработки с внешним и внутренним отвалообразованием, руб./т.; $Z_{ЗАКЛАД,}^{ОПЯ}$, $Z_{ЗАКЛАД}^{ПГР}$ - себестоимость добычи руды в переходной зоне и на подземном руднике при системах разработки с закладкой выработанного пространства, руб./т; $K_{ц}$ - инфляционный индекс.

Себестоимость обогащения руды может быть рассчитана по зависимости:

$$Z_o = 140 * 0,98^A * 0,98^\alpha * 1.003^\beta * K_{ц}, \quad (2.15)$$

где A - мощность горнодобывающего предприятия, млн. т.; α - содержание полезного ископаемого в руде, %; β - выход концентрата, %.

На основе расчета себестоимости определяется оптимальная глубина перехода от одного способа добычи к другому по критерию минимума затрат на добычу полезных ископаемых. Далее для каждой ячейки рассчитывается минимально-промышленное содержание условного металла ($\alpha_{min}, \%$) для открытого, подземного и открыто-подземного способов добычи:

$$\alpha_{min} = \frac{100 * (Z - П)}{Ц * \varepsilon * (1 - P)} \quad (2.16)$$

где Z – полная себестоимость добычи и переработки рудной массы, руб./т;

$П$ - суммарная извлекаемая ценность попутных компонентов не учтенных при приведении металлов к основному, руб./т;

$Ц$ - цена 1 т основного полезного компонента (металла), руб;

P – разубоживание, доли ед.

Расчетное значение минимального промышленного содержания условного металла вносится в матрицу и сопоставляется с фактическим

условным содержанием. Если фактическое значение содержания условного металла ($\alpha_{\text{усл}}^p, \%$) в ячейке ниже расчетного α_{min} , то качественные характеристики данных запасов не соответствуют требованиям, предъявляемые к ним той или иной геотехнологией. На основе расчета минимального промышленного содержания условного металла, в соответствие с разработанной программой, с помощью интегрированной среды разработки программ Visual Basic for Applications (VBA), входящей в состав Microsoft Office Excel, запасы дифференцируются по видам применяемых физико-технических геотехнологий. После дифференциации запасов производится расчет объемов балансовых и забалансовых запасов руд для открытого, открыто-подземного и подземного способов добычи.

Для запасов, которые по качеству ниже требований минимального промышленного содержания, производится оценка возможности применения подземного, скважинного и кучного выщелачивания. На основе данных, полученных в ходе опытно-промышленной апробации технологии серно-кислотного выщелачивания [18-20,53], в модель введены значения извлечения, потерь и других технологических показателей физико-химической геотехнологии.

Далее рассчитывается себестоимость подготовки массива к скважинному (2.17) [92] или кучному (2.18) выщелачиванию [46]:

$$Z_{CKB}^{PM} = K_{\text{бур}} \cdot \sum_{i=1}^n L_{\text{скв}} + K_{BB} \cdot Q_{BB} + K_{\text{обс}} \cdot \sum_{j=1}^m L_{\text{обс}} \quad (2.17)$$

$$Z_{КУЧ}^{PM} = 116,67 \cdot 0,818^{A_{\Pi}} \cdot 0,969^W \cdot 1,0039^{P_{\text{вя.ж}}} \cdot K_{\Pi} \quad (2.18)$$

где $K_{\text{бур}}$ - стоимость бурения 1м скважины, руб./м; K_{BB} - стоимость 1 кг взрывчатого вещества, руб./кг; $K_{\text{обс}}$ - стоимость обсадки 1м скважины перфорированной трубой, руб./м; $\sum_{i=1}^n L_{\text{скв}}$ - общая длина скважин пробуренных в блоке, м; Q_{BB} - общий расход взрывчатого вещества на блок, кг; $\sum_{j=1}^m L_{\text{обс}}$ - общая длина обсаженной части скважин перфорированными трубами, м; A_{Π} - производительность цеха обезвоживания и окомкования, млн. т в год; W -

требуемая влажность хвостов для окомкования, %; $P_{\text{вяж.}}$ - расход вяжущего на окомкование хвостов, кг/т.

Зависимости себестоимости выщелачивания хвостов обогащения медно-колчеданных руд и отвальной руды мелкой фракции крупностью до -40 мм ($З_{\text{выщ.}}^{\text{фр.}-45+5}$, 2.19) и крупной фракции ($З_{\text{выщ.}}^{\text{фр.}-250+45}$, -250+40мм) для бедной руды (2.20) были получены в результате аппроксимации данных по состоянию цен на 01.01.2008, полученных в ходе опытно-промышленных испытаний [19, 20,46, 53]:

$$З_{\text{выщ.}}^{\text{фр.}-45+5} = 81,82 \cdot 0,912^{\alpha} \cdot 0,847^{A_{\text{выщ}}} \cdot 1,04^{P_{\text{агента}}} \cdot 1,0005^{P_{\text{H}_2\text{SO}_4}} \cdot 1,0014^{P_{\text{инт.}}} \cdot 1,0086^t \cdot K_{\text{ц}}, \quad (2.19)$$

$$З_{\text{выщ.}}^{\text{фр.}-250+45} = 96,15 \cdot 0,912^{\alpha} \cdot 0,847^{A_{\text{выщ}}} \cdot 1,027^{P_{\text{агента}}} \cdot 1,0005^{P_{\text{H}_2\text{SO}_4}} \cdot 1,0014^{P_{\text{инт.}}} \cdot 1,0086^t \cdot K_{\text{ц}}, \quad (2.20)$$

где α - содержание меди в хвостах или руде, %; $A_{\text{выщ}}$ - производительность участка кучного выщелачивания, млн. т в год; $P_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ - расход серной кислоты, г/дм³; $P_{\text{инт.}}$ - расход интесификатора (фульвокислоты), г/дм³; $P_{\text{агента}}$ - расход подаваемого на штабель раствора, дм³/т·сут.; t - время выщелачивания, мес.

Себестоимость переработки продуктивных растворов методом цементации, руб/дм³[46]:

$$З_{\text{пер.}}^{\text{цем.}} = 0,224 \cdot 0,979^{\alpha_p} \cdot 0,895^{A_{\text{п}}} \cdot 1,015^{P_{\text{скр}}} \cdot K_{\text{ц}}, \quad (2.21)$$

где α_p - содержание меди в продуктивном растворе, г/дм³; $A_{\text{п}}$ - производительность цеха переработки продуктивных растворов, млн. дм³/год; $P_{\text{скр.}}$ - расход железного скрапа, г/дм³.

Себестоимость переработки продуктивных растворов методом экстракции, руб./м³[46]:

$$С_{\text{пер.}}^{\text{экстр.}} = 0,258 \cdot 0,979^{\alpha_p} \cdot 0,985^{A_{\text{п}}} \cdot 1,0051^{V_{\text{экс.}}} \cdot K_{\text{ц}}, \quad (2.22)$$

где α_p - содержание меди в продуктивном растворе, г/дм³; $A_{\text{п}}$ - производительность цеха переработки продуктивных растворов, млн. дм³/год; $V_{\text{экс.}}$ - расход экстрагента, мл/дм³.

Далее производится расчет минимального промышленного содержания условного компонента (2.16) и минимального объема запасов руд (2.2) для

подземного и скважинного выщелачивания массива руд. На основе качественных и технологических характеристик сырья производится определение объемов кондиционных и забалансовых запасов руд для скважинного и/или подземного выщелачивания.

Далее, на основе реализации расчетного блока определения кондиционных и забалансовых запасов для физико-технических и физико-химических геотехнологий, производится формирование таблиц данных о категории запасов руд.

С учетом данных об объемах запасов для физико-технических и физико-химических геотехнологий в случае необходимости производится корректировка производственной мощности горного предприятия по руде (A , млн. т/год) и товарному металлу (Q_{Met} , т/год). Далее, производится математическое имитационное моделирование показателей работы карьера, открыто-подземного и подземного рудников, участков скважинного, подземного и кучного выщелачивания с целью определения видов, объемов и качественных характеристик минерально-сырьевых потоков, полученных в результате отработки месторождения.

Как известно, одним из основных потоков техногенного сырья при разработке рудных месторождений являются хвосты обогащения руд и вскрышные породы, однако, основной ресурсной ценностью обладают именно первые. Расчет количества хвостов обогащения руд по твердому ($Q_{хв}$, т), производится по формуле:

$$Q_{хв} = Q_{рм} \cdot (1 - \beta/100), \quad (2.23)$$

где $Q_{рм}$ – количество рудной массы, поступающей на переработку на обогатительную фабрику, т/год; β – выход концентрата, %.

Содержание ценных компонентов в хвостах обогащения руд ($\alpha_{хв}^T$, %):

$$\alpha_{хв}^T = \alpha_{рм}^P - \frac{\alpha_{рм}^P \cdot \varepsilon}{100}, \quad (2.24)$$

где $\alpha_{рм}^P$ – содержание i -го компонента в рудной массе поступающей на обогатительную фабрику, %; ε – извлечение i -го компонента в концентрат, %.

В зависимости от объемов, качественных и технологических характеристик отходов добычи и переработки руд производится определение

технологической схемы переработки и утилизации техногенного сырья в соответствии с табл. 2.3.

Эксплуатационные затраты на выщелачивание техногенного сырья складывается из затрат на формирование техногенного массива, непосредственно выщелачивание и переработку продуктивных растворов и определяется по формулам 2.18-2.22, соответственно.

В соответствии с принятой технологической схемой извлечения или утилизации техногенного сырья и способа переработки продуктивных растворов выщелачивания, соответственно, определяются показатели извлечения ценных компонентов.

Для определения категории качества техногенного сырья и определения его ресурсной ценности производится расчет минимального содержания условного компонента для освоения сырья в ближайшей (α_{min}^T , %) и долгосрочной перспективах ($\alpha_{min}^{ТП}$, %) по формулам 2.3 и 2.4, соответственно. На основе полученных результатов производится распределение потоков техногенного сырья по способам переработки и/или утилизации, определяются объемы техногенного сырья для освоения в ближайшей перспективе и в будущем. Распределение потоков ведется, в том числе, с учетом ограничения максимально возможного объема утилизации техногенных отходов в выработанных пространствах.

Далее, после выбора направления утилизации техногенного сырья, образующегося в результате отработки месторождения, определяется экономический эффект от вовлечения кондиционного техногенного сырья в разработку.

Удельная прибыль от реализации товарной продукции, полученная в результате разработки кондиционного техногенного сырья, рассчитывается по формуле:

$$П_T = D_{ц}^T - З_{ф} + З_{п} + З_{пр} \quad (2.25)$$

где $D_{ц}^T$ – доход от реализации товарной продукции полученный в результате разработки техногенного сырья, руб/т; $З_{пр}$ – прочие неучтенные затраты, руб/т.

Вовлечение в разработку бедных руд и потоков техногенного сырья в полном цикле комплексного освоения рудного месторождения позволяет получить экономический эффект в виде прибыли от реализации товарной продукции, снижения издержек на приготовление закладочной смеси, снижения капитальных и эксплуатационных затрат на размещение техногенных отходов и строительство гидротехнических сооружений для их хранения. Помимо этого, вовлечение техногенного сырья в разработку технологиями, предусматривающими извлечение ценных компонентов, позволяет получить дополнительную товарную продукцию в виде концентратов, продуктивных растворов, материалов, пригодных для производства строительных материалов, и других.

Поэтому, при первичном анализе расчетных параметров модели горнотехнической системы важно учитывать принцип влияния геотехнологий и их показателей друг на друга. В результате первого этапа расчета каждого из блоков алгоритма, представленного на рис. 2.3, эти свойства не учитываются и поэтому необходима коррекция данных в части распределения запасов по способам добычи с учетом знания эколого-экономического эффекта от вовлечения техногенного сырья в разработку в полном цикле комплексного освоения месторождения.

Ввиду этого, при повторном моделировании процессов функционирования ГТС определение минимального промышленного содержания компонентов с дифференциацией по способам добычи необходимо рассчитывать по формуле 2.1.

На основе выполненных расчетов принимаются проектные решения по конструкции и параметрам горнотехнической системы в части отработки природных запасов и техногенных образований различными геотехнологиями в едином комплексе.

Описанная методика обоснования требований к качеству природного и техногенного сырья позволяет на стадии проектирования разработки месторождений многокомпонентных руд оценить возможность расширения минерально-сырьевой базы горных предприятий за счет увеличения объемов вовлекаемых в разработку запасов, в том числе, ранее некондиционных,

своевременно перерабатывать техногенные образования и утилизировать отходы в выработанном пространстве карьеров и шахт.

Выводы по 2 главе:

1. Проведен анализ факторов, определяющих требования к качеству природного и техногенного сырья при разработке месторождений многокомпонентных руд комбинированной физико-технической физико-химической геотехнологией.
2. На основе анализа опыта разработки медно-колчеданных месторождений и технологических решений по использованию природного и техногенного сырья в полном цикле комплексного освоения месторождений многокомпонентных руд произведена дифференциация требований к качеству минерального сырья. Доказано, что при комплексном освоении медно-колчеданных месторождений необходимо производить дифференциацию минимально-промышленного содержания металлов по видам применяемых геотехнологий с учетом эффекта от утилизации техногенного сырья, образующегося при добыче и переработке руд.
3. Разработана методика обоснования требований к качеству добываемого сырья, отличающаяся учетом результатов взаимодействия физико-технических и физико-химических геотехнологий в полном цикле комплексного освоения месторождений многокомпонентных руд для совместного вовлечения в эксплуатацию природного и техногенного сырья, и представлена в виде алгоритма на рис.2.3.

3.1. Определение технологических показателей переработки техногенного медно-колчеданного сырья в опытно-промышленных условиях

Для обоснования возможности и целесообразности вовлечения хвостов обогащения медно-колчеданных руд в промышленную эксплуатацию, специалистами ООО «Маггеопроект», ИПКОН РАН и ЗАО «Бурибаевский ГОК» в период с августа 2005 г. по октябрь 2006 года были проведены лабораторные и первый этап опытно-промышленных исследований технологии выщелачивания текущих и старогодних хвостов Бурибаевской фабрики [19,92]. Проведенные исследования показали возможность кучного выщелачивания хвостов обогащения после предварительного окомкования и позволили установить рациональные параметры технологии (табл.3.1) [92].

96

Таблица 3.1. Параметры технологии окомкования кучного выщелачивания текущих хвостов по данным лабораторных исследований

№ п/п	Технологический процесс
1.	Окомкование
	1. Исходная влажность хвостов $\leq 8 \%$ 2. Состав шихты: - текущие хвосты обогащения - 90 мас.%; - гранулированный шлак медной плавки крупностью -0,044 мм - 5 мас.%; - негашеная обожженная тонкоизмельченная известь – 5 мас. %, - вода (с учетом влажности хвостов) 3. Физико-механические свойства окатышей: - пластические (сохранение формы при сбросе с высоты 3 м в момент приготовления); - прочностные (прочность после набора прочности $\geq 1,3$ МПа); - стабильная механическая устойчивость в кислой среде
2.	Выщелачивание
	1. Концентрация серной кислоты $\leq 2 \%$, pH $\leq 1,5-2$; Eh $\leq 0,4В$ 2. Режим выщелачивания – инфильтрационно-капиллярный 3. Коэффициент фильтрации, не менее 15 м/сут 4. Продолжительность выщелачивания, не менее 60 сут 5. Содержание меди в продуктивном растворе, не менее 1000 мг/дм ³ 6. Уровень извлечения меди – 85 %

Технологическая схема, разработанная для апробации технологии, приведена на рис. 3.1. Обезвоживание хвостов обогащения было предложено производить на фабрике с использованием незадействованной на тот момент линии обезвоживания цинкового концентрата. Влажность обезвоженных хвостов при этом была несколько выше рекомендованной, поэтому хвосты подвергались дополнительной сушке на складе.

Опытно – промышленные испытания проводились на базе обогатительной фабрики Бурибаевского ГОКа на территории, прилегающей к старогоднему хвостохранилищу. Планировка площадки была выполнена под углом 4-6 градусов в сторону сборной траншеи, что позволило обеспечить самотечную транспортировку растворов. Сборная траншея, размером 6×1×1м была пройдена перпендикулярно основанию площадки, с торца траншеи сооружен зумпф. Объем сформированного штабеля окомкованных хвостов составил 6,62 т/м³, масса – 11,5 т (рис.3.2).

Перемешивание компонентов шихты, подача ее в окомкователь, прием окатышей на выходе и формирование штабеля осуществлялось вручную. Опытным путем установлено, что рациональный расход вяжущего, пыли известково-доломитового производства, составляет 3% от общего объема шихты, в то время как в лабораторных условиях - 5 %. Разница расхода определяется лучшими условиями окомкования в промышленном окомкователе.

Рациональный расход воды, который необходим для окомкования хвостов обогащения Бурибаевской обогатительной фабрики, составляет 0,125 м³ на 1 т шихты. При этом необходимо отметить, что важным условием получения прочных, крупных окатышей является струйная периодическая подача воды в окомкователь. Размер окатышей в диаметре составил 5 - 50 мм, в среднем - 25 мм. После формирования массива окатышей и его выдержки (3-е суток) были отобраны пробы для определения их химического состава (табл.3.2), физико-механических свойств и фильтрационных характеристик.

Таблица 3.2 - Содержание металлов и окислов в текущих хвостах Бурибаевского ГОКа, %

Элемент	Содержание	Элемент	Содержание	Элемент	Содержание
Cu	0,30%	As	0,02%	Na ₂ O	0,60%
Zn	0,54%	Al ₂ O ₃	5,53%	SiO ₂	38,90%
S	20,70%	MgO	1,80%	Fe ₂ O ₃	23%
Fe	18,49%	CaO	1,52%	CuO	0,70%
Cd	0,00%	Au	1,7 г/т	ZnO	0,40%
Pb	0,06%	Ag	12,2 г/т	BaO	0,30%

В качестве зумпфа для сбора продуктивных растворов, поступающих из штабеля окомкованных хвостов, была использована пластиковая емкость объемом 1 м³ (рис. 3.3). Перекачка растворов из зумпфа производилась после извлечения емкости на поверхность строительным краном для перелива при циркуляции растворов в напорную емкость, либо в емкость переработки продуктивного раствора.



Рисунок 3.3 - Зумпф для сбора продуктивного раствора выщелачивания окомкованных хвостов обогащения

Для орошения штабеля была смонтирована оросительная система, состоящая из напорной пластиковой емкости объемом 1 м³, установленной на верхней отметке площадки, что позволило осуществить подачу выщелачивающих растворов в безнапорном режиме. Режим выщелачивания включал 3 основных технологических цикла:

1 - закисление штабеля раствором, приготовленным на основе подотвальных вод с доведением их по свободной серной кислоте до 10 % - ной концентрации;

2 - промывка штабеля подотвальными водами без подкисления, обеспечивающая вымывание образовавшихся в процессе закисления сульфатов металлов;

3 - аэрация – выстаивание определенное время штабеля без орошения.

Для обеспечения равномерного распределения выщелачивающих растворов в первые три дня эксперимента производили насыщение штабеля подотвальными водами. Критерием насыщения штабеля водой являлось появление растворов в основании штабеля, после чего подача растворителя прекращалась на несколько часов. Насыщение повторялось до тех пор, пока отобранные и расколотые окатыши из разных частей штабеля не были полностью насыщены раствором. Общий расход до полного влагонасыщения штабеля составил 1090 дм³.

После насыщения штабеля раствором производили его закисление путем подачи подотвальных вод в инфильтрационно-капиллярном гидродинамическом режиме с добавлением в них серной кислоты. Доукрепление подотвальных вод серной кислотой до концентрации 10% при

получении раствора для закисления осуществляли по стандартной методике с соблюдением ЕПБ.

По завершении циклов влагонасыщения (3 суток) и закисления (24 суток) на 28 сутки была начата первая промывка штабеля с получением продуктивных растворов. В качестве промывного раствора использовались подотвальные воды с $pH=2$ без доукрепления серной кислотой. Промывку осуществляли в течение светлого времени суток в непрерывном режиме подачи раствора. Общее время промывки составило 7 суток. Критерием прекращения работ по промывке штабеля являлось падение содержания меди в получаемом продуктивном растворе ниже установленной промышленной концентрации - $0,9-1 \text{ г/дм}^3$.

Первые 2 дня промывки штабеля концентрация меди достигала 978 мг/дм^3 , в дальнейшем, ввиду интенсифицирующегося растворения образовавшихся в процессе закисления сульфатов, содержание повышалось и на 4-й день достигло максимального значения - 1832 мг/дм^3 . В конце седьмого дня содержание меди в растворе снизилось и составило менее 900 мг/дм^3 , после чего промывку прекратили (рис.3.4). В результате промывки было получено 705 дм^3 продуктивного раствора с содержанием меди 1300 мг/дм^3 . Оценка среднего содержания меди в нем производилась методом химического анализа.

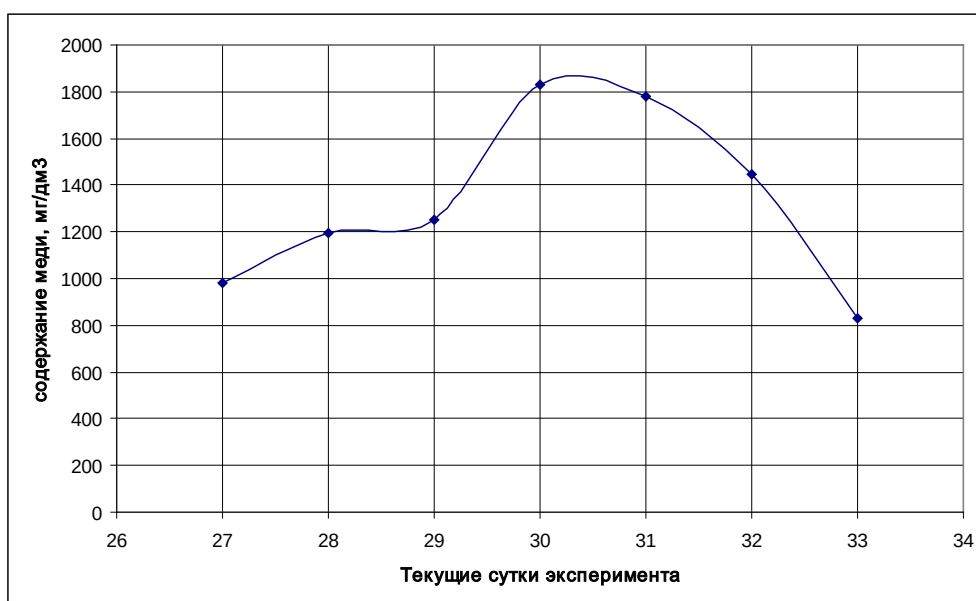


Рисунок 3.4. Динамика изменения содержания меди в продуктивном растворе при промывке штабеля

На 35 сутки эксперимента был начат второй цикл закисления, который осуществлялся в течение 41 дня. Такая длительная продолжительность цикла закисления была обусловлена выпадением большого количества атмосферных осадков, которые при небольшом объеме штабеля вымывали поданную в штабель для закисления серную кислоту. В результате снижения концентрации раствора, поступившего с дождем, общая кислотность в штабеле понижалась, что обуславливало необходимость подачи свежей порции H_2SO_4 . Вместе с тем, с дождями было дополнительно получено 634 дм^3 продуктивного раствора с высоким содержанием меди, максимальная концентрация металла, поступающего с растворами в зумпф в период дождей, достигала 3500 мг/дм^3 .

