

*На правах рукописи*



**МИЛКИН ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ  
ПОТОКОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОМПЛЕКСНОГО  
ОСВОЕНИЯ МЕДНО-КОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

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

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

19 НОЯ 2009

**Москва - 2009**

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный горный университет» на кафедре «Технология подземной разработки рудных и нерудных месторождений»

Научный руководитель

член-корр. РАН,  
доктор технических наук, профессор  
**Каплунов Давид Родионович**

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор  
**Малкин Анатолий Степанович**

кандидат технических наук  
**Корнеев Сергей Александрович**

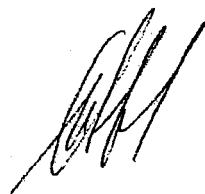
Ведущая организация: ОАО «Уралмеханобр»

Защита диссертации состоится 02 декабря 2009 г. в <sup>30</sup>14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.128.03 при Московском государственном горном университете по адресу: 119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 6.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного горного университета.

Автореферат разослан «30» октября 2009г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор технических наук, профессор



И.Н. Савич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность работы

Важнейшим направлением повышения эффективности освоения рудных месторождений является рациональное и комплексное использование минеральных ресурсов. При этом ужесточение требований повышения полноты и комплексности использования минерального сырья связаны с быстрым истощением эксплуатационных запасов в условиях постоянного роста потребления и снижения качества добываемых руд.

Так, за последние пять лет качество исходных руд на медно-колчеданных месторождениях Урала по содержанию меди снизилось на 11%, а общее содержание цветных металлов в течение последних 20 лет сократилось в 1,3-1,5 раза. Причем основная часть балансовых запасов наиболее крупных месторождений, таких как Учалинское, Молодежное, Александринское, Бурибаевское и Сибайское, уже отработана. Однако за проектным контуром горных работ в бортах и основании карьеров имеются выклинивающиеся в массиве и распределённые по периметру рудные участки. В шахтных полях не полностью отработали бедные руды и маломощные рудные залежи, отдаленные локальные рудные тела, а также запасы, расположенные в сложных горно-геологических условиях. На поверхности горных отводов и в хвостохранилищах накоплено значительное количество различных видов твердых и жидких отходов, причем динамика процесса накопления - возрастающая. Содержание ценных компонентов в техногенных образованиях сопоставимо по качеству со вновь вовлекаемыми в разработку перспективными месторождениями и свидетельствует о целесообразности рассмотрения хранилищ техногенного сырья как альтернативных источников минерально-сырьевых ресурсов с постановкой их на баланс предприятия как техногенных месторождений. На Урале имеются также резервные медно-колчеданные месторождения, которые в настоящее время не вовлечены в эксплуатацию ввиду низкого качества руд (Западно-Озерное), малых объемов запасов (Озерное), значительной глубиной залегания рудных тел (Ново-Учалинское, Подольское).

Вовлечь в эффективную разработку такие запасы природного и техногенного сырья возможно только на основе сочетания физико-технических и физико-химических геотехнологий. Применение таких технологий связано со сложностью обеспечения требуемого качества формируемых минерально-сырьевых потоков сложного вещественного состава и различного агрегатного состояния. Обоснование параметров минерально-сырьевых потоков при комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии представляет весьма актуальную задачу.

Целью работы является разработка методики выбора рациональных параметров минерально-сырьевых потоков, обеспечивающих рост эффективности комбинированной геотехнологии при разработке месторождений природного и техногенного медно-колчеданного сырья неоднородного вещественного состава.

**Идея работы** состоит в том, что существенно повысить эффективность комбинированной разработки медно-колчеданных месторождений возможно путем формирования разнородных по фазовому состоянию и вещественному составу минерально-сырьевых потоков с рациональными параметрами их количественных и качественных характеристик.

#### **Задачи исследований:**

- анализ способов управления качественно-количественными параметрами потоков минерального сырья при разработке рудных месторождений комбинированной геотехнологией;

- классификация потоков минерального сырья при сочетании физико-технических и физико-химических геотехнологий и обоснование принципов их формирования;

- разработка методики выбора рациональных параметров минерально-сырьевых потоков при комбинированной разработке медно-колчеданных месторождений;

- исследование и оптимизация параметров минерально-сырьевых потоков в различных горно-геологических, горнотехнических и экономических условиях комбинированной разработки медно-колчеданных месторождений;

- разработка технологических рекомендаций по управлению минерально-сырьевыми потоками на Ново-Учалинском месторождении медно-колчеданных руд.