Вторую промывку штабеля начали производить на 76 сутки эксперимента и осуществляли в течение 10 дней. Общее количество полученного продуктивного раствора по окончании промывки составило 946 дм^3 со средним содержанием меди 2827,17 мг/дм^3 . На 11 день промывки подача промывного раствора была прекращена, виду поступления в зумпф растворов с низким содержанием меди, которое составляло менее 900 мг/дм^3 .

Общее количество продуктивного раствора, поступившего в зумпф за весь период эксперимента, составило 2285 л. Среднее содержание меди в нем составило 2474,7 мг/дм^3 . Расчетное извлечение меди из 11,5 т окомкованных хвостов за 88 дней эксперимента в условиях интенсивных ливневых дождей при исходном содержании меди 0,3 % (34,5 кг металла) составило 12,43 %. Уровень извлечения был рассчитан за вычетом количества меди, поданной в штабель с подотвальными водами, используемыми для насыщения штабеля, закисления и промывки (за весь срок эксперимента было подано с подотвальными водами 1,36 кг меди). Прогнозируемый уровень извлечения меди при выщелачивании хвостов в промышленном масштабе в течение 110 суток составит не менее 65% (рис.3.5).

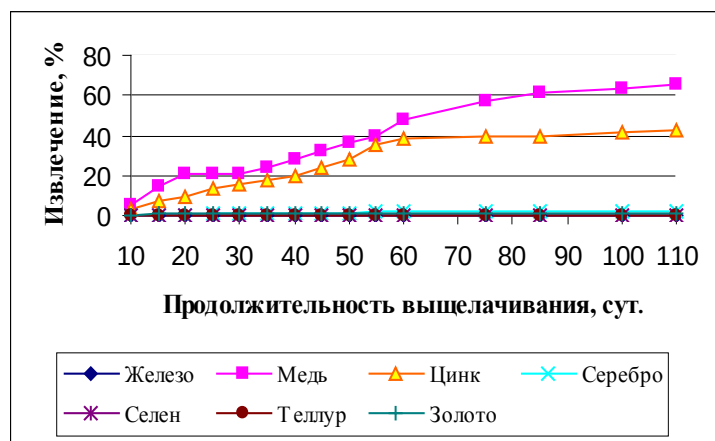


Рисунок 3.5 - Динамика выщелачивания ценных компонентов из текущих хвостов обогащения

Проведенный /Д.А. Милкин, 2009/ анализ полученных результатов в ходе опытно-промышленных испытаний показал, что существенное влияние на эксплуатационные затраты технологии выщелачивания оказывают следующие факторы: при обезвоживании и окомковании – обеспечение требуемой влажности хвостов и расход вяжущего (негашеная обожженная тонкоизмельченная известь); при выщелачивании – содержание ценных компонентов в хвостах, расход подаваемого на штабель раствора (подотвальных вод), расход серной кислоты, расход интенсификатора (фульвокислоты) и продолжительность выщелачивания [46]. Данные зависимости приведены во второй главе настоящей диссертации и выражены уравнениями нелинейной регрессии (2.18) и (2.19).

Исследования качественного состава продуктивных растворов и рудничных вод Бурибаевского карьера в условиях опытно-промышленных испытаний проводились на базе аналитической лаборатории Бурибаевского ГОКа и в лаборатории ВИМС (г. Москва). Систематически (2-3 раза в день) производилась оценка содержания меди в исходных и продуктивных растворах. В коллективных продуктивных растворах после каждого цикла промывки определялось содержание цинка. Коллективный продуктивный раствор после второго цикла промывки был подвергнут полному химическому анализу. Анализ на медь производился фотоколориметрическим и атомно-абсорбционным методом, цинк – титриметрическим и атомно-абсорбционным. В ходе проведения химических анализов специалистами лаборатории Бурибаевского ГОКа отмечено, что в

растворах содержится значительное количество ионов попутных металлов, определение которых в условиях предприятия не представилось возможным.

Для определения возможности получения товарной продукции в условиях опытно-промышленного участка был реализован процесс цементации меди на железном скрапе. В результате проведения 3 циклов цементации в соответствии с данными химических анализов общее извлечение меди из продуктивных растворов составило 91,2 %. Всего было получено около 3 килограмм цементной меди.

Также были проведены исследования технологии экстракции меди, обеспечивающей получение более чистой катодной меди. Так как примеси из выщелачивающего раствора не попадают в электролит, то в выщелачивающей цепочке можно допускать высокое содержание примесей. Проба продуктивного раствора была передана в спектральную лабораторию ВИМС на полный химический анализ. Состав исследуемого продуктивного раствора приведён в табл. 3.3. При проведении исследований экстракции меди в лаборатории МИСиС (г. Москва) из растворов кучного выщелачивания техногенного сырья Бурибаевского и Учалинского ГОКов, извлечение составило 98-100 % [50,60].

Для определения стоимости переработки продуктивных растворов кучного выщелачивания техногенного медно-колчеданного сырья сотрудниками ИПКОН РАН [46] были проведены консультации с ведущими специалистами кафедры «редких и благородных металлов» МИСиС (г. Москва), в ходе которых были установлены основные факторы, оказывающие влияние на себестоимость переработки методами цементации и экстракции.

Проведенные Д.А. Милкиным исследования, в работе [46], позволили установить зависимости себестоимости переработки продуктивных растворов методами экстракции и цементации, и выраженные уравнениями множественной нелинейной регрессии (2.21) и (2.22), соответственно.

Таблица 3.3. Результаты химического анализа растворов кучного выщелачивания текущих хвостов обогащения Бурибаевской фабрики по данным ВИМС

№	Элемент	Содержани е, г/дм ³ .	Метод анализа						
1.	Медь	Cu 2,45	атомно- абсорбционн						
№	Элеме нт	Символ	Содержание , мкг/дм ³	Метод анализ а	№	Элемент	Симв ол	Содержани е, мкг/дм ³ .	Метод анализ а
1.	Литий	Li	1090	AES,	35	Олово	Sn	60	MS
3	Бериллий	Be	42	AES, MS	36	Сурьма Олово	Sb	13	MS
4.	Бор	B	< 200	AES	37	Теллур	Te	500	MS
5.	Натрий	Na	780000	AES	38	Цезий	Cs	следы	MS
6.	Магний	Mg	16000000	AES	39	Барий	Ba	115	AES,
7.	Алюмини й	Al	2000000	AES	40	Лантан	La	320	MS
8.	Кремний	Si	55000	AES	41	Церий	Ce	780	MS
9.	Фосфор	P	1100000	AES	42	Празеодим	Pr	490	MS
10	Сера	S	39000000	AES	43	Неодим	Nd	500	MS
11	Калий	K	54000	AES	44	Самарий	Sm	250	MS
12	Кальций	Ca	460000	AES	45	Европий	Eu	89	MS
13	Скандий	Sc	499	MS	46	Гадолиний	Gd	450	MS
14	Титан	Ti	1200	AES	47	Тербий	Tb	48	MS
15	Ванадий	V	следы	AES	48	Диспрозий	Dy	350	MS
16	Хром	Cr	1200	AES,	49	Гольмий	Ho	96	MS
17	Марганец	Mn	830000	AES	50	Эрбий	Er	205	MS
18	Железо	Fe	2700000	AES	51	Тулий	Tm	32	MS
19	Кобальт	Co	29000	AES,	52	Иттербий	Yb	200	MS
20	Никель	Ni	18000	AES,	53	Лютеций	Lu	25	MS
21	Цинк	Zn	20000000	AES,	54	Гафний	Hf	Следы	MS
22	Галлий	Ga	315	MS	55	Тантал	Ta	Следы	MS
23	Мышьяк	As	800	MS	56	Вольфрам	W	Следы	MS
24	Селен	Se	3000	MS	57	Рений	Re	Следы	MS
25	Рубидий	Rb	58	MS	58	Иридий	Ir	Следы	MS
26	Стронций	Sr	1700	AES,	59	Платина	Pt	Следы	MS
27	Иттрий	Y	2900	MS	60	Золото	Au	Следы	MS
28	Циркони	Zr	20	MS	61	Ртуть	Hg	Следы	MS
29	Ниобий	Nb	следы	MS	62	Таллий	Tl	190	MS
30	Молибде н	Mo	490	MS	63	Свинец	Pb	8400	AES, MS
31	Родий	Rh	следы	MS	64	Висмут	Bi	150	MS
32	Палладий	Pd	200	MS	65	Торий	Th	55	MS
33	Серебро	Ag	следы	MS	66	Уран	U	1500	MS
34	Кадмий	Cd	230000	AES,	67				

Таким образом, проведенными лабораторными и опытно-промышленными испытаниями, доказана возможность эффективного вовлечения в эксплуатацию хвостов обогащения медно-колчеданных руд физико-химической геотехнологией и получения дополнительной товарной продукции в виде товарных металлов. Определены технологические и

технико-экономические показатели физико-химической геотехнологии: извлечение металлов при выщелачивании (~65%) и переработки продуктивных растворов (~95%); себестоимость формирования штабелей, выщелачивания и переработки продуктивных растворов. Эти данные позволят оценить влияние наиболее значимых факторов на требования к качеству природного и техногенного сырья.

3.2. Влияние факторов на требования к качеству природного и техногенного медно-колчеданного сырья

Анализ факторов, описанных в параграфе 2.1., показывает, что основное влияние на требования к качеству природного и техногенного сырья оказывают геологические, экономические и технологические. Для исследования влияния этих факторов на выбор стратегии комплексного освоения месторождения была разработана исследовательская математическая модель функционирования ГТС. Были выделены постоянные и постоянно-переменные факторы.

Объектом исследований выбраны горнотехнические системы (рис.3.6-3.7) комплексного освоения месторождений медно-колчеданных руд этажно-камерной системой разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства с различной степенью полноты использования техногенного сырья. Исследования проводились применительно к условиям условного месторождения медно-колчеданных руд при варьировании геологических, технологических и экономических параметров (табл.3.4).

Постоянными факторами при моделировании являлись:

$\alpha_{\text{пад}} = 75^{\circ}$ – угол падения залежи;

$L_{\text{пр}} = 800$ м – длина по простиранию;

$m = 80$ м – мощность рудного тела;

$H_{\text{н}} = 100$ м – высота наносов;

$\gamma_{\text{п}} = 2,5$ т/м³ – средняя плотность вмещающих пород и наносов;

$P = 5$ % - разубоживание руд.

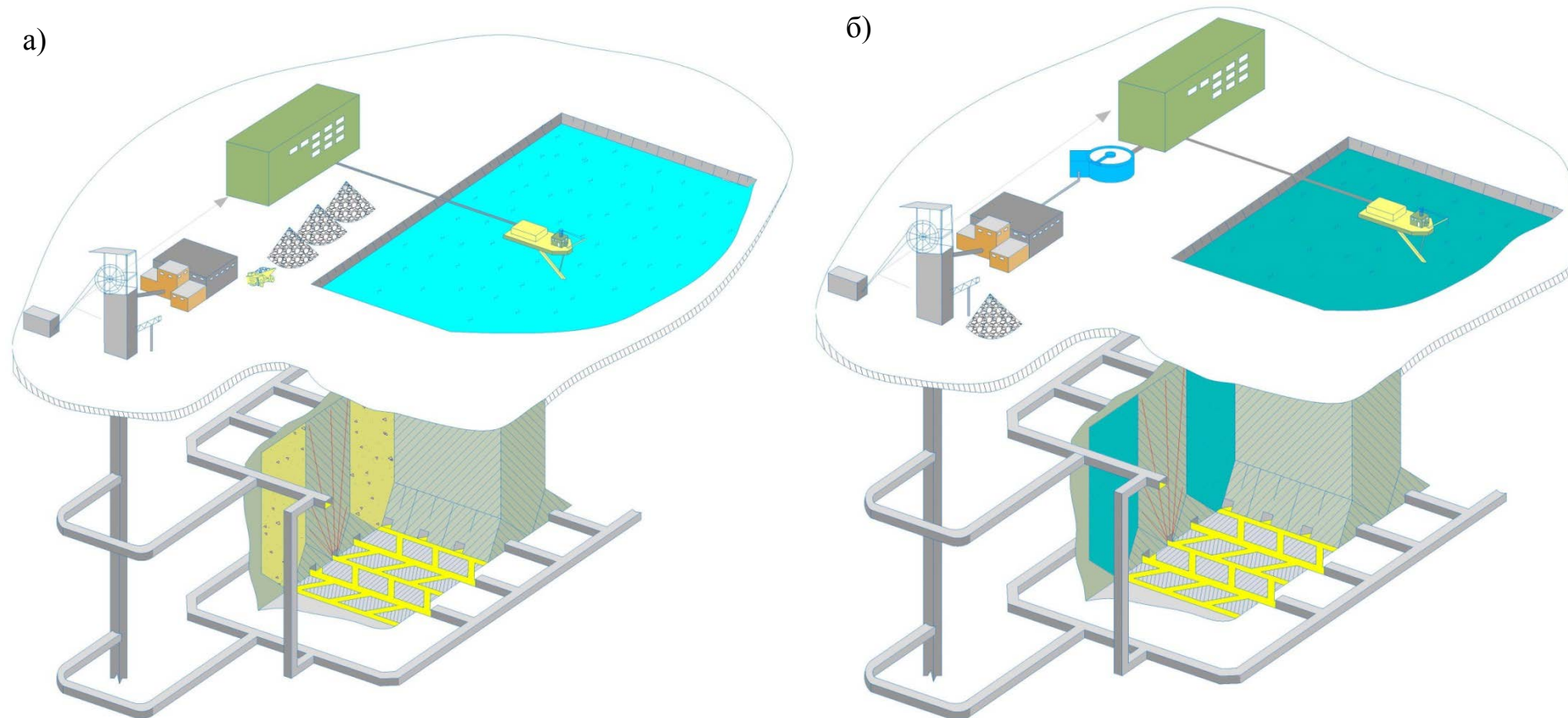


Рисунок 3.6 – Горнотехническая система освоения месторождения медно-колчеданных руд этажно-камерной системой разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства при: а – складировании отходов обогащения руд в хвостохранилище (**базовый сценарий А**); б – использовании хвостов обогащения руд для приготовления закладочной смеси (**сценарий Б**) .

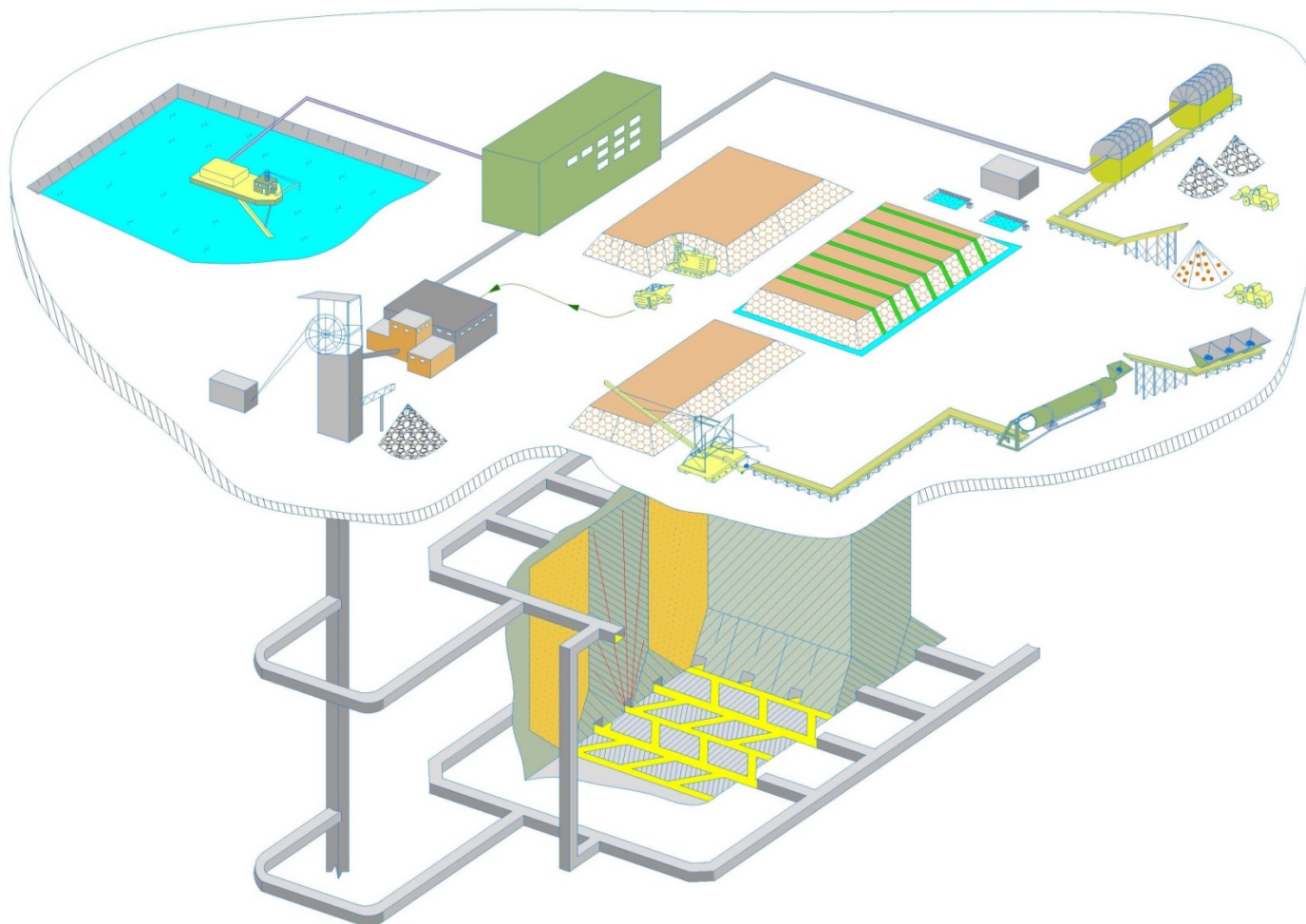


Рисунок 3.7 - Горнотехническая система комплексного освоения месторождения медно-колчеданных руд этажно-камерной системой разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства на основе отходов выщелачивания и кучным выщелачиванием хвостов обогащения руд (сценарий В)

Таблица 3.4 - Варьируемые при моделировании параметры

Геологические	Экономические	Технологические
Содержание условной меди в руде - $\alpha^P = 0,5 \div 3,0\%$; глубина залегания рудного тела $H = 100 \div 800$ м; крепость руд по шкале проф. М.М. Протодяконова $f = 8 \div 16$; объем техногенного сырья $Q_{хв} = f(A_p)$, млн. т/год; содержание условной меди в хвостах обогащения руд $\alpha^T = f(\alpha^P, \varepsilon_n)$, %,	Биржевая цена на медь $\Pi = 2,5 \div 8,0$, тыс. у. е./т; стоимость товарных концентрата $\Pi_k = 0,5\Pi$ и металла $\Pi_m = \Pi$; затраты на добычу ($З_d \approx 600 \div 1200$, (2.14) и переработку руд ($З_n \approx 450 \div 550$, (2.15)), руб./т; затраты на формирование штабеля ($З_\phi \approx 50 \div 150$, (2.18)), выщелачивание ($З_p \approx 50 \div 110$, (2.19)) и переработку продуктивных растворов ($З_{пт} \approx 50 \div 110$, (2.22)), руб/т	Производственная мощность подземного рудника ($A_p = 0,5 \div 4,0$) и участка кучного выщелачивания ($A_{кв} \approx 0,4 \div 3,7$), млн.т/год ; извлечение условной меди в концентрат ($\varepsilon_n = 60 \div 93$, (2.7)), %; извлечением меди в продуктивный раствор ($\varepsilon_t = 45 \div 75$) и при его переработке ($\varepsilon_{гм} = 80 \div 95$), %; коэффициент потери качества техногенного сырья ($K_n = 1 \div 20$), %

В зависимости от исследований того или иного фактора представленного в табл.3.4, на требования к качеству природного или техногенного сырья, большая часть параметров статичны и принимаются средние значения.

Алгоритм модели представлен на рис.2.3, а последовательность расчетов описана в параграфе 2.3. В модели рассматривались три сценария использования отходов обогащения руд:

- А. Складирование отходов обогащения руд в хвостохранилище (рис.3.6-а)
- Б. Утилизация хвостов обогащения руд в выработанном пространстве подземных камер в виде закладочной смеси (рис.3.6-б)
- В. Кучное сернокислотное выщелачивание хвостов обогащения руд и утилизация отходов выщелачивания в виде закладочной смеси (рис.3.7)

При развитии сценариев Б и В, себестоимость добычи снижается на 20%, что обусловлено исследованиями [74] в части разработки рационального состава закладочной смеси на основе хвостов обогащения руд. При развитии сценария В, в расчетах минимально-промышленного

содержания условной меди в руде учитывается экономический эффект от реализации товарной продукции полученной при извлечении ценных компонентов из техногенного сырья [64].

3.3. Исследования влияния геологических факторов на требования к качеству природного и техногенного сырья

Разработка исследовательской модели и установление зависимостей влияния геологических факторов на требования к качеству природного и техногенного сырья осуществлялось на основе укрупненных геологических, горно-технических и экономических расчетов с учетом последовательности ввода в разработку природного и техногенного сырья.

При исследовании геологических факторов моделирование осуществлялось в несколько этапов. На первом этапе, на основе ввода данных оценивались качественные характеристики запасов руд, вовлекаемых в разработку подземным способом. На втором этапе, производилась оценка качественных и количественных характеристик хвостов обогащения руд, поступающих с обогатительной фабрики.

Определение требований к качеству руд и хвостов их обогащения производилось в соответствии с методикой расчетов, представленной в 2.3. Производилась оценка следующих показателей:

- минимально-промышленного содержания условной меди в руде (α_{min}^p), %;
- минимального содержания условной меди в хвостах обогащения руд (α_{min}^t), %;
- минимального объема хвостов обогащения руд для промышленной эксплуатации (Q_{min}^t), млн.т.

Расчеты производились при варьировании: содержания условной меди в руде массе от 0,5% до 3,0% (шаг 0,1%); крепости руд по шкале проф. М.М. Протодяконова от 8 до 16; глубины залегания руд от 100м до 800 м (шаг 50м). При исследовании геологических факторов биржевая цена на медь принималась равной 7355 у.е. за 1 тонну: средняя цена за 2013 г при курсе 30 руб/у.е.

Анализ данных моделирования свидетельствует, что при реализации сценария В и производительности ГТС по руде 0,5 млн. т в год при увеличении содержания меди в руде показатель минимального промышленного содержания приведенной меди (α_{min}^p) снижается с 1,73%...2,05% до 1,19...1,42% в зависимости от глубины ведения горных работ (рис.3.8-а). При производительности рудника 2 млн. т в год α_{min}^p снижается с 1,11%...1,33% до 1,63%...1,95% (рис.3.8-б). Схожие зависимости были получены при производственной мощности рудника 3 и 4 млн. т руды в год (рис.3.8-в,г). Снижение α_{min}^p связано с тем, что при росте содержания ценных компонентов в рудной массе, поступающей на флотацию, растет процент их извлечения в концентрат с 60% до 93%.

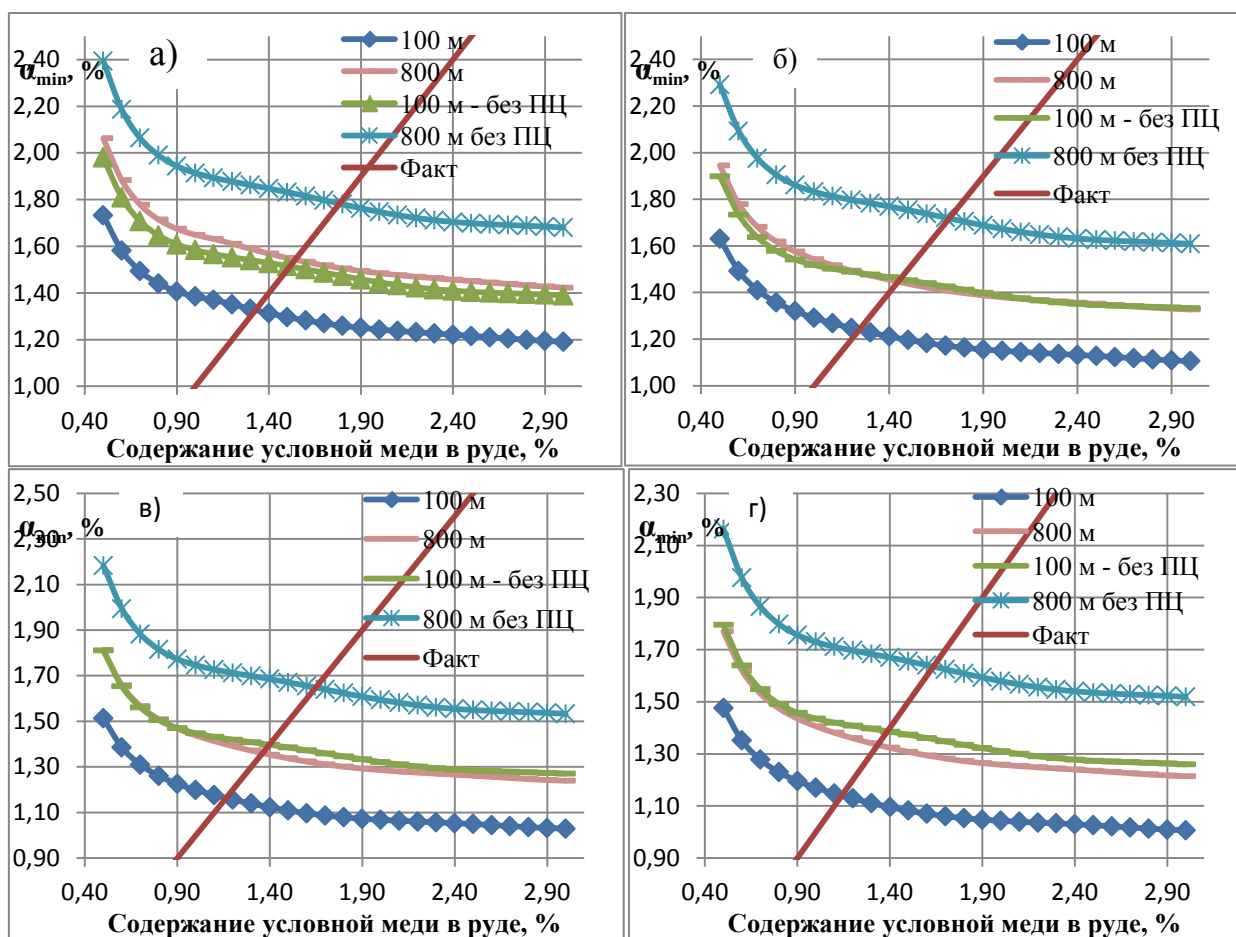


Рисунок 3.8 - Зависимость минимально-промышленного содержания условной меди от ее содержания в руде при производственной мощности рудника по руде: а - 0,5 млн. т/год; б - 2 млн. т/год; в - 3 млн. т/год; г - 4 млн. т/год.

Значения на рис. 3.8 за красной линией показывают область изменения α_{min}^p в зависимости от глубины залегания руд, которые отвечают требованиям α_{min}^p при реализации сценария В.

Статистический анализ геологических данных, проведенный в работе [32], показал, что на большинстве медно-колчеданных месторождений с глубиной содержание меди в рудах снижается в среднем на 0,15% на каждые 40-60 м. Исключением является Озерное месторождение (Башкортостан), верхняя часть которого представлена медными и медно-цинковыми рудами, характеризующимися относительно низким содержанием меди и цинка, растущим с глубиной до 3% [52]. Поэтому при исследовании влияния содержания условной меди на требования к качеству руд в модель были заложены сценарии снижения и роста содержания меди с глубиной.

В результате исследований было установлено, что при снижении содержания меди с глубиной на 0,15% каждые 40 м, минимально-промышленное содержание условной меди ($\Delta\alpha_{min}^p, \%$) увеличивается на 1,5%...10,5% (рис. 3.9). При этом, чем ниже содержание условной меди, тем выше тренд $\Delta\alpha_{min}^p$. Данная зависимость обусловлена тем, что при снижении содержания условной меди в руде увеличивается себестоимость обогащения, а извлечение ценных компонентов снижается.

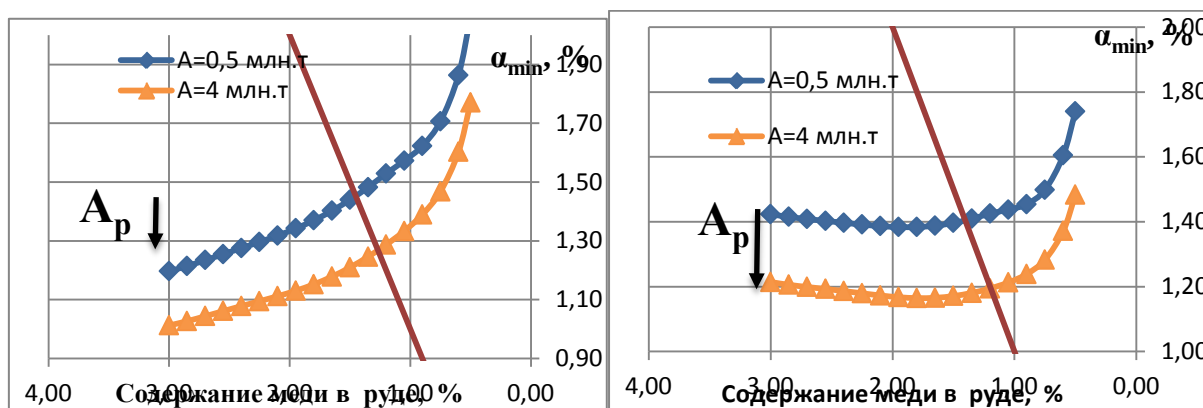


Рисунок 3.9 - Зависимость влияния содержания меди в руде на α_{min}^p в условиях сценария А при: а – снижении содержания условной меди с глубиной; б – увеличении содержания условной меди с глубиной.

При условии, что содержание условной меди в рудной залежи увеличивается с 0,5% до 3% по глубине залегания с шагом 0,15% каждые 40 м, минимальное промышленное содержание условной меди снижается на 7,5%...0,5%, а затем выполаживается и растет в незначительных пределах.

Стабилизация требований к содержанию меди обусловлена тем, что рост себестоимости добычных работ на 32% с увеличением глубины разработки, компенсируется повышением извлечения меди с 60% до 93%.

Как известно, глубина залегания рудной залежи и глубина ведения горных работ напрямую влияет на себестоимость добычи, а, следовательно, и на требования к качеству вовлекаемого в разработку сырья. Чем выше глубина залегания руд, тем выше себестоимость их добычи и, соответственно, требования к их качеству. Вовлечение в разработку хвостов обогащения руд для приготовления закладочной смеси снижает себестоимость приготовления закладочной смеси на 40%, что приводит к снижению общей себестоимости добычи на 20-30%. Вовлечение же хвостов обогащения руд с целью доизвлечения ценных компонентов позволяет получать дополнительную товарную продукцию. Очевидно, что прибыль, полученная от реализации товарной продукции в результате переработки техногенного сырья, должна учитываться при обосновании требований к качеству руд.

Для анализа влияния геологических факторов на требования к качеству природного сырья рассматривались варианты освоения условного медного месторождения без использования хвостов обогащения руд (сценария А), с их использованием для приготовления закладочной смеси (сценария Б) и то же, но с предварительным кучным выщелачиванием (сценарий В).

Анализ данных моделирования показывает (рис.3.10), что при производительности рудника 2 млн. т руды в год, наиболее низкие показатели α_{min}^p достигаются при кучном выщелачивании хвостов обогащения руд и использовании отходов выщелачивания для приготовления закладочной смеси (сценарий В). Важно отметить, что наиболее высокий эффект от доизвлечения ценных компонентов из хвостов обогащения руд достигается при содержании условной меди в руде более 1,2%. При этом, если содержание условной меди в рудах составляет менее 1,2%, при производительности рудника 1 млн. т в год, величины α_{min}^p для сценария В и Б равны друг другу. Это обусловлено тем, что при данных условиях фактическое содержание меди в хвостах обогащения руд не отвечает требованиям α_{min}^T .

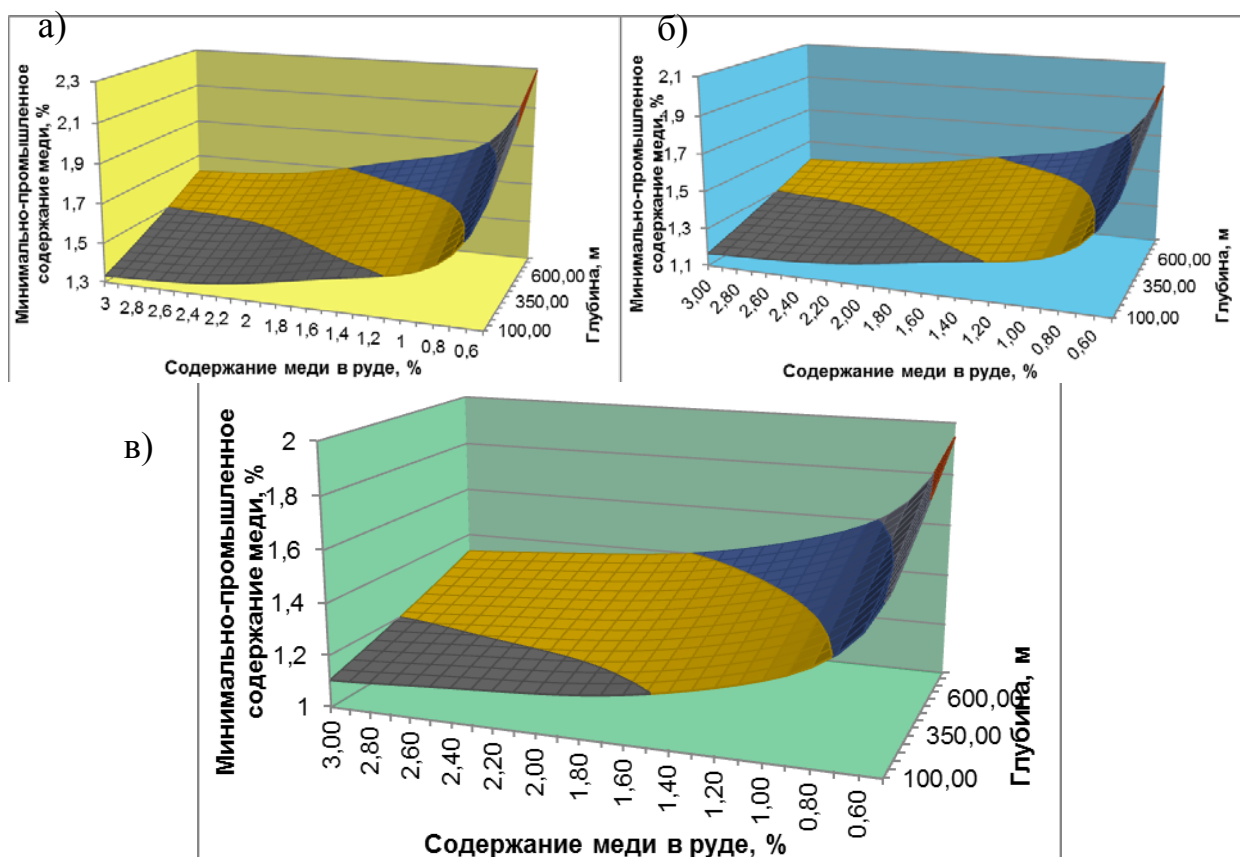


Рисунок 3.10 - Зависимость минимально-промышленного содержания условной меди от ее содержания и глубины залегания руд при производительности рудника по рудной массе 2 млн. т в год при сценариях: а – А; б – Б; в – В.

Из графиков (рис.3.10) видно, что вовлечение хвостов обогащения руд с целью доизвлечения ценных компонентов и использование отходов выщелачивания в качестве основы закладочной смеси (Сценарий В) позволяет снизить α_{min}^p на 12,0%-26,0%. Снижение величины α_{min}^p , обусловлено тем, что вовлечение техногенного сырья в разработку позволяет получать дополнительную товарную продукцию и снизить себестоимость приготовления закладочной смеси. Вместе с тем, сопоставимый анализ результатов моделирования (рис.3.10), показал, что использование хвостов обогащения руд для приготовления закладочной смеси позволяет снизить α_{min}^p в среднем на 11% (рис.3.10-б) относительно базового сценария А (рис.3.10-а).

Важно отметить, что вовлечение техногенного сырья для доизвлечения ценных компонентов и приготовления закладочной смеси позволяет вовлекать руды более низкого качества (рис.3.10-б, в).

Медно-колчеданные руды по шкале крепости проф. М.М. Протодяконова относятся к категории крепких и очень крепких ($f=8-16$). В работе [34] указывается, что крепость руд по шкале проф. М.М. Протодяконова оказывает влияние на себестоимость добычных работ, что напрямую влияет на минимально-промышленное содержание металлов.

Анализ данных моделирования показал, что при вовлечении в разработку руд с коэффициентом крепости от 8 до 16, минимально-промышленное содержание приведенной меди увеличивается не более, чем на 1,5-1,7% (рис.3.11), что находится в рамках статистической погрешности. Ввиду этого, в дальнейшем моделировании значение коэффициента крепости было принято равным 12 (среднему).

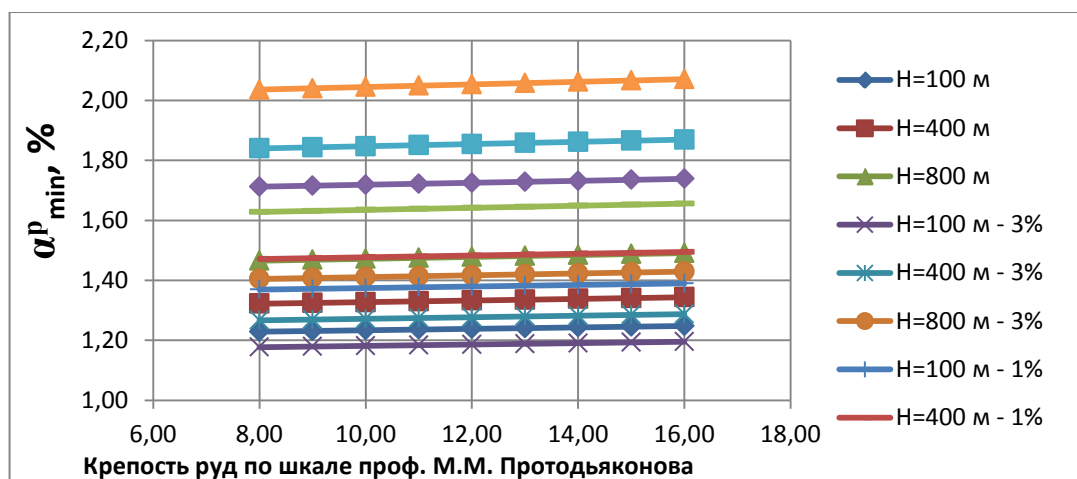


Рисунок 3.11 - Зависимость минимально-промышленного содержания условной меди от крепости руд по шкале проф. М.М. Протодяконова.

В целом можно констатировать, что наиболее высокое влияние из геологических факторов на α_{min}^p оказывают содержание металлов в руде ($\sigma \sim 18\%$) и глубина залегания руд ($\sigma \sim 12,5\%$), где σ – среднеквадратичное отклонение α_{min}^p при изменении параметров в исследуемом интервале варьирования.

Для определения направлений (см. 2.2) использования отходов добычи и переработки руд в рамках единой ГТС необходимо определить минимальное содержание металлов (α_{min}^T , %) и минимальный объем запасов техногенного сырья (Q_{min}^T , т). На показатель α_{min}^T из геологических факторов влияют содержание металлов в техногенном сырье (α^T) и объемы техногенного сырья (Q^T). Однако, качественные характеристики техногенного сырья формируются исходя из содержания ценных компонентов в природном

сырье (α^P) и их извлечения в товарный концентрат ($\epsilon^П$). Объемы техногенного сырья (Q^T) в рамках единой ГТС определяются, исходя из установленной производственной мощности рудника по рудной массе (A_p) и выхода концентрата (β).

Поэтому при исследовании влияния геологических факторов на требования к качеству техногенного сырья варьировалось содержание приведенной меди в руде (от 0,5% до 3,0%). Извлечение приведенной меди в товарный концентрат определялось по формуле 2.7. Для определения диапазона изменения α_{min}^T и Q_{min}^T производственная мощность рудника по рудной массе принималась от 0,5 до 4 млн. т в год. Извлечение ценных компонентов из техногенного сырья и продуктивных растворов принималось 65% и 90%, соответственно. Стоимость меди принималась равной 7355 у.е. за 1 тонну (средняя цена за 2013 год при курсе ЦБ 30 руб/у.е.) [117].

Анализ данных моделирования показал, что при увеличении содержания приведенной меди в руде, ее содержание в хвостах обогащения руд находится в диапазоне от 0,17% до 0,23% (рис.3.12). На графике видно, что содержание приведенной меди в хвостах обогащения руд (α^T) растет при α^P 0,8%-1,7% и 2,4-3,0%, и падает при 0,5-0,8% и 1,7%-2,4%.

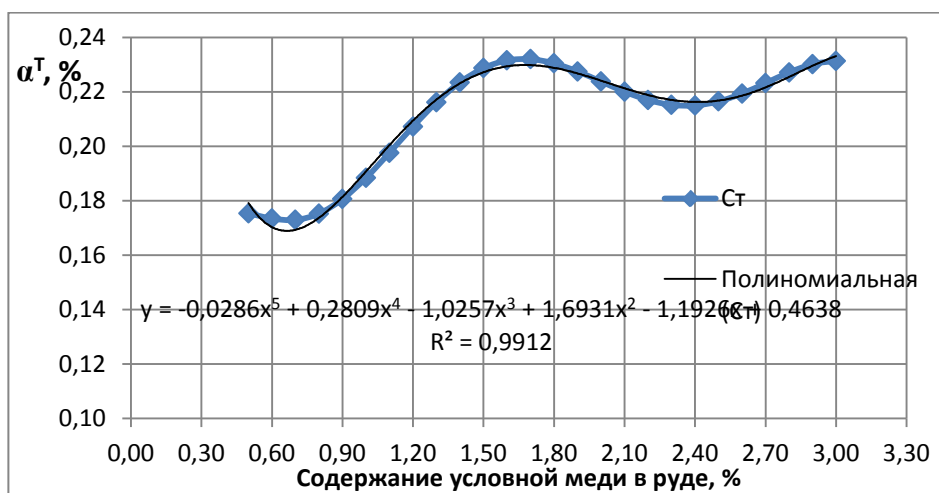


Рисунок 3.12 - Зависимость содержания условной меди в хвостах обогащения от ее содержания в руде.

Результаты моделирования показали (рис.3.13), что при производительности рудника 0,5 млн. т руды в год с содержанием условной меди 0,5%-1,3% и 2,3%-2,5%, вовлечение отходов обогащения руд с целью доизвлечения ценных компонентов не имеет смысла, т.к. фактическое содержание меди в техногенном сырье меньше α_{min}^T и сырье является

некондиционным. При производительности рудника 4 млн. т руды в год, содержание условной меди в хвостах обогащения руд удовлетворяет требованиям α_{min}^T . Данная зависимость обусловлена тем, что при росте производственной мощности по руде растут объемы техногенного сырья, что сказывается на производственной мощности участка кучного выщелачивания и, соответственно, себестоимости выщелачивания. Точки, расположенные ниже пересечения красной поверхности (α^T) с зеленой (α_{min}^T), указывают на возможность реализации сценария В, при котором экономически целесообразно доизвлечение металлов из хвостов обогащения руд методом выщелачивания.