Для решения поставленных задач в качестве объекта исследований была выбрана комбинированная геотехнология, базирующаяся на сочетании физико-технических и физико-химических способов добычи при комплексном освоении медно-колчеданных месторождений.

#### **Методы исследований**

В работе использован комплексный метод исследований, включающий обобщение и анализ мирового и отечественного опыта управления качественно-количественными характеристиками добываемого сырья, геолого-минералогические исследования и химический анализ твердых и жидких потоков минерального сырья, опытно-промышленные испытания геотехнологии, экономико-математическое моделирование, технико-экономический анализ, статистическую обработку результатов исследований.

#### **Положения, выносимые на защиту**

1. Повышение качества и эффективности добычи медно-колчеданного сырья с расширением номенклатуры товарной продукции обеспечивается рациональным формированием минерально-сырьевых потоков сложного вещественного состава и различного агрегатного состояния при вовлечении в разработку физико-техническими и физико-химическими геотехнологиями, наряду с кондиционными рудами, запасов бедных руд, участков, расположенных в сложных горно-геологических условиях, а также отходов обогащения и рудничных вод.

2. Включение в технологическую схему рудника процессов извлечения ценных компонентов физико-химической геотехнологией из

техногенного медно-колчеданного сырья позволяет при снижении добычи руды в пределах 30% сохранить производственную мощность предприятия по товарным металлам, продлить срок существования горнодобывающего предприятия, сократить объемы складирования отходов и снизить экологическое воздействие горных работ.

3. При формировании твердых и жидких минерально-сырьевых потоков возможное сокращение добычи руды  $\Delta D_0$  (%) при сохранении производственной мощности рудника по товарным металлам связано с проектной производительностью  $A_p$  (от 0,5 до 5 млн. т./год), содержанием меди в руде  $\alpha_p$  (от 1 до 4 %) и биржевой ценой на медь  $C$  (от 4 до 8 тыс. у.е./т) экспоненциальной зависимостью:  $\Delta D_0 = 3,997 \cdot 0,771^{\alpha_p} \cdot 1,214^{A_p} \cdot 1,181^C$ .

4. Дополнительное получение жидких минерально-сырьевых потоков в виде продуктивных растворов в результате выщелачивания бедных руд и техногенного медно-колчеданного сырья позволяет сохранить устойчивое функционирование горнодобывающего предприятия в периоды снижения цен на цветные металлы, перехода от открытых горных работ к подземным, а также на этапе затухания горных работ.

#### **Научная новизна работы:**

1. Предложена классификация минерально-сырьевых потоков при комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии по способу их формирования, вещественному составу и агрегатному состоянию, позволяющая обосновать рациональные параметры минерально-сырьевых потоков при комплексном освоении медно-колчеданных месторождений;

2. Установлены закономерности показателей качества минерально-сырьевых потоков в зависимости от объемов и состава вовлекаемого в разработку медно-колчеданного сырья, параметров комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии при разработке медно-колчеданных месторождений;

3. Разработана методика выбора рациональных параметров минерально-сырьевых потоков при комбинированной разработке медно-колчеданных месторождений, учитывающая масштаб природных и техногенных месторождений, особенности сырья, его вещественный состав, а также специфику технологических схем комбинированной геотехнологии.

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

**Практическая значимость работы** состоит в разработке нового подхода к обоснованию параметров минерально-сырьевых потоков при комбинированной геотехнологии, предусматривающего расширение минерально-сырьевой базы за счет вовлечения в промышленную

эксплуатацию низкокачественного природного и техногенного сырья в различных горно-геологических, природно-климатических и экономических условиях.

**Реализация работы.** Материалы диссертации были использованы при разработке проектных решений по освоению Ново-Учалинского медно-колчеданного месторождения, а также при разработке разделов «Временного технологического регламента комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии комплексного освоения месторождений полиметаллических руд и сопутствующих им техногенных образований» в рамках Государственного контракта № 02.525.11.5004 от 14 июня 2007 г.