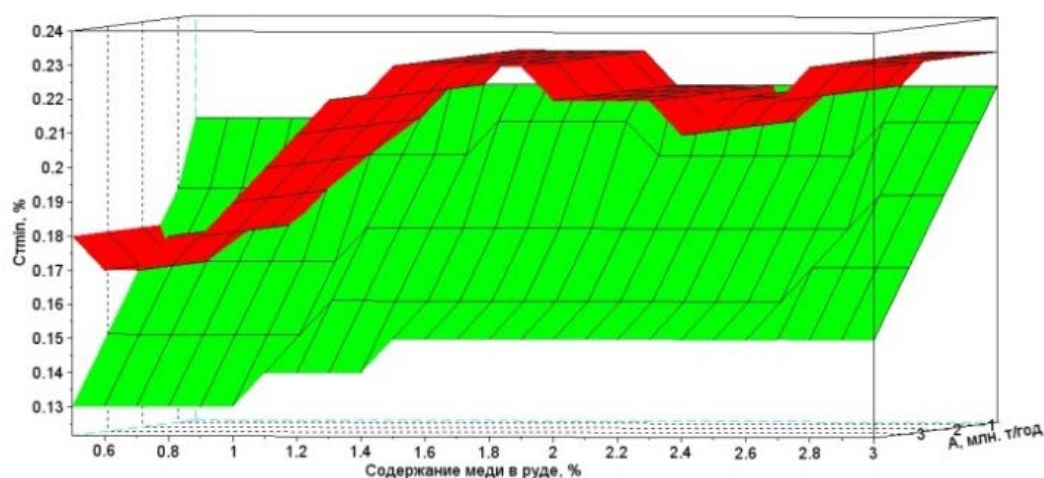


Рисунок 3.13 - Зависимость минимального содержания условной меди в хвостах обогащения от ее содержания в рудах и производственной мощности

Помимо требований к содержанию ценных компонентов, необходимо, чтобы объемы запасов техногенного сырья с определенной извлекаемой ценностью покрывали издержки на формирование и эксплуатацию техногенного образования. Минимальный объем запасов техногенного сырья рассчитывается по формуле (2.2) и напрямую зависит от следующих факторов: затрат на формирование техногенного образования; затрат на выщелачивание и переработку продуктивных растворов; извлекаемой ценности техногенного сырья; коэффициента потери качества. На блок-схеме влияния геологических факторов (рис.3.14) видно, что основное влияние на минимальный объем запасов оказывают содержание ценных компонентов в руде и производственная мощность рудника по руде:

$$f\left(3_{\phi}\left(A_T\left(Q_T(A_P)\right)\right), K_{\Pi}, I_{\Pi}\left(\alpha^T\left(\alpha^P, \varepsilon_{\Pi}\left(\alpha^P\right)\right), \varepsilon_T\right), 3_B\left(A_T\left(Q_T(A_P)\right), \alpha^T\left(\alpha^P, \varepsilon_{\Pi}\left(\alpha^P\right)\right)\right), 3_{\Pi}\left(A_T\left(Q_T(A_P)\right)\right)\right).$$

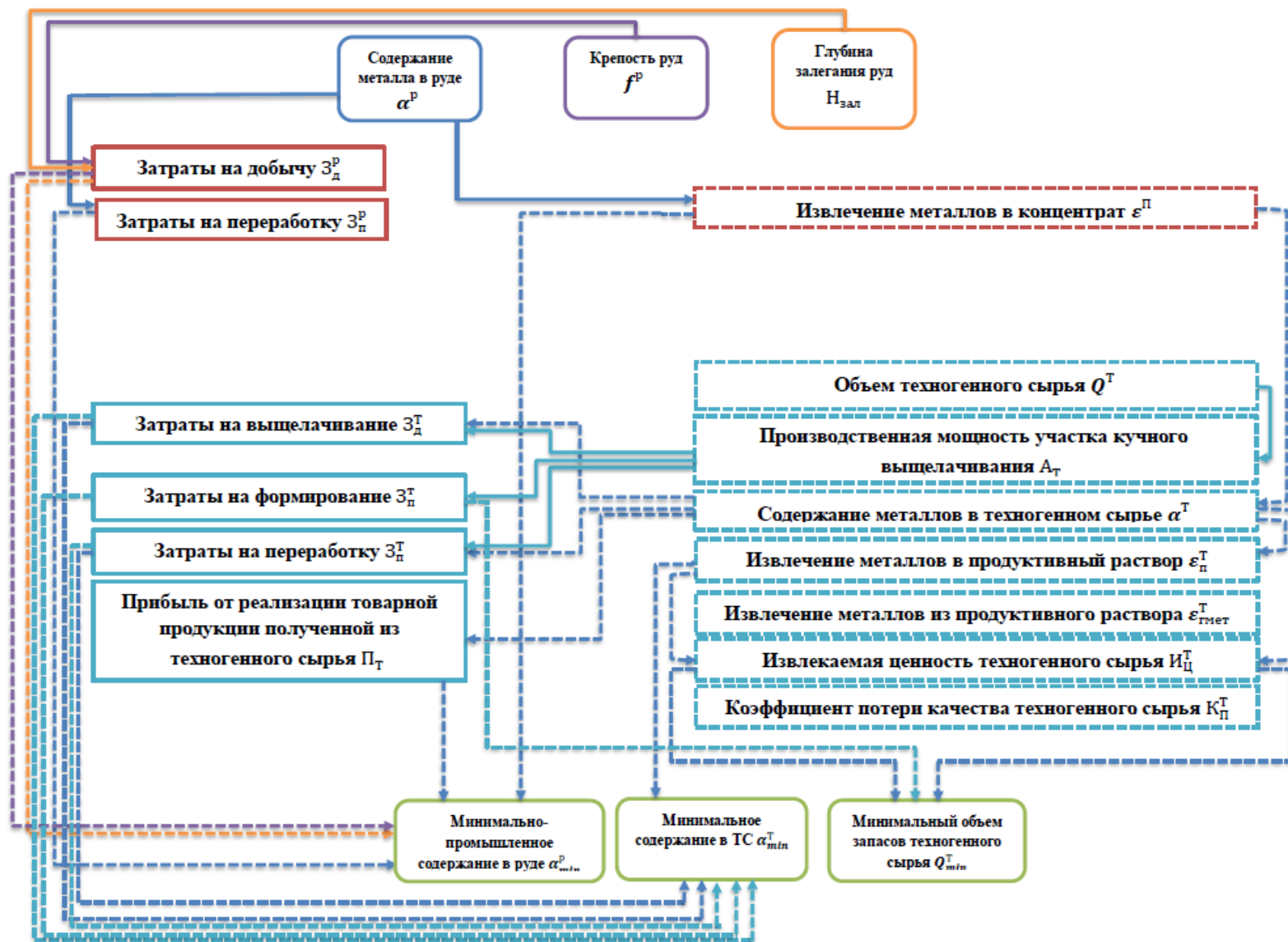


Рисунок 3.14 - Блок-схема влияния геологических факторов на требования к качеству природного и техногенного сырья

Анализ данных моделирования (рис.3.15) позволил установить зависимость величины минимального объема хвостов обогащения медно-колчеданных руд (Q_{min}^T), для окупаемости затрат на эксплуатацию техногенного сырья методом кучного выщелачивания, от содержания условной меди в руде и годовой производственной мощности подземного рудника. Поэтому с учетом установленной зависимости Q_{min}^T от качественных характеристик руд и производственной мощности рудника, на предпроектной стадии целесообразно определять величину Q_{min}^T с целью установления направления утилизации хвостов обогащения руд.

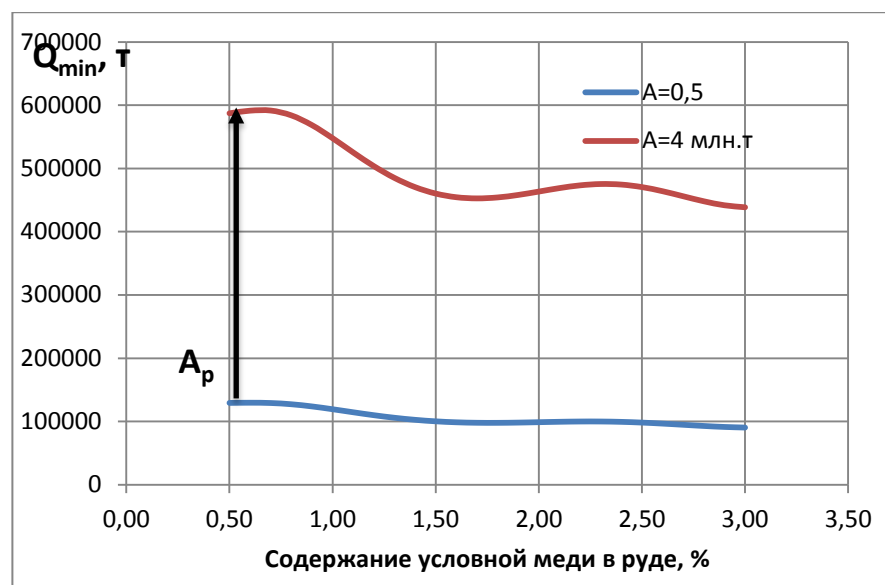


Рисунок 3.15 - Зависимость минимального объема техногенного сырья от содержания условной меди в руде.

В результате проведенного моделирования и анализа его результатов были установлены закономерности формирования требований к качеству минерального сырья в зависимости от глубины залегания руд и содержания металлов в природном и техногенном сырье. Установлено, что наибольшее влияние из геологических факторов на α_{min}^P оказывают содержание металлов в руде ($\sigma \sim 18\%$) и глубина залегания ($\sigma \sim 12,5\%$), где σ – среднеквадратичное отклонение α_{min}^P при изменении параметров в исследуемом интервале варьирования.

Однако, наряду с геологическими факторами, на требования к качеству сырья оказывают влияние технологические и экономические факторы (см. 2.1), что предопределило дальнейшие исследования с целью установления закономерностей их влияния.

3.4. Исследования влияния технологических факторов на требования к качеству природного и техногенного сырья

Для установления зависимостей влияния технологических факторов на требования к качеству сырья были выделены постоянные и переменные факторы. К постоянным факторам относятся:

- крепость руд по шкале проф. М.М. Протоdjяконова – 12;
- биржевая цена на медь – 7355 у.е./т. Курс ЦБ – 30 руб/у.е.;
- разубоживание руд при камерной системе разработки с закладкой выработанного пространства – 5%;
- извлечение условной меди из концентрата при металлургическом переделе принималось 90%;

К переменным и изменчивым в ходе моделирования факторам отнесены:

- глубина залегания руд: от 100 до 800 м;
- содержание условной меди в руде: от 0,5% до 3,0%;
- содержание условной меди в хвостах обогащения руд, которое рассчитывалось исходя из содержания ценных компонентов в руде и их извлечения в товарный концентрат: от 0,18% до 0,23%;
- производственная мощность подземного рудника по руде: от 0,5 млн. т до 4,0 млн. т в год;
- производственная мощность участка кучного выщелачивания техногенного сырья: от 0,4 до 3,92 млн. т в год;
- извлечение условной меди в концентрат при обогащении рудной массы, определяемое по формуле 2.5: от 60% до 93%;
- извлечение условной меди в продуктивный раствор при кучном выщелачивании окомкованных хвостов обогащения руд: от 45% до 75%;
- извлечение условной меди из продуктивных растворов выщелачивания при их переработке: от 80% до 95%;
- коэффициент потери качества техногенного сырья: от 0 до 20%.

При обосновании требования к качеству природного сырья, исследовалось влияние производственной мощности подземного рудника. При этом, постоянными были выделены следующие факторы: содержание ценных компонентов, извлечение условной меди при выщелачивании в продуктивный раствор и их переработки 65% и 90% соответственно.

Содержание меди, цинка, золота и серебра составляли 1,22%, 1,12%, 1,18 г/т и 16,65 г/т, соответственно, при приведении к условной меди по формуле 2.5 составляет 1,55%. Такое содержание ценных компонентов является средним для медно-колчеданных месторождений Южного Урала (см. 1.1). При содержании условной меди 1,55%, ее извлечение в концентрат при обогащении рудной массы составляет около 85%.

Анализа данных моделирования показал (рис.3.16), что при увеличении производственной мощности подземного рудника минимальное промышленное содержание условной меди в руде снижается при любом развитии сценариев. При развитии сценария В, т.е. вовлечение хвостов обогащения руд с целью доизвлечения ценных компонентов методом кучного выщелачивания и дальнейшая утилизация отходов выщелачивания в виде закладочной смеси, обеспечивает снижение минимально-промышленного содержания условной меди в руде на 18,5-20% (рис.3.16-в) в зависимости от глубины ведения горных работ, причем чем больше глубина, тем меньше тренд изменения α_{min}^p . При варианте использования хвостов обогащения руд только для приготовления закладочной смеси (сценарий Б), показатель α_{min}^p снижается на 10-10,5% (рис.3.16-б).

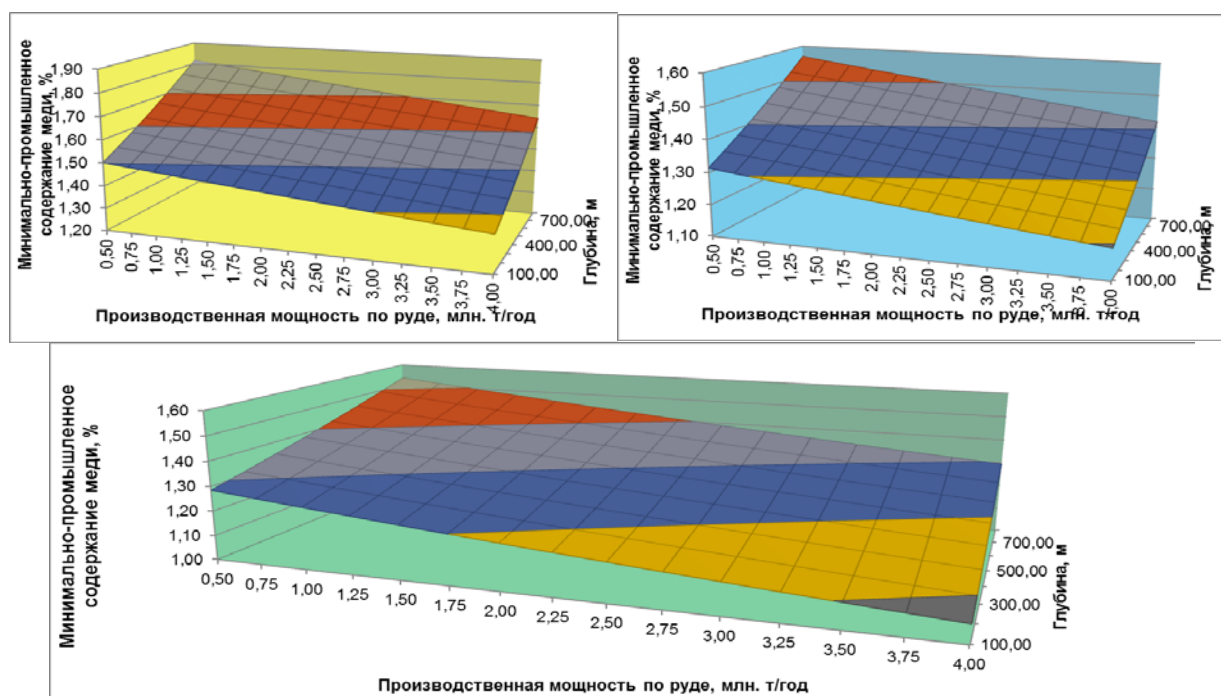


Рисунок 3.16 - Зависимость минимально-промышленного содержания условной меди от производственной мощности рудника по руде при развитии сценария: а – А; б – Б; в – В

Важно отметить, что при увеличении производственной мощности подземного рудника (A_p) на 0,5 млн. т руды в год, α_{min}^p уменьшается на 1,4-1,2% при развитии сценария В (рис.3.16-в), и в среднем на 0,7% для сценариев А (рис.3.16-а) и Б (рис.3.16-б).

Одним из важнейших технологических факторов, определяющих требования к качеству руд, является извлечение ценных компонентов в концентрат при флотации руд на обогатительной фабрике. Как известно, на извлечение ценных компонентов в концентрат наиболее сильное влияние оказывают содержание металлов в рудах, т.е. изменение качества руд влияет на извлечение металлов в концентрат, выход концентрата и содержание в нем металлов. При этом изменяются затраты на переработку руд и общая себестоимость их обогащения. Однако, результаты флотации руд также зависят от того, каким минералом представлен металл или его соединение. Если, степень наличия окисленных минералов выше допустимого, то это приводит к значительной потере металлов и, соответственно, к снижению их извлечения в товарный концентрат.

Поэтому для учета фактора разнородности руд, поступающих на обогатительную фабрику, в модели рассматривался вариант вовлечения в разработку пяти сортов руд, характеризующихся одинаковым содержанием условной меди (от 0,5% до 3,0%), но разными технологическими характеристиками: степенью обогатимости, показателями извлечения ценных компонентов при реализации процессов обогащения. С учетом присутствия окисленных минералов в сортах 2-5 руд по данным практики в модели показатели извлечения составляют соответственно $\varepsilon_{п2} = f(\alpha^p) - 5$, $\varepsilon_{п3} = f(\alpha^p) - 10$, $\varepsilon_{п4} = f(\alpha^p) - 15$ и $\varepsilon_{п5} = f(\alpha^p) - 20$.

Анализ данных моделирования показал, что, вне зависимости от сорта руд, снижение показателей извлечения условной меди в товарный концентрат при реализации процессов обогащения при развитии сценариев А и Б (рис.3.17-а,в), приводит к снижению извлекаемой ценности руд и, соответственно, росту минимально-промышленного содержания условной меди. Стоит отметить, что величины α_{min}^p при развитии сценария Б (рис.3.17-б), меньше чем для сценария А (рис.3.17-а) несмотря на одинаковое

содержание условной меди в различных сортах руд. Например, в случае развития сценария Б при обогащении 2-го сорта руд с содержанием условной меди 2,1% величина α_{min}^p составит 1,44%, а при развитии сценария А $\alpha_{min}^p = 1,66\%$. Для 3-го сорта руд, при аналогичном содержании условной меди, величина α_{min}^p составит 1,53%, а при развитии сценария А $\alpha_{min}^p = 1,76\%$.

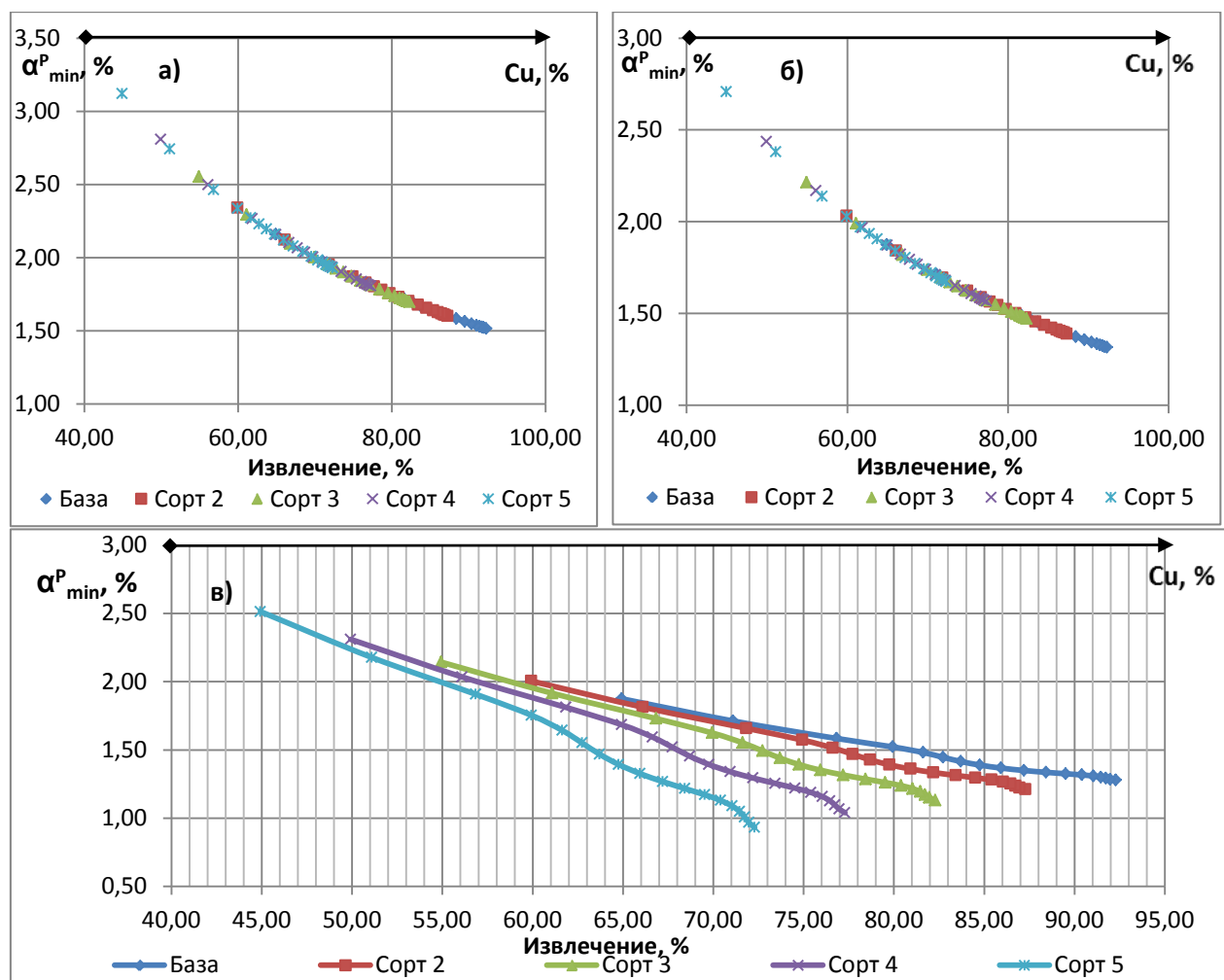


Рисунок 3.17 - Зависимость минимально-промышленного содержания условной меди в руде от извлечения ценных компонентов при подземной разработке медно-колчеданного месторождения при варианте: а – А; б – Б; в – В.

Вместе с тем, в случае вовлечения хвостов обогащения руд с целью доизвлечения ценных компонентов (рис.3.17-в) при развитии сценария В, видно, что, несмотря на более низкие показатели извлечения условной меди в товарный концентрат для сортов руд 2,3,4 и 5, показатель α_{min}^p в определенных интервалах ниже, чем при переработке базового сорта руд. Например, при обогащении 5-го сорта руд с содержанием меди 2,1%

величина α_{min}^p составит 1,17%, а при обогащении базового сорта $\alpha_{min}^p = 1,33\%$. Это обусловлено тем, что при флотации труднообогатимых руд, характеризующихся низкими показателями извлечения, значительная часть ценных компонентов накапливается в хвостах обогащения и при их последующем кучном выщелачивании переходит в продуктивный раствор. Это приводит к увеличению извлекаемой ценности хвостов обогащения руд и, как следствие, к увеличению прибыли от реализации товарной продукции (Π_T), полученной в результате выщелачивания хвостов.

Стоит отметить, что, несмотря на низкие показатели извлечения металлов в концентрат при обогащении труднообогатимых 2, 3, 4 и 5-го сортов руд, сквозное извлечение условной меди в товарную продукцию (концентраты и товарные металлы) при развитии сценария В остается довольно высоким (рис.3.17). При этом, снижение извлечения условной меди в товарные концентрат на 5% при условии доизвлечения ценных компонентов из хвостов обогащения руд снижает показатели сквозного извлечения условной меди в товарную продукцию в среднем на 1,6%. Это обусловлено тем, что, несмотря на более низкие показатели извлечения условной меди в товарный концентрат при обогащении труднообогатимых сортов руд, ценные компоненты в дальнейшем не теряются, а доизвлекаются путем выщелачивания хвостов обогащения.

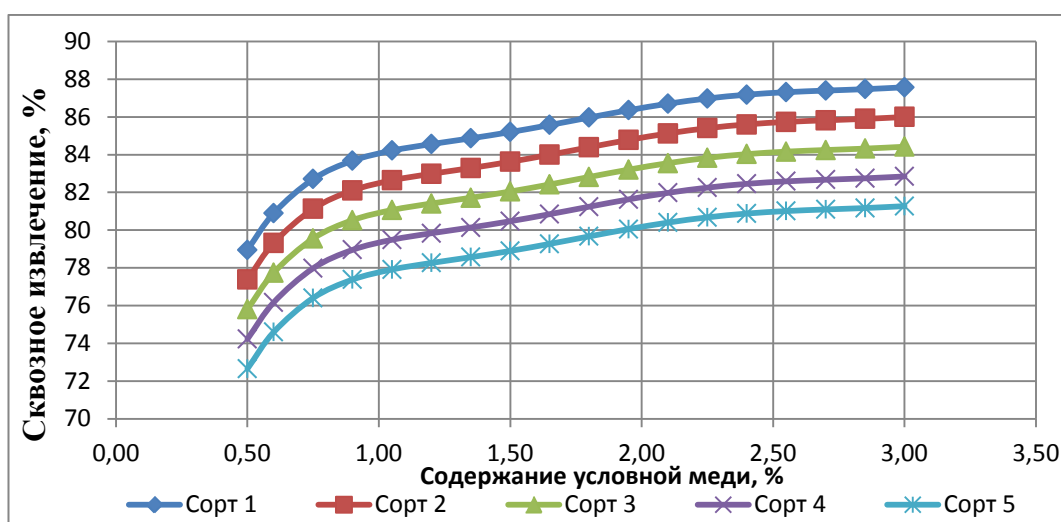


Рисунок 3.18 - Зависимость сквозного извлечения условной меди в товарную продукцию от ее содержания в рудной массе для различных сортов руд.

В процессе моделирования была также выявлена зависимость прироста производственной мощности горнотехнической системы по товарной меди

(ΔA_{Met} , %) от содержания условной меди в добываемых рудах и извлечения ценных компонентов в продуктивный раствор при выщелачивании хвостов обогащения (рис. 3.18).

На рис. 3.19 видно, что чем выше содержание условной меди в рудах, тем ниже прирост производственной мощности ГТС по товарной меди. Причем, если руды являются труднообогатимыми, то доля прироста ΔA_{Met} выше. Прирост производственной мощности ГТС по товарной меди обеспечивается переработкой хвостов обогащения руд методом кучного выщелачивания.

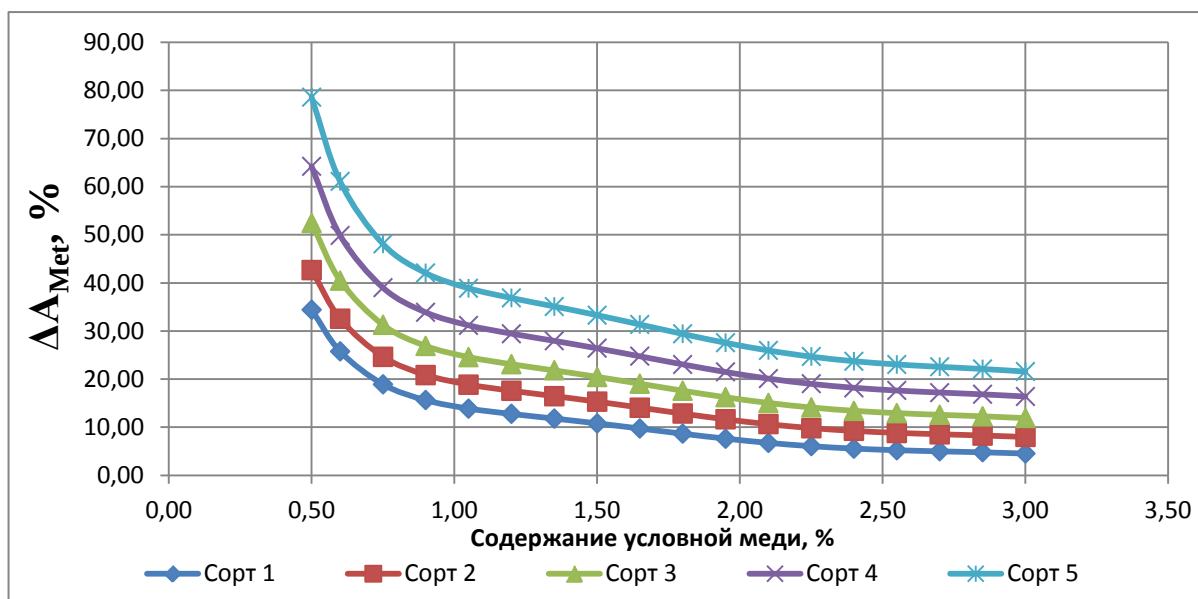


Рисунок 3.19 - Зависимость прироста производственной мощности ГТС по товарному металлу от содержания условной меди в рудной массе при переработке различных сортов руд.

Исследованиями установлено, что уровень извлечения условной меди в продуктивный раствор при кучном выщелачивании окомкованных хвостов обогащения руд, помимо влияния на требования к качеству техногенного сырья, оказывает существенное влияние на минимально-промышленное содержание условной меди в руде (α_{min}^p). Анализ данных моделирования, представленных на рис.3.20, показал, что увеличение извлечения в продуктивный раствор условной меди с 45% до 75% при его переработке снижает значение α_{min}^p на 3,5-7%, в зависимости от показателя извлечения ценных компонентов при переработке продуктивных растворов (от 80% до 95%). Данная зависимость была получена для среднего содержания условной меди в руде 1,55%.

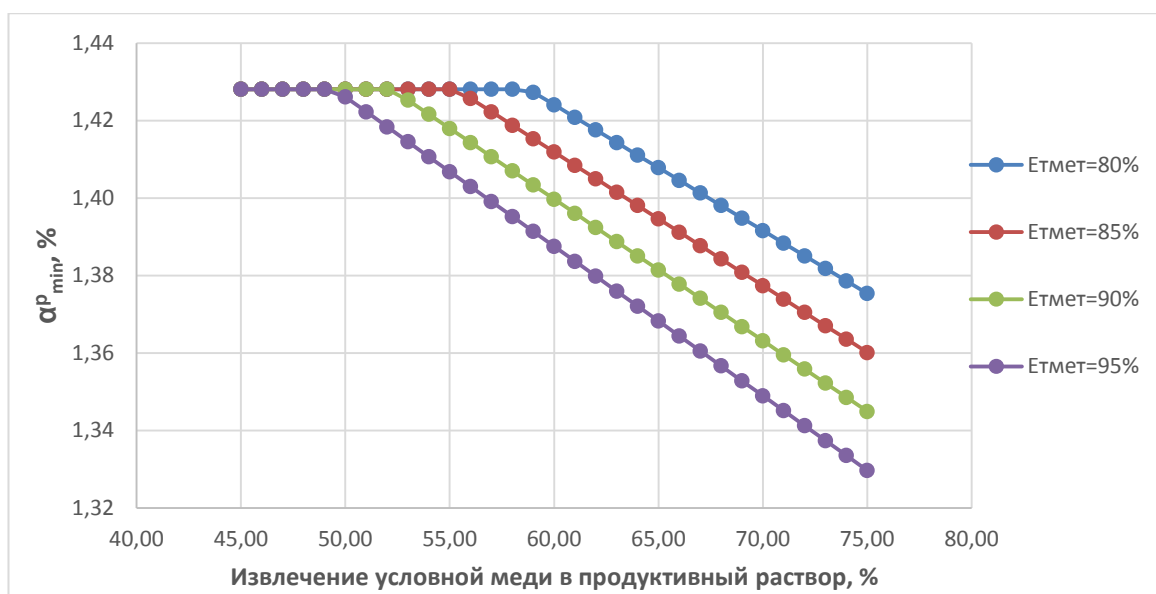


Рисунок 3.20 - Зависимость минимального промышленного содержания условной меди в руде от извлечения меди в продуктивный раствор выщелачивания хвостов обогащения руд при изменении извлечения ценных компонентов ($E_{\text{тмет}}$) в процессе гидрометаллургического передела растворов выщелачивания.

Анализ результатов моделирования и проведенный факторный анализ позволили выявить влияние технологических факторов на требования к качеству природного сырья (рис.3.21).

Из технологических факторов, определяющих требования к качеству техногенного сырья, были выделены: производственная мощность участка кучного выщелачивания (A_T), извлечение металлов в продуктивный раствор (ϵ_T) и при его переработке в товарные металлы (ϵ_P), коэффициент потери качества техногенного сырья при формировании штабелей кучного выщелачивания (K_{Π}^T).

При исследовании влияния технологических факторов на минимальное содержание условной меди в техногенном сырье (α_{min}^T) постоянными принимались следующие значения:

- содержание условной меди в рудах, поступающих на обогатительную фабрику 1,55%;
- извлечение условной меди в товарный концентрат 85%;
- цена меди на бирже 7355 у.е. за тонну;

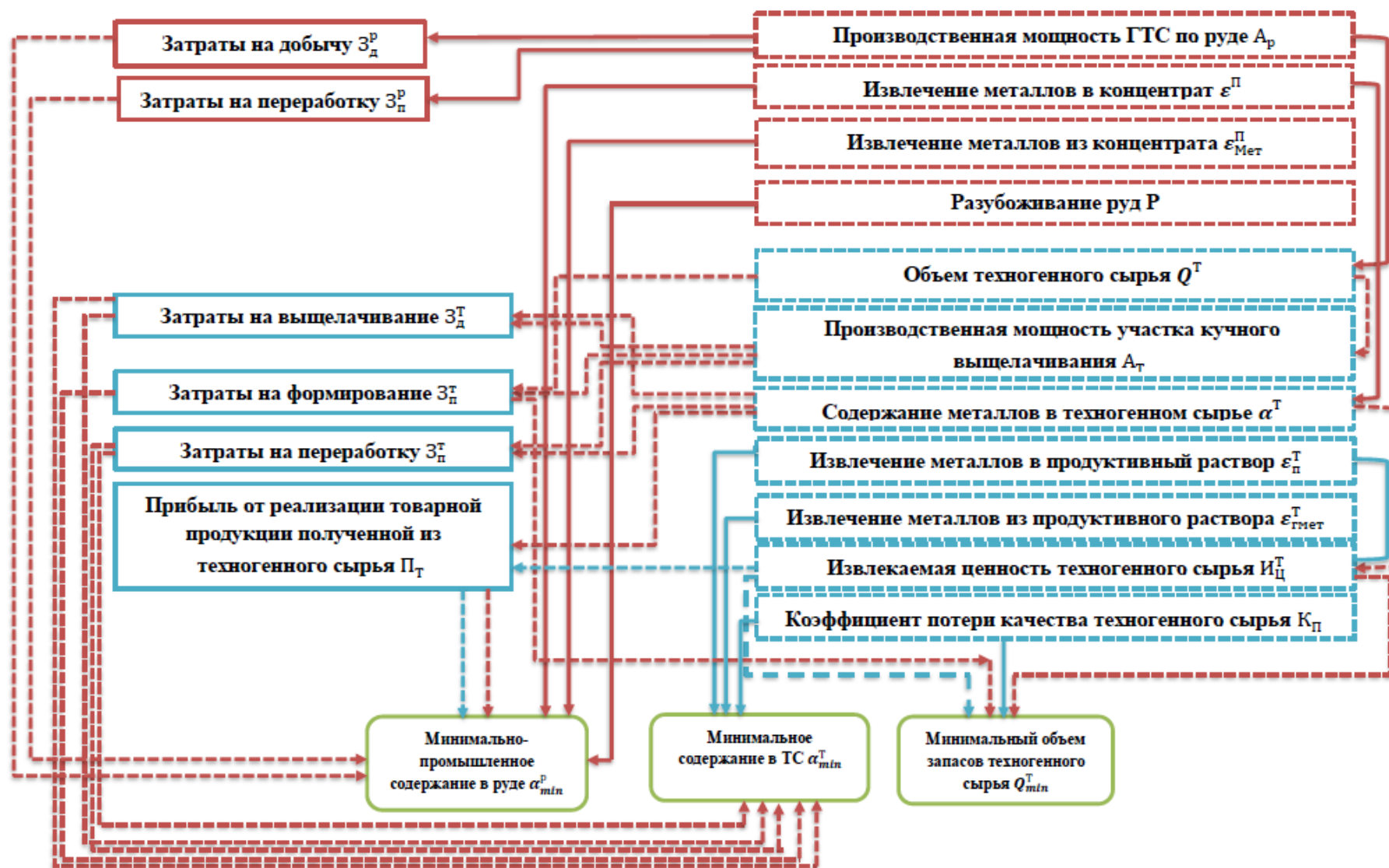


Рисунок 3.21 - Блок-схема влияния технологических факторов на требования к качеству природного и техногенного сырья.

К переменным факторам были отнесены:

- производственная мощность подземного рудника: от 0,5 до 4 млн. т руды в год;
- извлечение условной меди в продуктивный раствор: от 45% до 75%;
- извлечение условной меди при переработке продуктивных растворов выщелачивания: от 80% до 95%;
- коэффициент потери качества техногенного сырья: от 0% до 20%.

Производственная мощность горнодобывающего предприятия по руде определяет объемы хвостов обогащения руд. Количественные и качественные характеристики хвостов обогащения руд, в свою очередь, определяют производственную мощность участка их кучного выщелачивания и, соответственно, удельные затраты на реализацию физико-химической геотехнологии. Анализ данных моделирования, представленный на рис. 3.22, показал, что при увеличении производственной мощности по рудной массе на 0,25 млн. тонн руды в год, минимальное содержание условной меди в хвостах обогащения руд уменьшается в среднем на 3%.

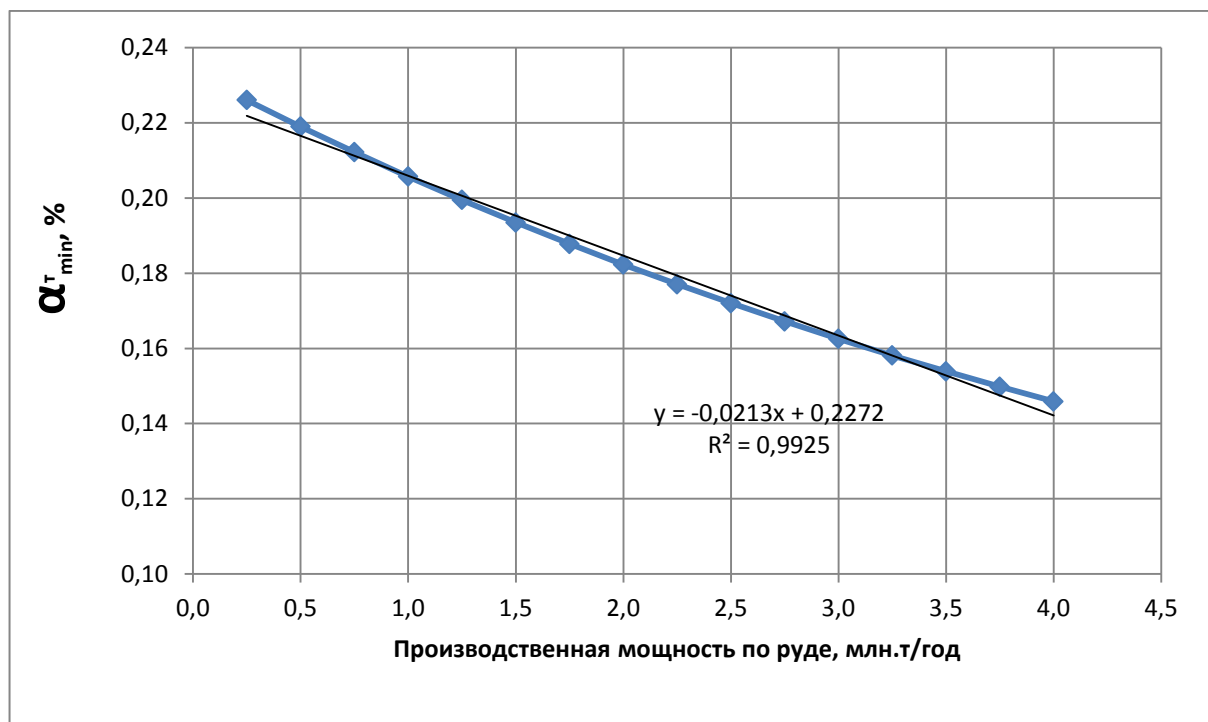


Рисунок 3.22 - Зависимость минимально-промышленного содержания условной меди в хвостах обогащения медно-колчеданных руд от производственной мощности подземного рудника по руде.

Такая зависимость обусловлена тем, что рост производственной мощности рудника по руде на 0,25 млн. т/год и, соответственно, участка

кучного выщелачивания снижает удельные затраты на формирование и выщелачивание штабеля окомкованных хвостов на 4%. Стоит отметить, что данная зависимость была получена при уровне извлечения условной меди в продуктивный раствор и товарные металлы, соответственно, 65% и 90%.

Уровень извлечения ценных компонентов при кучном сернокислотном выщелачивании техногенного сырья, как показывают проведенные исследования [18,19], находится довольно в широких пределах, от 45% до 75%. Как правило, при кучном сернокислотном выщелачивании окомкованных хвостов обогащения руд, извлечение ценных компонентов в продуктивный раствор составляет около 45-50%. Однако, для интенсификации процессов извлечения ценных компонентов используются различные модификаторы выщелачивания. Например, в работе Е.И. Ангеловой [5] указано, что наиболее высокие показатели извлечения меди в продуктивные растворы (75%) достигаются при использовании комбинированного воздействия ультразвука частотой 15 кГц, мощностью 1,5 Вт/см² с добавкой ЛСТ концентрации 0,3 г/дм³. При этом извлечение меди в раствор составило 75 % и цинка - 89 % за 60 суток выщелачивания [5].

Анализ данных моделирования процессов извлечения ценных компонентов в продуктивный раствор (ϵ^T) и товарные металлы ($\epsilon_{\text{тмет}}$), представленных на рис.3.23, показал, что увеличение извлечения условной меди в продуктивный раствор на 1% снижает минимальное содержание в хвостах обогащения руд в среднем на 1,8-1%. При этом, увеличение извлечения металлов на 5% ($\epsilon_{\text{тмет}}$) в ходе гидрометаллургического передела продуктивных растворов приводит к снижению минимального содержания условной меди в хвостах в натуральном выражении, на 0.015%.

Закрашенная на рис.3.23 часть, расположенная ниже красной линии, определяет область, где фактическое содержание условной меди в хвостах обогащения руд (α^T) выше минимального (α_{min}^T). Если $\alpha^T < \alpha_{\text{min}}^T$ (область выше красной линии), то доизвлечение ценных компонентов из хвостов обогащения руд методом кучного сернокислотного выщелачивания является экономически нецелесообразным.

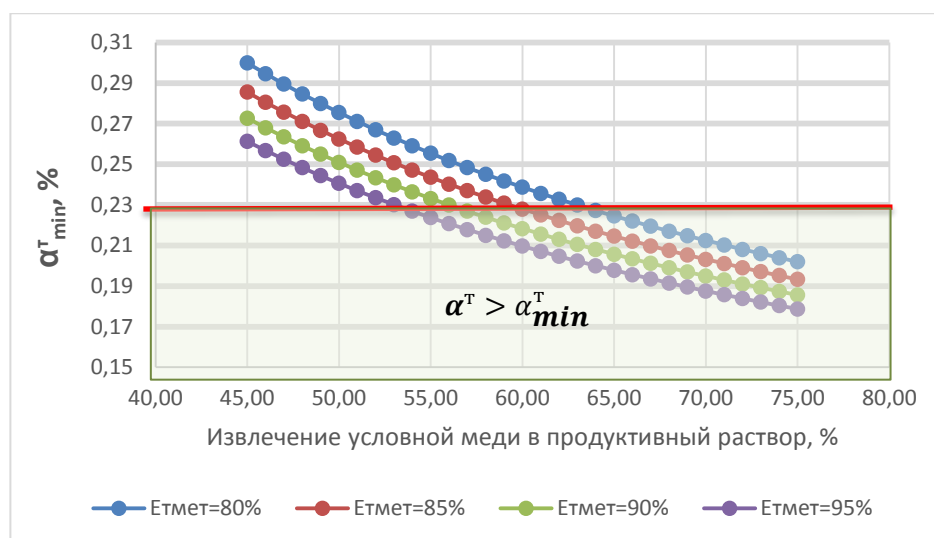


Рисунок 3.23 - Зависимость минимального содержания условной меди в хвостах при кучном сернокислотном выщелачивании от извлечения меди в продуктивный раствор и товарные металлы.

В процессе хранения хвостов обогащения руд в результате длительного контакта с внешней средой происходит потеря ценных компонентов, что приводит к снижению качественных характеристик техногенного образования. Учет этого фактора при определении требований к качеству техногенного сырья выражается коэффициентом потери качества - $K_{п}$, %: при моделировании значения варьировались от 0 до 20%.

Анализ данных моделирования представленных на графике (рис.3.24) показал, что увеличение $K_{п}$ на 10% приводит к относительному увеличению α_{min}^T не более, чем на 11%. Это обусловлено тем, что увеличение $K_{п}$ приводит снижению качественных характеристик техногенного сырья в следствии потери ценных компонентов, и, соответственно, к уменьшению валовой и извлекаемой ценности техногенного сырья.

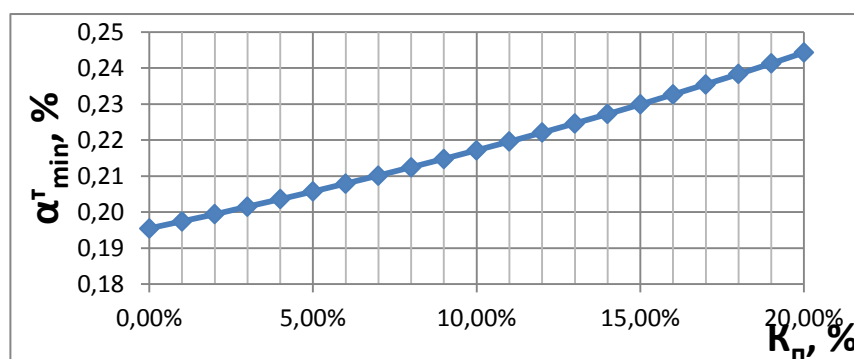


Рисунок 3.24 - Зависимость минимального содержания условной меди от коэффициента потери качества техногенного сырья.

В результате моделирования и факторного анализа его результатов были установлены закономерности влияния технологических факторов

(производственной мощности подземного рудника и участка кучного выщелачивания, уровня извлечения металлов в товарные концентраты и товарные металлы, потери качества сырья) на требования к качеству природного и техногенного сырья, представленные на блок-схеме (рис.3.21). Установлено, что наибольшее влияние на величину минимально-промышленного (α_{min}^p) и минимального содержания (α_{min}^t) условной меди, соответственно, в руде и техногенном сырье, из технологических факторов оказывают производственная мощность рудника и извлечение металлов в продуктивный раствор выщелачивания хвостов обогащения руд при развитии сценария В.

3.5. Исследование влияния экономических факторов на требования к качеству природного и техногенного сырья.

Требования к качеству сырья неразрывно связаны с экономическими факторами, характеризующими конъюнктуру рынка, спрос и предложение на товарную продукцию горнодобывающих предприятий, уровень цен на металлы. Однако, стоимость металлов на мировых биржах постоянно меняется, что не способствует планомерному вовлечению в разработку рядовых и бедных руд, содержание металлов в которых находится на грани минимального. Установившаяся в кризисные периоды мировой экономики практика выборочной отработки богатых запасов руд приводит к подработке запасов рядовых руд с дальнейшим отнесением их к проектным потерям или переводу в категорию забалансовых. В этой связи, технологические решения, позволяющие снизить требования к качеству вовлекаемого в разработку минерального сырья, и, соответственно, возможности рентабельной эксплуатации месторождения, являются весьма актуальными.

Вместе с тем, в масштабах освоения месторождений многокомпонентных руд не возможно влиять на стоимость металлов и товарной продукции горнодобывающих предприятий. В этой связи, при технико-экономическом обосновании разработки месторождений необходима более глубокая проработка вопросов, связанных с перспективой изменения стоимости товарной продукции, и изыскание решений позволяющих увеличить ее выпуск за счет глубокой переработки руд и

доизвлечения металлов из отходов. Также важным является анализ чувствительности проекта к изменению себестоимости добычи и переработки руд.

Поэтому при проектировании полного цикла комплексного освоении месторождений необходимо закладывать среднюю цену металлов за последние 10 лет в качестве базовой и затем определять последовательность действий при ее колебании превышающем предельную величину. Эти меры позволят предупредить потерю запасов руд, отработка которых является нерентабельной в периоды значительного снижения цен на металлы, а также потери техногенного и природного-техногенного сырья.

В этой связи, при исследовании влияния экономических факторов на требования к качеству природного и техногенного сырья варьировались следующие параметры:

- цена меди на бирже (C): от 2500 до 8000 у.е./т;
- цена медного концентрата (C_k) при обогащении рудной массы: от $0,3C$ до $0,7C$;
- изменение себестоимости добычи руд: в пределах $\pm 20\%$.

Постоянными параметрами при моделировании являлись: среднее содержание условной меди в руде и хвостах обогащения, соответственно, 1,55% и 0,23%; годовая производственная мощность рудника и участка выщелачивания, соответственно, 2,0 и 1,8 млн. т; извлечение металлов в концентрат - 85%; извлечение металлов в продуктивный раствор и товарные металлы, соответственно, 65% и 90%.

Анализ результатов моделирования при варьировании цены меди на бирже показал (рис.3.25), что при увеличении стоимости меди (C) с 2,5 до 5,5 тыс. у.е. за тонну, минимально-промышленное содержание в руде снижается в среднем на 12,2% для всех сценариев (А, Б и В). При цене меди более 5,5 тыс. у.е., величина α_{min}^p для сценариев А и Б снижается в среднем на 7,2%, а при развитии сценария В - на 8,6%. Это обусловлено тем, что при стоимости меди более 5,5 тыс. у.е./т, содержание условной меди в хвостах обогащения руд начинает отвечать требованиям α_{min}^T и, соответственно, позволяет получить прибыль от реализации товарной продукции с участка кучного выщелачивания хвостов обогащения руд.

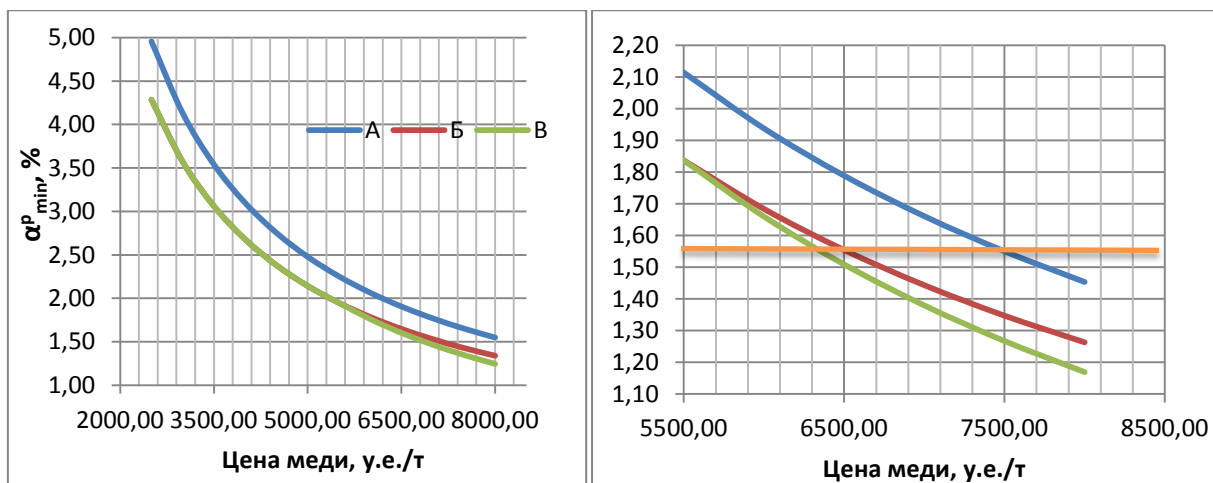


Рисунок 3.25 — Зависимость минимально-промышленного содержания условной меди в руде от цены меди при развитии сценария А, Б и В

Результаты моделирования, представленные на рис.3.25, свидетельствуют, что чем больше стоимость металла, тем меньше тренд изменения α_{min}^p . Важно отметить, что при $\alpha^p = 1,55\%$ (оранжевая линия на рис.3.25) и глубине ведения горных работ 450 м, запасы руд отвечают требованиям минимально-промышленного содержания условной меди при стоимости меди для: сценария А - более 7,5 тыс. у.е; сценария Б - более 6,5 тыс. у.е.; сценария В - более 6,35 тыс. у.е.

В свою очередь, увеличение стоимости меди на 500 у.е/т снижает минимальное содержание условной меди в хвостах обогащения руд в среднем на 6...16,5% (рис.3.26), причем, чем больше цена меди, тем ниже изменение α_{min}^T .

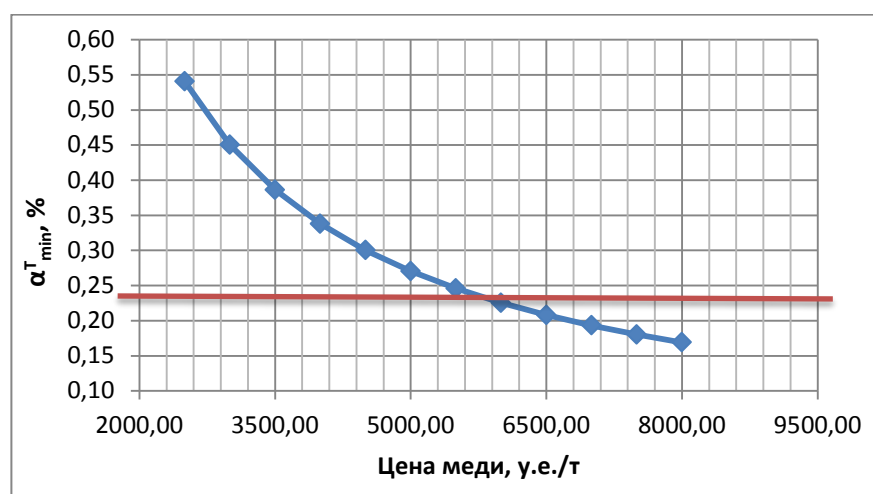


Рисунок 3.26 — Зависимость минимального содержания условной меди в хвостах обогащения руд при кучном выщелачивании от цены меди на бирже

Значения α_{min}^T (рис.3.26), расположенные ниже красной линии, показывают область, где вовлечение хвостов обогащения руд методом кучного выщелачивания является экономически целесообразным и удовлетворяют условию $\alpha^T > \alpha_{min}^T$. Важно отметить, что при стоимости меди менее 5,5 тыс. у.е./т, при сквозном извлечении 58,5% и ее содержании 0,23%, вовлечение хвостов обогащения руд методами кучного выщелачивания, является экономически нецелесообразным.

Представленные на рис.3.25-26 результаты моделирования, позволяют сделать вывод, что при стоимости меди менее 5,5 тыс. у.е/т, наиболее целесообразным является развитие сценария Б, а при $C > 5,5$ тыс. у.е/т сценария В. Стоит отметить, что данные результаты были получены при годовой производственной мощности рудника 2 млн. т, соответственно при извлечении меди в концентрат и продуктивный раствор выщелачивания 85% и 65%.

Общеизвестно, что удельная себестоимость добычи руд напрямую влияет на величину минимально-промышленного содержания металлов в добываемых рудах. Однако себестоимость добычи руд в целом на рудниках не постоянна. Она зависит от способов выемки руд (валовой или селективный), способа управления качеством рудопотоков (усреднение, сепарация и другие) и др. [28]. Так, согласно работе [32], усреднение рудопотоков с целью стабилизации качества сырья, приводит к повышению затрат на 10%, а при применении сепарации затраты повышаются до 30%. При применении местных материалов для приготовления закладочной смеси (породы от вскрышных или проходческих работ при использовании подземных закладочных комплексов), эксплуатационные затраты могут снижаться до 40% [33].

В этой связи в модель было заложено возможное изменение себестоимости добычи, включая закладочные работы, от -20% до +20% с оценкой его влияния на требования к качеству руд. Результаты моделирования представлены на рис.3.27.

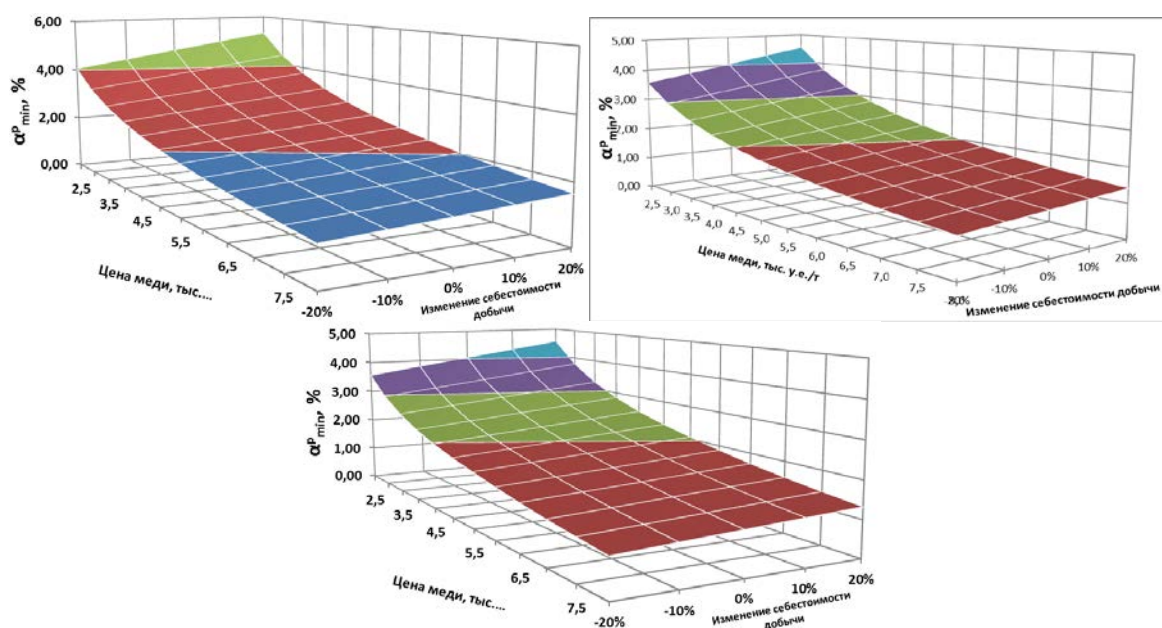


Рисунок 3.27 – Зависимость минимально-промышленного содержания условной меди в руде от себестоимости добычи и цены меди при реализации сценария: а – А; б –Б; в - В.

Анализ результатов моделирования при варьировании себестоимости добычи руд, представленных на рис.3.27, показал, что при изменении себестоимости добычи руд на $\pm 10\%$, величина α_{min}^p изменяется: на $\pm 6,5\%$ при развитии сценариев А (рис.3.27-а); на $\pm 6,0\%$ при развитии сценария Б (рис.3.27-б); на $\pm 6,0\%$ при развитии сценария В и стоимости меди менее 5,5 тыс.у.е./т (рис.3.27-в). При развитии сценария В и стоимости меди более 5,5 тыс. у.е./т, величина α_{min}^p изменяется на $\pm 6-7\%$.

Проведенный анализ результатов моделирования, представленных на рис.3.25-27, наглядно свидетельствует, что изменение экономических факторов оказывает наибольшее влияние на величину α_{min}^p и α_{min}^t (рис.3.28). От стоимости металлов на рынке и, соответственно, от стоимости товарной продукции зависят объемы балансовых руд для физико-технических и физико-химических геотехнологий, способ утилизации хвостов обогащения руд, конструктивные элементы горно-технической системы: количество и высота ярусов, расположение вскрывающих выработок, шаг вскрытия. Установлено, что при стоимости меди менее 5,5 тыс. у.е./т, хвосты обогащения руд необходимо использовать для приготовления закладочной смеси, а при цене меди более 5,5 тыс. у.е./т наиболее предпочтительным вариантом является кучное выщелачивание хвостов обогащения руд с

дальнейшей утилизацией отходов выщелачивания в закладке выработанного пространства.

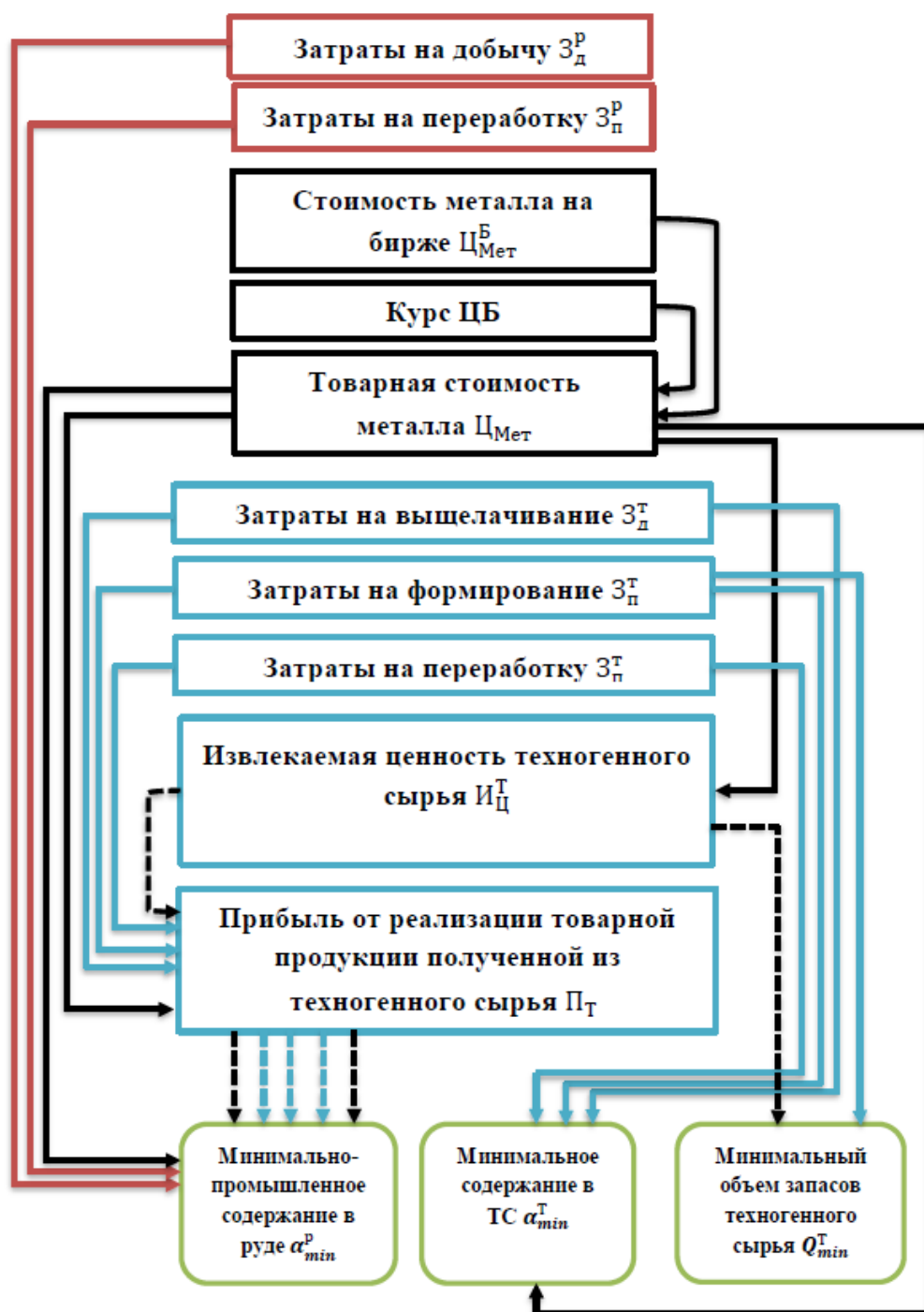


Рисунок 3.28 – Блок-схема оценки влияния экономических факторов на требования к качеству природного и техногенного сырья

Выводы по 3 главе

1. Проведенные исследования позволили выделить основные факторы, оказывающие влияние на требования к качеству руд и техногенного сырья.

Установлено, на величину минимально-промышленного содержания условной меди для подземной разработки месторождения в наибольшей степени влияют: цена металлов, содержание условной меди в руде, глубина залегания руд, производственная мощность рудника, извлечение меди при переработке отходов обогащения выщелачиванием.

2. Аппроксимацией результатов моделирования установлены зависимости минимально-промышленного содержания условной меди в руде при подземной разработке медно-колчеданных месторождений этажно-камерной системой разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства для сценариев:

$$\text{- А: } \alpha_{min}^P = 8,0001 \cdot 1,0003^H \cdot 0,8935^{\alpha^П} \cdot 0,8137^{\alpha^Ц} \cdot 0,9752^{A_p} \quad (3.1)$$

$$\text{- Б: } (\alpha_{min}^P)^{3XB} = 7,0102 \cdot 1,0003^H \cdot 0,8934^{\alpha^П} \cdot 0,8137^{\alpha^Ц} \cdot 0,9759^{A_p} \quad (3.2)$$

$$\text{- В: } (\alpha_{min}^P)^{ПЦ} = 7,9351 \cdot 1,0003^H \cdot 0,89^{\alpha^П} \cdot 0,8072^{\alpha^Ц} \cdot 0,9691^{A_p} \cdot 0,9988^{\varepsilon_T} \quad (3.3)$$

3. Минимальное содержание условной меди в хвостах обогащения руд при кучном сернокислотном выщелачивании зависит от содержания условной меди в рудной массе, поступающей на обогатительную фабрику, цены меди, извлечения ее в продуктивный раствор и производственной мощности рудника:

$$\alpha_{min}^T = b \cdot k_1^{\alpha^П} \cdot k_2^{\alpha^Ц} \cdot k_3^{A_p} \cdot k_4^{\varepsilon_T} \quad (3.4)$$

где $b=2,2361$, $k_1=1,0469$, $k_2=0,8141$, $k_3=0,8884$ и $k_4=0,9865$ – постоянные, установленные по данным моделирования множественной нелинейной регрессией.

4. Доказано, что при полном цикле комплексного освоения медно-колчеданных месторождений требования к качеству природного и техногенного сырья должны быть дифференцированы по видам применяемых геотехнологий. Так, при освоении крутопадающего медно-колчеданного месторождения с глубиной залегания руд 450 м, мощностью залежи 80 м, среднем содержании условной меди в руде 1,55% этажно-камерной системой разработки с твердеющей закладкой без использования хвостов обогащения для приготовления закладочной смеси при годовой

производственной мощности рудника 2 млн. т минимально-промышленное содержание условной меди в руде составляет 1,6%; при использовании отходов обогащения для закладки выработанного пространства оно составляет 1,38%; в случае доизвлечения выщелачиванием металлов из хвостов обогащения руд α_{min}^P снижается до 1,3%, при этом содержание условной меди в хвостах должно быть не менее 0,18%.

5. Установлено, что при обосновании минимально-промышленного содержания металлов в запасах руд при полном цикле комплексного освоения месторождений много-компонентных руд необходимо учитывать экономический эффект от эксплуатации техногенного сырья. Использование хвостов обогащения руд для закладки выработанного пространства позволяет снизить минимальное промышленное содержание в извлекаемых запасах на 8 – 14% в зависимости от производственной мощности рудника, глубины ведения горных работ, среднего содержания металлов в руде; при этом извлечение физико-химической геотехнологией металлов из хвостов дополнительно снижает минимальное промышленное содержание металлов в руде до 26% в зависимости от цены металлов и уровня их извлечения из хвостов.

6. Доказано, что включение в полный цикл комплексного освоения медно-колчеданных месторождений подсистемы формирования и эксплуатации техногенных образований целесообразно при содержании металлов в хвостах выше значения, определяемого показательной функцией $\alpha_{min}^T = b \cdot k_1^{\alpha^П} \cdot k_2^{\alpha^Ц} \cdot k_3^{\alpha^P} \cdot k_4^{\alpha^T}$, где $b=2,2361$, $k_1=1,0469$, $k_2=0,8141$, $k_3=0,8884$ и $k_4=0,9865$ – постоянные, установленные множественной регрессией.

7. Установлены зависимости минимально-промышленного содержания условной меди при разной степени полноты и комплексности освоения медно-колчеданного месторождения от глубины ведения горных работ, производственной мощности подземного рудника, содержания металлов в руде, стоимости металлов и уровня их извлечения из техногенного сырья. Наибольшее влияние на величину α_{min}^P из технологических факторов, оказывает производственная мощность рудника: ее увеличение на 0,5 млн. т

в год приводит к снижению α_{min}^P на 1,2-1,4%. Из геологических факторов наибольшее влияние оказывает среднее содержание металлов в руде: ее увеличение с 0,5% до 3% позволяет снизить α_{min}^P на 31%.

8. Доказано, что вовлечение техногенного сырья в разработку методами кучного выщелачивания с целью извлечения ценных компонентов позволяет увеличить производственную мощность всей горнотехнической системы по товарной меди (ΔA_{met} , %) и связана зависимостью от содержания условной меди в руде (α^P) и ее извлечения (ε_T) при кучном выщелачивании окомкованных хвостов обогащения руд: $\Delta A_{met} = 10.823 \cdot 1.018^{\varepsilon_T} \cdot 0.48^{\alpha^P}$.

4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО КОМПЛЕКСНОМУ ОСВОЕНИЮ НОВО-УЧАЛИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИЕЙ

4.1.Обоснование технологических рекомендаций по комплексному освоению Ново-Учалинского месторождения с учетом требований к качеству руд и техногенного сырья

Проблема обоснования требований к качеству руд и техногенного сырья при разработке медно-колчеданных месторождений Башкортостана стоит особенно актуально. В первую очередь, это справедливо для перспективных месторождений этого региона. Одно из наиболее крупных, представляющих масштабную промышленную значимость, является Ново-Учалинское медно-колчеданное месторождение, осваиваемое ОАО «Учалинский ГОК». Выдача первый руды в ходе его разработки намечена на 2018 г.

Рудная залежь Ново-Учалинского месторождения представляет собой меридионально вытянутое деформированное линзовидное тело (рис.4.1). Прослеженная протяженность рудного тела по простиранию - 1400 м, длина по падению - от 160 м до 900 м и более (нижняя выклинка к настоящему времени не оконтурена). Глубина по вертикали от дневной поверхности до верхней выклинки в северной части составляет 625 м, в южной - 1050 м. Предельная глубина залегания рудного тела, его нижней выклинки, достигает 1300 м. Мощность рудного тела изменчива: максимум зафиксирован в северной части - 146 м, в центральной части - 70 м. Углы падения нижней части рудного тела меняются от 35° на восток до близвертикального в выклиночной части [55,67,76].

Ново-Учалинское медно-колчеданное месторождение при глубинах залегания рудной залежи от 625 до 1300м относится к глубокозалегающим и однозначно предполагает применение подземного способа разработки. Ввиду склонности руд к окислению и самовозгоранию, а также ввиду высокой застроенности и наличия охраняемых объектов на поверхности, однозначно определено применение систем с твердеющей или комбинированной закладкой выработанного пространства [46,57].

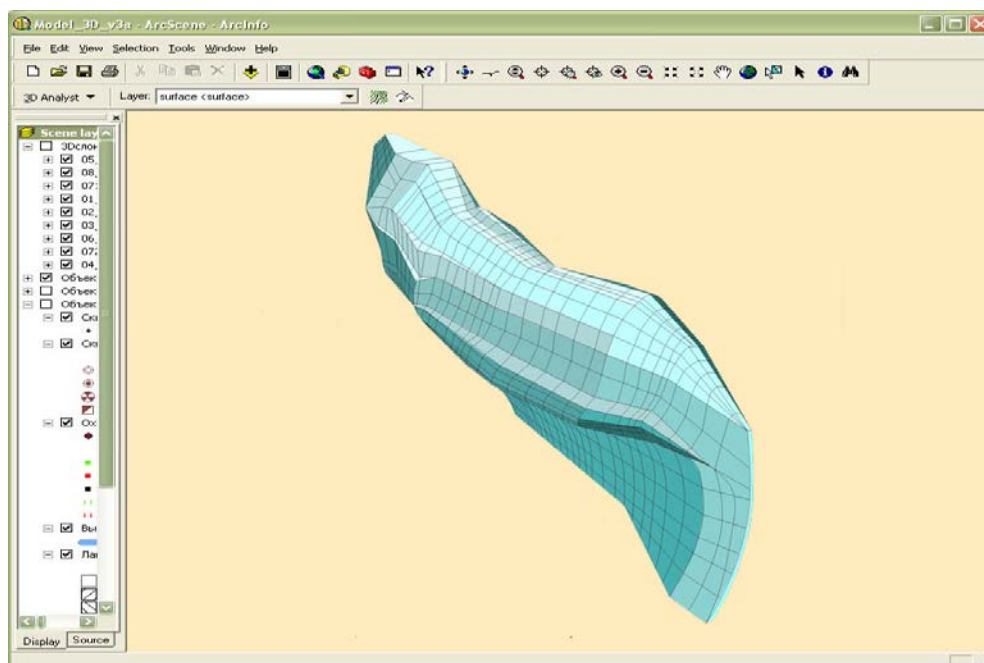


Рисунок 4.1 - Геопространственная модель Ново-Учалинского месторождения

Руды Ново-Учалинского месторождения - бедные (со средним содержанием меди 0,95% и цинка 2,38%) и характеризуется разведанностью запасов до категории C_1 и C_2 . Сводные результаты подсчета запасов руды и основных компонентов по месторождению приведены в табл. 4.1 [46,57].

Таблица 4.1 - Запасы руды и основных компонентов по месторождению

Сорт*	Объем руды, м ³	Плотность, т/м ³	Запасы руды, т. т	Содержание, %		Запасы, т	
				Cu	Zn	Cu	Zn
Балансовая принадлежность							
М	7 838 505	4,35	34119,2	1,42	0,37	485 363	125430
МВ	408 239	3,61	1 472,6	0,98	0,17	14443	2497
МЦ	13378419	4,26	57018.0	0,90	3,00	515726	1711219
МЦВ	387 543	3,82	1 478.6	0,46	4,07	6803	60230
С	384 994	4,37	1681,9	0,29	0,32	4859	5311
Ц	3 206 262	4,16	13334.5	0,28	4,43	37141	590326
ЦВ	829 790	3,83	3 177,90	0,24	5,44	7734	172817
Итого:	26 433 753	4,25	112282.7	0,95	2,38	1072069	2667831

Руды месторождения по химическому составу являются комплексными. Промышленную ценность месторождения определяют медь и цинк [76]. К попутным элементам, которые представляют практический интерес при комплексном использовании руд, относятся: золото, серебро, кадмий, селен, теллур, германий. Кроме того, в концентратах обогащения руд могут накапливаться барит и свинец.

Во временных кондициях ЦКЗ Министерства металлургии СССР утверждены следующие показатели:

- минимальное промышленное содержание условной меди в подсчетном блоке - 1,80 %;
- бортовое содержание полезных компонентов: меди - 0,40 %, цинка - 1,0 %, серы - 35 %;
- минимальная мощность рудного тела, включаемая в подсчет запасов - 2 м;
- минимальная мощность отдельно выделяемого внутри рудного тела сорта руды - 10 м;
- максимальная мощность прослоев пустых пород и некондиционных руд, включаемых в подсчетный контур, - 5 м.

Технологические свойства руд Ново-Учалинского месторождения по показателям обогащения сопоставимы с рудами Учалинского месторождения. Принята валовая переработка медных, цинковых и медно-цинковых руд по коллективно-селективной схеме Учалинской обогатительной фабрики с получением медного и медно-цинкового концентрата при извлечении меди – 82,9 % и цинка - 81 % из товарной руды с содержанием меди – 0,97 % и цинка - 2,18 % [76]. Также в настоящее время при переработке руд на фабрике по данным [90,91], попутное извлечение золота и серебра достигает, соответственно, 31,5% и 45%.

На основании опыта разработки медно-колчеданных месторождений Урала высота этажа камеры по горизонтали принята 80 м. При этом абсолютные отметки горизонтов определились как: - 100; - 180; - 260; - 340; - 420; - 500; -580; - 660; - 740 м.

При моделировании отработки Ново-Учалинского месторождения были рассмотрены те же три сценария освоения месторождения, которые исследовались в 3 главе:

- А.** складирование хвостов обогащения руд в хвостохранилище Учалинского ГОКа;
- Б.** использование хвостов обогащения руд для приготовления твердеющей закладочной смеси;
- В.** кучное выщелачивание хвостов обогащения руд и использование отходов выщелачивания для приготовления закладочной смеси.

При приведении содержаний ценных компонентов к условной меди, цена металлов принималась следующей: меди - 7355 у.е./т, цинка – 1950 у.е./т, золота 38 у.е./г и серебра 0,75 у.е./г. Коэффициенты перевода ресурсной ценности цинка, золота и серебра, к ресурсной ценности меди составили, соответственно, - 0,26, 1867 и 55,3. При этом расчетное условное содержание меди в рудах Ново-Учалинского месторождения составило – 2,1%.

Производственная мощность подземного рудника, в соответствии с [83], принята равной 2,5 млн. тонн руды в год. При реализации сценария В необходимо формирование участка кучного выщелачивания. Расчетная производственная мощность участка кучного выщелачивания окомкованных хвостов обогащения руд, в соответствии с производственной мощностью подземного рудника составила 2,2 млн. т. По данным проведенных опытно-промышленных испытаний физико-химической геотехнологии сернокислотного выщелачивания хвостов обогащения руд (см.3.1) извлечение условной меди в продуктивный раствор и товарные металлы принято равным, соответственно, 65% и 90%. Для учета колебаний цен на металлы на мировых рынках, стоимость меди при моделировании варьировалась от 5,0 до 7,5 тыс. у.е./т.

Данные моделирования показали, что минимально-промышленное содержание условной меди в рудах меняется с глубиной ведения горных работ (рис.4.2) и расходится с принятыми на месторождении кондициях. Это обусловлено тем, что при увеличении глубины ведения горных работ на 80 м себестоимость добычи руд на Ново-Учалинском месторождении растет на 3,5%. Поэтому, при разработке Ново-Учалинского месторождения, необходимо учитывать изменение минерального состава руд и затрат при увеличении глубины ведения горных работ.

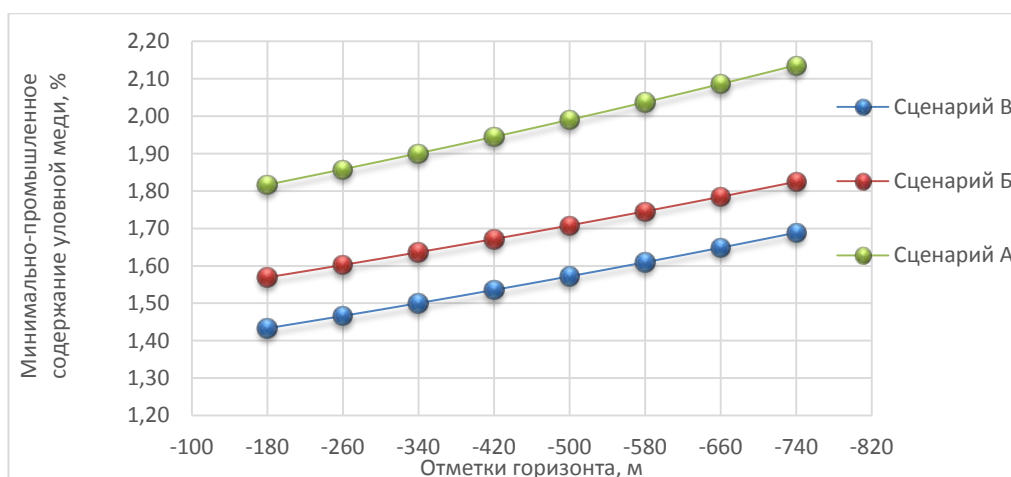


Рисунок 4.2 - Изменение величины минимально-промышленного содержания условной меди на различных отметках горизонта при производственной мощности 2,5 млн. т/год и стоимости меди 7000 у.е./т.

Так, минимально-промышленное содержание условной меди в добываемых рудах на горизонте -420 м при развитии сценария А составило 1,95%, сценария Б – 1,67%, сценария В – 1,54%. На графике видно (рис.4.2), что использование хвостов обогащения руд для закладки выработанного пространства (сценарий Б) позволяет снизить α_{min}^p на ~14%. Предварительное кучное выщелачивание хвостов обогащения руд и утилизации отходов выщелачивания в выработанном пространстве подземных камер (сценарий В) позволяет снизить α_{min}^p на ~22% относительно величины α_{min}^p базового сценария А. Важно отметить, что при цене меди 7,0 тыс. у.е./т и развитии сценария А, вовлечение руд в эксплуатацию на отметке горизонта -740 м является экономически нецелесообразным, т.к. среднее содержание условной меди меньше α_{min}^p . Только лишь вовлечение техногенного сырья в эксплуатацию (сценарии Б и В), позволяют включить запасы руд на горизонте -740 м в объеме 6 млн. тонн в категории балансовых.

При стоимости меди 6,5 тыс. у.е./т значения α_{min}^p для сценариев А и Б растут в среднем на 7,7%, а для сценария В – на 9,5%. Большее снижение α_{min}^p объясняется тем, что чем меньше цена металлов, тем ниже влияние физико-химической геотехнологии на минимально-промышленное содержание металлов в руде. Это обусловлено тем, что при снижении стоимости металлов, прибыль от реализации товарной продукции с участка

кучного выщелачивания хвостов обогащения руд (Π_T) снижается и, соответственно, уменьшается ее влияние на величину минимально-промышленного содержания условной меди в руде. Важно отметить, что развитие сценария А возможно лишь до горизонта -420 м (рис.4.3-а), т.к. понесенные затраты на добычу и переработку руд превышают их извлекаемую ценность.

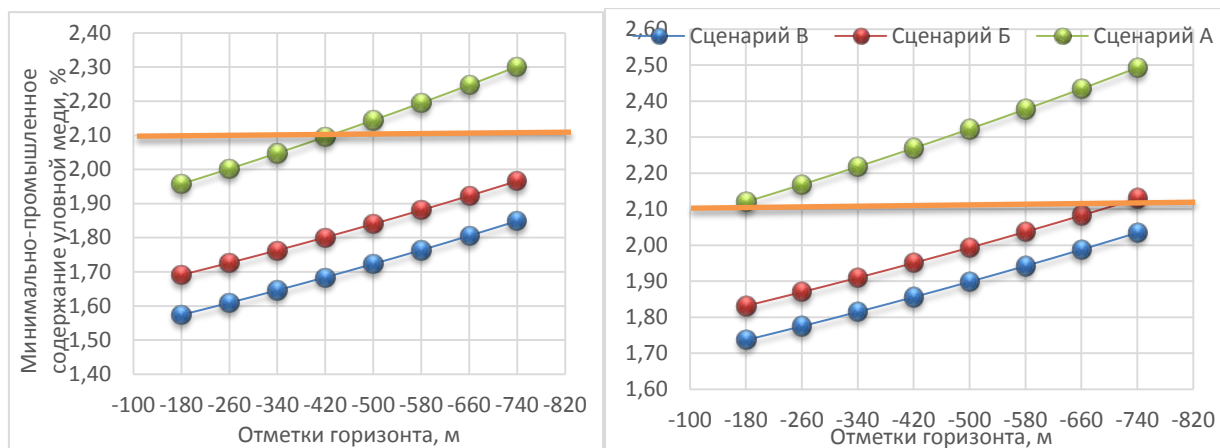


Рисунок 4.3 – Изменение α_{min}^p на различных отметках горизонта при развитии сценариев А, Б и В при стоимости меди: а – 6500 у.е.; б – 6000 тыс. у.е.

При моделировании было установлено, что падение цены меди до 6,0 тыс у.е./т, приводит к неэффективности развития сценария А (базовый). Для сценария Б, в категорию забалансовых попадают руды на горизонте -740м, а для сценария В все запасы руд отвечают требованиям α_{min}^p (рис.4.3.-б). Это обусловлено тем, что сценарий А, Б и В характеризуется разными технико-экономическими показателями. Например, себестоимость добычи руд на горизонте -420 м для сценария А составляет ~ 1130 руб/т, для сценариев Б и В – 904 руб/т. Однако развитие сценария В, при цене меди 6,0 тыс у.е./т, позволяет дополнительно получать прибыль от реализации товарной продукции с участка кучного выщелачивания в размере ~67 руб. в пересчете на 1 тонну руды.

Важно отметить, что при снижении цены меди до 5,0 тыс. у.е./т, развитие всех трех сценариев является экономически нецелесообразным, т.к. расчетные значения α_{min}^p больше фактического содержания условной меди в руде.

Расчётное содержание условной меди в хвостах обогащения руд составило 0,29%. В главе 3 доказана возможность эффективного вовлечения текущих хвостов обогащения руд в промышленную эксплуатацию методом кучного сернокислотного выщелачивания. При годовой производственной мощности участка кучного выщелачивания 2,2 млн. т, расчетное минимальное содержание условной меди (α_{min}^T) в хвостах обогащения составит 0,195% при цене меди 7,0 тыс.у.е./т; 0,21% - 6,5 тыс. у.е./т.; 0,23% - 6,0 тыс. у.е.; 0,25% - 5,5 тыс. у.е./т; 0,28% - 5,0 тыс. у.е./т.

Вышеописанное наглядно показывает, что наиболее низкие требования к качеству руд устанавливаются при развитии сценария В, что позволяет рекомендовать вовлечение в эксплуатацию хвостов обогащения руд методом кучного выщелачивания с обязательной утилизацией отходов в выработанном пространстве подземных камер. Это возможно при цене меди не ниже 5,5 тыс. у.е./т.

При текущем уровне цен на металлы (медь – 7200 у.е./т, цинк – 2050 у.е./т, золото – 41 у.е./г, серебро – 0,68 у.е./г), сложившимся в начале 2014 г., наиболее эффективным для освоения Ново-Учалинского месторождения является сценарий В, предполагающий кучное выщелачивание окомкованных хвостов обогащения руд и утилизацию отходов выщелачивания в выработанном пространстве подземных камер в виде твердеющей закладочной смеси. Однако, данный вариант сопровождается ростом капитальных затрат на освоение месторождения и требует экономической оценки.

4.2. Оценка экономической эффективности предлагаемой технологической схемы

Предлагаемая технологическая схема освоения Ново-Учалинского месторождения по сценарию В включает в себя четыре этапа. На первом этапе производится непосредственно вскрытие запасов месторождения с использованием существующих выработок Учалинского подземного рудника. По мере завершения капитальных работ начинается второй этап, предполагающий отработку руд на верхних горизонтах и сброс хвостов обогащения руд в хвостохранилище. Второй этап длится до момента

окупаемости понесенных капитальных затрат на строительство рудника. Далее, прибыль, полученная от освоения месторождения, вкладывается в строительство комплекса по сгущению хвостов обогащения руд. В момент, когда начинается закладка выработанного пространства твердеющей смесью на основе хвостов обогащения руд, начинается третий этап. В этот момент капитальные затраты на строительство комплекса должны полностью окупиться для начала строительства гидрометаллургического комплекса и площадки по кучному выщелачиванию хвостов обогащения руд. На момент окончания строительства комплекса по переработке растворов, начинается завершающий четвертый этап.

Разделение по этапам необходимо с целью снижения капитальных затрат и объемов заемных кредитных средств. Это позволит снизить долговую нагрузку на предприятие на начальном этапе строительства рудника и в дальнейшем более эффективно управлять финансовыми потоками с целью снижения налогооблагаемой базы.

Распределение запасов руд по горизонтам представлено в табл.4.2.

Таблица 4.2 - Распределение запасов руд Ново-Учалинского месторождения по горизонтам

Горизонт	Балансовые запасы руд, млн. т	Весовой объем руды на обогащение, тыс. т	Запасы меди из колчеданных руд, тыс. т	Запасы цинка из колчеданных руд, тыс. т
-100	0	0	0	0
-180	5393,1	5510,1	51,2	117,56958
-260	17553	17933,9	166,8	382,6554
-340	18889,53	19299,4	179,5	411,79175
-420	17989,03	18379,4	170,9	392,16085
-500	17622	18004,4	167,4	384,1596
-580	13244	13531,4	125,8	288,7192
660	8247	8426,0	78,3	179,7846
-740	7181	7336,8	68,2	156,5458
Всего	106118,7	108421,4	1008,1	2313,4

В соответствии с установленными требованиями к качеству руд и техногенного сырья была произведена оценка экономической эффективности предлагаемой технологической схемы. Динамика финансовых потоков рудника за весь срок освоения представлена на рис.4.4.



Рисунок 4.4 – Динамика финансовых потоков от освоения Ново-Учалинского месторождения при кучном выщелачивании хвостов обогащения руд и утилизации отходов выщелачивания в виде закладочной смеси

Расчетами, представленными на рис.4.4., установлено, что общий срок существования рудника составит 54 года. Срок окупаемости капитальных затрат, осуществленных на этапе строительства рудника, составляет 10 лет. Объем капитальных затрат на первом этапе – 8,1 млрд. руб. Прибыль, полученная на 11 год существования рудника, аккумулируется и вкладывается по мере накопления в строительство комплекса сгущения хвостов обогащения руд с целью приготовления закладочных смесей на основе хвостов. На 13 год начинается строительство гидрометаллургического комплекса и площадки кучного выщелачивания хвостов обогащения руд.

Общий объем капитальных вложений за весь срок существования рудника составит 10,36 млрд. руб. Чистая прибыль от освоения Ново-Учалинского месторождения по предлагаемому сценарию составит 74,5 млрд. руб., что на 29,2 млрд. руб. больше, чем в варианте, предложенном институтом «Унипромедь». Экономический эффект достигается за счет снижения себестоимости закладочной смеси, приготовленной основе отходов выщелачивания, а также прибыли от реализации товарной продукции с участка кучного выщелачивания. Среднее минимально-промышленное содержание условной меди в руде составит 1,46%, что на 0,34% меньше, чем в принятых кондициях по Ново-Учалинскому месторождению.

Выводы по 4 главе:

1. Реализация методики для условий Ново-Учалинского медно-колчеданного месторождения позволила обосновать возможность снижения минимально-промышленного содержания условной меди в рудах на 14 % при утилизации хвостов обогащения в закладке и на 22 % в случае дополнительного извлечения из них металлов кучным выщелачиванием и последующей утилизации отходов в закладке.
2. Определено, что наиболее низкие требования к качеству руд устанавливаются при развитии сценария В, что позволяет рекомендовать вовлечение в эксплуатацию хвостов обогащения руд методом кучного выщелачивания с обязательной утилизацией отходов в выработанном пространстве подземных камер. Это возможно при цене меди не ниже 5,5 тыс. у.е./т.
3. Расчеты показали, что вовлечение текущих хвостов обогащения руд в эксплуатацию методом кучного сернокислотного выщелачивания и утилизация отходов выщелачивания в выработанном пространстве подземных камер позволит получить дополнительный экономический эффект от освоения Ново-Учалинского месторождения в размере 29,2 млрд. руб. Экономический эффект достигается за счет снижения себестоимости приготовления закладочной смеси и полученной прибыли от реализации товарных металлов с участка кучного выщелачивания хвостов обогащения медно-колчеданных руд.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся законченной квалификационной работой, дано решение актуальной научно-технической задачи – предложена новая методика обоснования требований к качеству природного и техногенного сырья при полном цикле комплексного освоения медно-колчеданных месторождений, которая позволяет дифференцировать минимально-промышленное содержание металлов в добываемых запасах по видам применяемых геотехнологий.

Основные результаты проведенных исследований заключаются в следующем:

1. На основе анализа опыта разработки медно-колчеданных месторождений и технологических решений по использованию природного и техногенного сырья в полном цикле комплексного освоения месторождений многокомпонентных руд произведена дифференциация требований к качеству вовлекаемого в эксплуатацию минерального сырья в зависимости от его вида, качественных и количественных характеристик и технологии утилизации отходов.
2. Доказано, что при полном цикле комплексного освоения медно-колчеданных месторождений требования к качеству природного и техногенного сырья должны быть дифференцированы по видам применяемых геотехнологий. Так, при освоении крутопадающего медно-колчеданного месторождения с глубиной залегания руд 450 м, мощностью залежи 80 м, среднем содержании условной меди в руде 1,55% этажно-камерной системой разработки с твердеющей закладкой без использования хвостов обогащения для приготовления закладочной смеси при годовой производственной мощности рудника 2 млн. т минимально-промышленное содержание условной меди в руде составляет 1,6%; при использовании отходов обогащения для закладки выработанного пространства оно составляет 1,38%; в случае доизвлечения выщелачиванием металлов из хвостов обогащения руд α_{min}^P снижается до 1,3%, при этом содержание условной меди в хвостах должно быть не менее 0,18%.
3. Установлено, что при обосновании минимально-промышленного содержания металлов в запасах руд при полном цикле комплексного освоения месторождений много-компонентных руд необходимо учитывать экономический эффект от эксплуатации техногенного сырья. Использование хвостов обогащения руд для закладки выработанного пространства позволяет

снизить минимальное промышленное содержание в извлекаемых запасах на 8 – 14% в зависимости от производственной мощности рудника, глубины ведения горных работ, среднего содержания металлов в руде; при этом извлечение физико-химической геотехнологией металлов из хвостов дополнительно снижает минимальное промышленное содержание металлов в руде до 26% в зависимости от цены металлов и уровня их извлечения из хвостов.

4. Доказано, что включение в полный цикл комплексного освоения медно-колчеданных месторождений подсистемы формирования и эксплуатации техногенных образований целесообразно при содержании металлов в хвостах выше значения, определяемого показательной функцией $\alpha_{min}^T = b \cdot k_1^{\alpha^П} \cdot k_2^{\alpha^Ц} \cdot k_3^{\alpha^Р} \cdot k_4^{\alpha^Т}$, где $b=2,2361$, $k_1=1,0469$, $k_2=0,8141$, $k_3=0,8884$ и $k_4=0,9865$ – постоянные, установленные множественной регрессией.

5. Установлены зависимости минимально-промышленного содержания условной меди при разной степени полноты и комплексности освоения медно-колчеданного месторождения от глубины ведения горных работ, производственной мощности подземного рудника, содержания металлов в руде, стоимости металлов и уровня их извлечения из техногенного сырья. Наибольшее влияние на величину α_{min}^P из технологических факторов, оказывает производственная мощность рудника: ее увеличение на 0,5 млн. т в год приводит к снижению α_{min}^P на 1,2-1,4%. Из геологических факторов наибольшее влияние оказывает среднее содержание металлов в руде: ее увеличение с 0,5% до 3% позволяет снизить α_{min}^P на 31%.

6. Разработана методика обоснования требований к качеству природного и техногенного сырья при проектировании полного цикла комплексного освоения месторождения многокомпонентных руд, отличающаяся учетом экономического эффекта от утилизации техногенного сырья образующегося в процессе добычи и переработки руд, и кондиционного техногенного сырья. Реализация методики для условий Ново-Учалинского медно-колчеданного месторождения позволила обосновать возможность снижения минимально-промышленного содержания условной меди в рудах на 14 % при утилизации хвостов обогащения в закладке и на 22 % в случае дополнительного извлечения из них металлов кучным выщелачиванием и последующей утилизации в закладке.

Библиографический список

1. Абдрахманов, И.А. Обоснование технологии комплексного освоения медно-колчеданных месторождений Учалинского и Узельгинского рудных полей: Дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.22 / И.А. Абдрахманов. - Магнитогорск, 2006. – 172 с.
2. Аверьянов, К.А. Обоснование технологий активной утилизации техногенного сырья при проектировании комплексного освоения медно-колчеданных месторождений Урала: Дисс. канд. техн. наук. – Магнитогорск, 2012. – 172 с.
3. Агошков, М.И. Параметры кондиций на полезные ископаемые в процессе разработки месторождений / М.И. Агошков, З.А. Терпогосов, В.Г. Шитарев. // Горный журнал. - №7. - 1982. С. 38-40.
4. Ангелов, В.А. Обоснование способов подготовки техногенного сырья для эффективного использования при комплексном освоении медно-колчеданных месторождений: Дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.22 / В.А. Ангелов. - Магнитогорск, 2012. – 175 с.
5. Ангелова, Е.И. Выбор способа интенсификации процессов выщелачивания ценных компонентов при комплексном освоении медно-колчеданных месторождений: Дисс. канд. техн. наук. – Магнитогорск, 2013. – 175 с.
6. Аренс, В.Ж. Скважинная гидродобыча полезных ископаемых (геотехнология) / Аренс, В.Ж. // – М.: Недра, 1986. – 279 с.
7. Биишев, Л.З. Разработка эффективной технологии открытой отработки пиритсодержащих хвостохранилищ: Дисс. ... канд. техн. наук. / Л.З. Биишев. – Челябинск, 2000. – 174 с.
8. Быбочкин, А.М. Принципы определения предельных содержаний рассеянных элементов для подсчета их запасов в комплексных рудах /Быбочкин А.М., Сечевица А.М., Буриков Е.В.//Разведка и охрана недр, 1975, №11. – С. 16-22.
9. В.Г. Шитарев. К оценке качества рудного минерального сырья. Направления совершенствования производственных процессов и оборудования при открытой разработке месторождений // АН СССР. Сектор физико-технических горных проблем Ордена Ленина Института физики Земли О.Ю. Шмидта. М.- 1975. С.- 67-77.
10. Виноградов, В.Н. Промышленная оценка рассеянных элементов в комплексных рудах. – М.: Недра, 1972. – 150с.
11. Габитов, Р.М. Управление параметрами и технологиями формирования отвалов на ограниченных площадях: Учеб. пособие. Магнитогорск: МГМА, 1995. – 100 с.
12. Геологическая служба и развитие минерально-сырьевой базы / под ред. А.Н. Кривцова, Н.Ф. Мигачева, Г.В. Пучкина. – М.: Недра, 1993. – 618 с.

13. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2001 г. / Гл. ред. П.В. Садовник. – М.: ВНИИГеосистем, 2002. – 242 с.
14. Грачев, Ф.Г. Теория и практика усреднения качества минерального сырья / Ф.Г. Грачев. - М: Недра, 1983.
15. Дергачев, А. Л. Финансово-экономическая оценка минеральных месторождений / Дергачев А. Л., Хилл Дж., Казаченко Л.Д. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 176 с.
16. Изыскание технологии комплексного освоения рудных месторождений с активной утилизацией некондиционного сырья / Отчет о НИР // Магнитогорск: ЗАО «Маггеоэксперт». - 2012. 362 с.
17. Исследование возможностей вовлечения во вторичную переработку старогодних хвостов обогатительной фабрики ЗАО «Бурибаевский ГОК» / Отчет НИР. – Екатеринбург: ООО «ТАИЛС КО». - 2005. 42 с.
18. Исследование параметров и режимов технологии выщелачивания техногенных отходов Бурибаевского ГОКа: Отчет о НИР / Магнитогорск, 2005. – 205 с.
19. Исследование процессов выщелачивания ценных компонентов из текущих хвостов обогащения медно-колчеданных руд / Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Милкин Д.А. и др.// - Москва, ГИАБ, 2009. (отдано в печать).
20. Исследование технологии выщелачивания отходов добычи руд / В. П. Красавин, Д. Н. Радченко, А. М. Пешков и др. // Недропользование - XXI век. – 2009. - №3. С. 38 – 41.
21. К проблеме рационального использования недр. М., ротاپринт ИПКОН АН СССР, 1979. – 248 с.
22. Каплунов, Д.Р. Обоснование полного цикла комплексного освоения недр при разработке месторождений твердых полезных ископаемых / Каплунов Д.Р., Радченко Д.Н. // ГИАБ. 2011. Отдельный выпуск №1. Труды научного симпозиума «Неделя горняка – 2011». С.447-455.
23. Каплунов, Д.Р. Проектирование комплексного освоения медно-колчеданных месторождений комбинированной геотехнологией в расширенном цикле производственных процессов / Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Илимбетов А.Ф. // ГИАБ. - 2007. - №7. - С.268-277.
24. Каплунов, Д.Р. Развитие теории проектирования и реализация идей комплексного освоения недр / Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова // ГИАБ. М., изд. МГГУ, № 4, 2008.- с.20-41.
25. Каплунов, Д.Р. Систематизация и типизация горно-технических систем комбинированной геотехнологии / Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Корнеев С.А. // ГИАБ. М., изд. МГГУ, № 11, 2010.- с.194-205.
26. Каплунов, Д.Р. Стабилизация качества руды при подземной добыче / Д.Р. Каплунов. М.: Недра, 1983. – С. 236.
27. Каплунов, Д.Р. Условия формирования горнотехнических систем с единым технологическим пространством при комбинированной геотехнологии / Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. // М.: ГИАБ. 2004. №3. С.5-9.

28. Кожиев, Х.Х. Рудничные системы управления качеством минерального сырья. – 2-е изд., стер. / Кожиев Х.Х., Ломоносов Г.Г. // – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2008. С. -18.
29. Комбинированные процессы переработки руд цветных металлов/ С. И. Митрофанов и др. – М.: Недра, 1984.
30. Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья. Ин- проблем комплексного освоения недр РАН / Трубецкой К.Н., Чантурия В.А., Каплунов Д.Р. и др. // – М.: Наука, 2010. – 437 с.
31. Коногоров, Н. Расточительное обогащение / Н. Коногоров // Металлы Евразии. – 2001. №5. – С 56-59.
32. Корнеев, С.А. Обоснование параметров рудопотоков при освоении медно-колчеданных месторождений комбинированной геотехнологией: Дисс. ... канд. техн. наук. – Магнитогорск, 2005. – С. 89.
33. Корнеев, Ю.В. Обоснование условий применения передвижных закладочных комплексов при подземной разработке медно-колчеданных месторождений: Дисс. ... канд. техн. наук. – Москва, 2013. – 128 с.
34. Красавин, А.В. Разработка методики математического моделирования технологических схем перехода к комбинированной геотехнологии при освоении рудных месторождений: Дисс. ... канд. техн. наук. – Магнитогорск, 2005. – 170 с.
35. Кузьмин, Е.В. Основы горного дела. Учебник для ВУЗов / Кузьмин Е.В., Хайрутдинов М.М., Зенько Д.К. // - М.: ООО "АртПРИНТ+", 2007. - 472 с.
36. Ларичкин, Ф.Д. Методические особенности оценки экономической эффективности комплексного использования минерального сырья //Научно-информационный бюллетень «Север и рынок».-2000.- № 2. - Апатиты: ИЭП КНЦ РАН. –С.92-99.
37. Ларичкин, Ф.Д. Теория и практика стоимостной оценки полезных компонентов в минеральном сырье и продуктах его комплексной переработки. – М.: НП НАЭН, 2008. – 88 с.
38. Луценко, И.К. Влияние состава скальных рудовмещающих пород на эффективность процесса подземного выщелачивания / И.К. Луценко, А.А. Бурыкин, В.К. Бубнов // Атомная энергия. - 1976. – Т. 41. – Вып. 2.
39. Луценко, И.К. Физико-химические условия процесса подземного выщелачивания урана из скальных руд / И.К. Луценко, В.Г. Бахуров, Р.С. Мещерская // Атомная энергия. – 1969. – Т.27, вып.6. – С. 500-504.
40. Масленников, В.В. Новые данные по геологии Сибайского медноколчеданного месторождения / В.В. Масленников, В.А. Прокин // Ежегодник-1983. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. С. 132-135.
41. Медноколчеданные месторождения Урала. Геологическое строение / В.А. Прокин, Ф.П. Буслаев, М.И. Исмагилов и др. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. 248 с.

42. Меднорудные месторождения – типы и условия образования / Под ред. А.И. Кривцова и др. - М.: Недра, 1987. 197 с.
43. Межов, В.Н. Геолого-экономическая оценка и перспективы промышленного освоения свинцово-цинковых месторождений: Дисс. канд. геол.-минерал. наук / В.Н. Межов. – Иркутск: - 1968. 178 с.
44. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев). М.: - 2007. – 49 с.
45. Методические указания по обоснованию и расчету кондиций для подсчета запасов твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев), М., ГКЗ, 1965.
46. Милкин, Д.А. Обоснование параметров минерально-сырьевых потоков при проектировании комплексного освоения медно-колчеданных месторождений: Дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.21 / Д.А. Милкин. – Москва, 2009. – 171 с.
47. Миняев, Б.К. Разработка медно-колчеданных месторождений / Б.К. Миняев. – М.: Недра, 1980. – 232 с.
48. Митрофанов, С.И. Комбинированные методы переработки окисленных и смешанных медных руд / Митрофанов, С.И. и др. - М.: Недра, 1970. - 288 с.
49. Налоговый кодекс Российской Федерации. Часть вторая от 5 августа 2000 г. N 117-ФЗ [Электронный ресурс] URL: <http://www.rg.ru/2007/03/12/nalog-kodeks2.html> (28.02.2014)
50. Научные и экспериментальные исследования комбинированных технологий / Отчет о НИР // М ИПКОН РАН, 2007. – 141 с.
51. Небера, В.П. Сорбционная флотация металлов / В.П. Небера, П.М. Соложенкин // Развитие идей И.Н. Плаксина в области обогащения полезных ископаемых и гидрометаллургии: Тез. докл. юбилейных Плаксинских чтений. - М., 2000.-С.121-122
52. Обоснование инвестиций. ОАО «Учалинский горно-обогатительный комбинат». Подземный рудник на базе месторождения «Озерное». ФГУП «Гипроцветмет». // Том 1// М.: 2007.
53. Обоснование параметров и режима выщелачивания сырья техногенных образований, сопутствующих разработке медно-колчеданных месторождений / Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Пешков А.М. и др. // ГИАБ. - 2009. (отдано в печать).
54. Обоснование рационального порядка переходной зоны Учалинского месторождения. Проект 1991 г. 104 с.
55. Основные технические решения и предварительная технико-экономическая оценка промышленной разработки Ново-Учалинского медно-колчеданного месторождения / Учалы. – 2005. 86 с.
56. Отчет «Разработка типовых методических указаний по установлению кондиций на полезные ископаемые в процессе эксплуатации сурьмяно-ртутных месторождений Средней Азии». Этап 1 / Н.В. Дронов и др. – Фрунзе: ИФиМГП АН Кирг.ССР., 1978.

57. Отчет о научно-исследовательской работе «Обоснование способа вскрытия и технологии разработки Ново-Учалинского месторождения Учалинского ГОКа» / Москва. – 2007. 120 с.
58. Отчет о НИР «Анализ существующих методов по установлению кондиций на горных предприятиях» / З.А. Терпогосов, О.П. Тарасюк, А.А. Гусев и др. - М.: ИПКОН АН СССР, 1977.
59. Отчет по научно-исследовательской работе «Проведение научно-методического сопровождения опытно-промышленной апробации технологии выщелачивания хвостов обогащения Бурибаевской обогатительной фабрики» // Научн. рук. докт. техн. наук М.В. Рыльникова/ ООО «Маггеопроект», Магнитогорск. -2006 г. -46 с.
60. Отчет по НИР № 15-25 «Обоснование режимов и параметров технологии переработки комплексных продуктивных растворов выщелачивания некондиционных руд и хвостов обогащения» / Московский государственный технологический университет МИСиС. - 2006.
61. Перспективы развития Узельгинского подземного рудника / А.Е. Белоусов, А.Д. Зубков, И.Б. Мельников и др. // Горный журнал, 2004. №6. С. 45-47.
62. Пешков, А.М. Исследование влияния геологических, экономических и технологических факторов на требования к качеству природного и техногенного сырья при разработке рудных месторождений в полном цикле / 7-я международная конференция. Комбинированная геотехнология: масштабы добычи и качество сырья при комплексном освоении месторождений. Магнитогорск, 2013. С.55-57.
63. Пешков, А.М. Исследования влияния качественных характеристик медно-колчеданных руд на выбор стратегии комплексного освоения месторождения / А.М. Пешков // Проблемы освоения недр в XXI век глазами молодых. – М: УРАН ИПКОН РАН, 2012 – с. 199-201.
64. Пешков, А.М. Формирование требований к качеству природного и техногенного минерального сырья при комплексном освоении рудных месторождений. // Проблемы проектирования технологии подземной и комбинированной разработки рудных месторождений // ГИАБ: Отдельные статьи (специальный выпуск). - 2013.- №5. С. 86-96.
65. Пирожок, П.И. Новые данные о генезисе Учалинского месторождения / П.И. Пирожок, А.Г. Злотник-Хоткевич // - Доклады СССР. - 1978. - Т.242. - №2. - С. 390-393.
66. Протокол ГКЗ СССР №2087-к от 11 декабря 1985 г.
67. Пшеничный, Г.Н. Ново-Учалинское медно-цинково-колчеданное месторождение Южного Урала / Пшеничный Г.Н., Волькинштейн М.Я., Николайченко Ю.С. и др. Уфа: УНЦ РАН, 1999. 395 с.
68. Пшеничный, Г.Н. Текстуры, структуры и вопросы генезиса руд Учалинского колчеданного месторождения / Пшеничный Г.Н. / БНЦ Уро РАН. Уфа, 1999. С. 35-48.

69. Радченко, Д.Н. Исследования технологии кучного выщелачивания меди из хвостов обогащения медно-цинковых руд // Комбинированная геотехнология: Развитие способов добычи и безопасность горных работ: Материалы 2 Международной конференции. – Магнитогорск, 2003. – С.60-62.
70. Радченко, Д.Н. Разработка комбинированной геотехнологии освоения месторождений медно-колчеданных руд с комплексным использованием отходов их переработки // Дисс. на соиск. научн. ст. канд. техн. наук. - Магнитогорск 2004 г. - с. 155.
71. Разработка и исследование экологически безопасных физико-химических геотехнологий комплексного освоения медно-колчеданных месторождений и сопутствующих техногенных образований: Отчет о НИР / УРАН ИПКОН РАН, 2008. – 228 с.
72. Разработка рационального состава закладочной смеси и обоснование режимов формирования искусственного массива на основе известняка Юлдашевского месторождения и текущих хвостов обогатительной фабрики: Отчет по НИР / - Магнитогорск: ООО «Маггеопроект», 2008. – 109 с.
73. Раппопорт М.С. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы Урала / М.С. Раппопорт // Известия ВУЗов. Горное образование. – 2000. - №3. – С. 37 – 64.
74. Рахимов, В.Р. Экономические подходы к обоснованию кондиций эксплуатируемых месторождений в условиях рыночных отношений / Рахимов В.Р., Алимходжаев С.Р. // Геология и минеральные ресурсы, № 4. Ташкент, 1999.
75. Резниченко, С.С. Основы теории оптимизации кондиций на руду при проектировании и эксплуатации карьеров: Дисс. ... д-ра. техн. наук / С.С. Резниченко. – М., 1977.
76. Республика Башкортостан. Медно-колчеданные руды. Ново-Учалинское месторождение [Электронный ресурс] URL: <http://www.bashnedra.ru/contests-auct/158/> (28.02.2014)
77. Рура, Д.Н. О промышленном минимуме и промышленной руде / Д.Н. Рура // Колыма. – 1966. - №7. - С. 14-19.
78. Рыльникова, М.В. Изыскание технологической схемы освоения месторождения «Озерное» комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологией / М.В. Рыльникова, А.М. Пешков // Проблемы освоения недр в XXI век глазами молодых. – М: УРАН ИПКОН РАН, 2008. – 364 с.
79. Рыльникова, М.В. Комплексное освоение месторождений полезных ископаемых: Учебное пособие. / М.В. Рыльникова, Д.Н. Радченко, Г.А. Матюшенко // – Магнитогорск: Изд-во ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2009. С.19.
80. Рыльникова, М.В. Конструирование и типизация горнотехнических систем при комбинированной разработке рудных месторождений / Рыльникова М.В., Корнеев С.А. // Недропользование - XXI век. – 2008. - №5. - С. 78 – 85.

81. Рыльникова, М.В. Обоснование требований к качеству природного и техногенного минерального сырья при комплексном освоении месторождений / М.В. Рыльникова, А.М. Пешков // ГИАБ. – 2011. - №1. - С.58-64.
82. Секисов, Г.В. Академическая наука – горное производство. Круглый стол // Горный журнал. – 1991. - №4. - С. 7-9.
83. Серавкин, И.В. Учалинское медно-цинково-колчеданное месторождение Уральского типа/ И.В. Серавкин и др. Уфа: БНЦ УрО РАН, 1992. 175 с.
84. Сечевица, А.М. Геолого-промышленная оценка попутных полезных ископаемых в комплексных рудных месторождениях. М.: Недра, 1987. – 128 с.
85. Сибайское месторождение / Прокин В.А., Болотин Ю.А., Масленников В.В. и др. // Медноколчеданные месторождения Урала: Геологическое строение. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. С. 94-109.
86. Скважинная гидродобыча полезных ископаемых / Аренс В.Ж., Бабичев Н.И., Башкатов А.Д. и др. // – М.: Издательство «Горная книга». - 2007. - С. 90.
87. Скважинное подземное выщелачивание меди / А.И Заболоцкий, Т.И. Ситникова, И.Э. Яценко и др. // Горная промышленность. – 2008 - №5. - С. 17-21.
88. Смирнов, А.А. О динамических кондициях для подсчета запасов рудных полезных ископаемых. Недропользование - XXI век, 2009, №4. С. 31 – 34.
89. Совершенствование методов рационального извлечения запасов полезных ископаемых из недр при подземной разработке месторождений / ротапринт ИПКОН АН СССР. М., – 1978. – 191 с.
90. Совершенствование техники и технологии на Учалинской обогатительной фабрике в период 2000-2008 гг. / Абдрахманов И.А., Ягудин Р.А., Зимин В.А., Арустамян В.А., Калинин Е.В. // Горный журнал. Специальный выпуск. – 2008. С. 78-82.
91. Совершенствование технологии флотации руд на Обогажительной фабрике ОАО «Учалинский ГОК» / Ягудин Р.А., Ягудина Ю.Р., Зимин А.В., Немчинова Л.А. // Горный журнал. Специальный выпуск. – 2008. С. 31-35.
92. Старостин Е.В. Обоснование способа подготовки массива вкрапленных медноколчеданных руд к подземному выщелачиванию при комбинированной разработке месторождений: Дисс. ... канд. техн. наук. – Магнитогорск, 2009. – С. 134-135.
93. Структурный и магматический контроль колчеданного оруденения Башкирии / П.Ф. Сопко, А.С. Бобохов, И.Б. Серавкин и др. М.: Наука, 1975. 226 с.
94. Типовые методические положения применения кондиций на твердые полезные ископаемые в процессе разработки месторождений // Под ред. М.И. Агошкова и др. ИПКОН АН СССР, М., - 1983. - 39 с.
95. Трубецкой, К.Н. Классификация техногенных месторождений и основные факторы их комплексного использования / Трубецкой К.Н., Уманец

- В.Н., Никитин М.Б. // Комплексное использование минерального сырья. – 1987. – №12. – С.18-23.
96. Трубецкой, К.Н. Обоснование объемов и сроков освоения техногенных месторождений / К.Н. Трубецкой, Е.И. Рогов, В.Н. Уманец // Горный журнал. – 1988. – С. 9-12.
97. Трубецкой, К.Н. Параметры кондиций на минеральное сырье техногенных месторождений и их технико-экономическое обоснование / К.Н. Трубецкой, З.А. Терпогосов, В.Г. Шитарев // Горный журнал, №3, 1994. М. С. 44-48.
98. Трубецкой, К.Н. Проектирование карьеров: Учеб. для вузов: В 2 т. – 2-е изд., перераб. и доп. / К.Н. Трубецкой, Г.Л. Краснянский, В.В. Хронин // – М.: Издательство Академии горных наук, 2001. – Т. II. С. 303-305.
99. Уманец, В.Н. Изучение и геолого-экономическая оценка техногенных месторождений цветных металлов / В.Н. Уманец, А.В. Когут, А.З. Толумбаев // – Алма-Ата: КазНИИНТИ, 1989. 91 с.
100. Уманец, В.Н. Научно-методические основы комплексной оценки техногенных месторождений: Дисс. док. техн. наук / В.Н. Уманец. М., 1992.
101. Уманец, В.Н. Оценка качества и геометризация отходов добычи и переработки руд / Уманец В.Н., Когут А.В. // Разведка и охрана недр. – 1987. – №4. – С. 38-42.
102. Управление минерально-сырьевыми потоками в полном цикле комплексного освоения рудных месторождений / Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова, Д.Н. Радченко и др. // «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды»: труды конференции с участием иностранных ученых. В III т. Т. II. Геотехнология. – Новосибирск: Ин-т горного дела СО РАН, 2010. С.5-8.
103. Фазлуллин, М.И. К проблеме скважинного подземного выщелачивания золота / М.И. Фазлуллин, Г.И. Авдонин, Р.Н. Смирнова // М.: ГИАБ. 2008. №10. С.207-217.
104. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 158-ФЗ Интернет-ресурс [Электронный ресурс] URL: <http://www.rg.ru/2008/07/30/nalog158-dok.html>
105. Филиппов, С.А. Определение рациональной полноты извлечения балансовых запасов при разработке рудных месторождений. Недропользование - XXI век, 2006, №1. С. 61–65.
106. Филиппов, С.А. Оценка использования ресурсов при разработке месторождений твердых полезных ископаемых. Недропользование - XXI век, 2007, №1. С. 75–80.
107. Хулелидзе, К.К. Научные основы выщелачивания свинца и цинка из бедных и потерянных полиметаллических сульфидных руд: Дис. ... доктора технических наук. - Владикавказ, 2003. – 295 с.
108. Черняк, А.С. Актуальные химические проблемы физико-химической геотехнологии на пороге XXI века / А.С. Черняк, В.Ж. Аренс // ГИАБ. – 1999. – №2. – С. 31-35.

109. Шадрунова, И.В. Теоретическое и экспериментальное обоснование интенсивных низкотемпературных процессов выщелачивания некондиционных медьсодержащих георесурсов: Дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.13 / И.В. Шадрунова. - Москва, 2003. – 297 с.
110. Шестаков, В.А. Управление качеством продукции на горных предприятиях: Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – 2-е изд. – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2001. 262 с.
111. Шитарев, В.Г. Кондиции на полезные ископаемые на стадии эксплуатации месторождений / В.Г. Шитарев // Проблемы разработки месторождений твердых полезных ископаемых / АН СССР, ИПКОН. М.- 1978. С. 184-192.
112. Эффективность промышленного освоения медно-колчеданного месторождения Юбилейное в Республике Башкортостан / Г.Н. Рудой, Л.П. Лучина, Б.С. Болкисев и др. //«Проблемы и пути устойчивого развития горнодобывающих отраслей промышленности»: материалы 4-й междунар. науч.-практ. конф. - Хромтау, 2007. –С.136-139.
113. Яковлев В.Л. Основы стратегии освоения минеральных ресурсов Урала / В.Л. Яковлев, С.И. Бурыкин, Н.Л. Стахеев. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 1999. – 279 с.
114. Barr, Dr. Stochastic dynamic optimization of cut-off grade in open pit mines. Queen's University Kingston, Ontario, Canada. 2012. 105 pp.
115. Dimitrakopoulos, R., Martinez, L. A. and Ramazan, S. 2004. Optimising open pit design with simulated orebodies and Whittle Four-X: A maximum upside/minimum downside approach. In Orebody Modelling and Strategic mine Planning: Uncertainty and risk management(Eds, Dimitrakopoulos, R. and Ramazan, S.) The Australasian Institute of Mining & Metallurgy, Perth-Australia, pp. 243-248.
116. Lane, K.F. The Economic Definition of Ore, Cut-off grades in theory and practice. Second Edition. Mining Journal Books Limited London. 1997. 147 pp.
117. London Metal Exchange [Электронный ресурс] URL: Интернет-ресурс www.lme.com
118. Menabde, M, Foyland, G, Stone, P, Yeates, GA (2004) Mining schedule optimisation for conditionally simulated orebodies. In: Proceedings of the international symposium on orebody modelling and strategic mine planning: uncertainty and risk management, pp 347–523
119. Mol O. Gillies A.D.S. Cut-off grade determination for mines producing direct-shipping iron ore. Proceedings, Aus. Inst. Min. Met., 289, November/December 1984, pp.283-287.
120. Ramazan S, Dimitrakopoulos R (2007) Stochastic optimization of long-term production scheduling for open pit mines with a new integer programming formulation. Orebody modelling and strategic mine planning. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, pp 385–391
121. Taylor, H. K. Cut-off grades-some further reflections, Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, 1985, A160-216.