**Апробация работы.** Результаты работы докладывались и обсуждались на международных конференциях «Комбинированная геотехнология: масштабы и перспективы применения» (Магнитогорск, Учалы, 2005 г.), «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (II, III и IV Международная научная школа молодых ученых и специалистов, Москва, 2005 - 2008 гг.), научном симпозиуме «Неделя горняка» (Москва, 2007 – 2009 гг.), студенческой конференции МГТУ (Москва 2005 г.), IV Международной научно-практической конференции «Комбинированная геотехнология: Развитие физико-химических способов добычи» (г. Сибай, 2007 г.), V Международной конференции «Комбинированная геотехнология: комплексное освоение и сохранение недр Земли» (Екатеринбург, 2009 г.), научно-практической конференции «Геоэкологические и инженерно-геологические проблемы развития гражданского и промышленного комплексов города Москвы» (Москва, РГГУ им. Серго Орджоникидзе, 2008 г.).

**Публикации.** Материалы диссертации опубликованы в 17 работах, в том числе 5 в 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 при поддержке грантов РФФИ № 09-05-00675-а и НШ №.2986.2008.5.

#### **Объем и структура работы**

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка из 151 наименования и представлена на 171 странице, включая 74 рисунка, 18 таблиц.

**Личный вклад автора** состоит в проведении исследований параметров минерально-сырьевых потоков и обосновании методики их выбора при комбинированной разработке медно-колчеданных месторождений.

**Автор выражает благодарность** научному руководителю - чл.-кор. РАН Д.Р. Каплунову, проф., д-ру техн. наук М.В. Рыльниковой, канд. техн. наук Д.Н. Радченко за помощь в работе над диссертацией и ценные консультации, а также сотрудникам кафедры ПРМПИ МГТУ им. Г.И. Носова и руководству Учалинского горно-обогатительного комбината за помощь при проведении лабораторных и опытно-промышленных исследований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Выполненный анализ опыта отработки месторождений комбинированным способом с применением различных технологических схем освоения месторождений показал, что в перспективных технологиях комплексного освоения минерального сырья заключены большие резервы повышения эффективности. Для условий медно-колчеданных месторождений - это сочетание физико-технических и физико-химических геотехнологий. Однако широкое промышленное применение таких технологий сдерживается отсутствием опыта проектирования физико-технических и физико-химических процессов в едином цикле комплексного освоения месторождения. Перспективы реализации таких технологий определяют необходимость по-новому подойти к вопросам проектирования горнодобывающих предприятий при их комплексном освоении. Установление закономерностей и условий формирования минерально-сырьевых потоков, а также обоснование принципов эффективного управления ими возможно на базе нового научно-методического подхода, который предусматривает расширение минерально-сырьевой базы горнодобывающих предприятий за счет включения в технологическую схему рудника уже на стадии проектных решений процессов формирования твердых и жидких потоков сырья с оптимизацией их параметров.

Вопросам разработки технических решений и методик обоснования параметров минерально-сырьевых потоков посвящены труды акад. М.И. Агошкова, Н.В. Мельникова, В.В. Ржевского, К.Н. Трубецкого, чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунова, проф. П.П. Бастана, В.К. Вороненко, Ю.В. Демидова, П.Э. Зуркова, Д.М. Казикаева, В.Н. Калмыкова, Г.Г. Ломоносова, М.Г. Новожилова, В.Н. Попова, М.В. Рьльниковой, И.Т. Слащилина, М.Ф. Шнайдера, В.А. Щелканова и др. В них отмечено, что качество добываемых георесурсов является одним из важнейших аспектов комплексного освоения минерально-сырьевой базы. Методы управления качеством добываемых руд базируются на оптимизации планов горных работ, рациональном сочетании валовой и селективной выемки, обосновании показателей процессов стабилизации, сортировки и сепарации рудной массы. Применение различных способов управления качеством рудной массы во многом определяет качественно-количественные характеристики формирующихся минерально-сырьевых потоков. В известных методиках отсутствуют решения по обоснованию рациональных параметров минерально-сырьевых потоков при комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии.

Опыт реализации и исследования процессов физико-химической геотехнологии свидетельствуют о реальной возможности и перспективах применения методов выщелачивания для повышения полноты и комплексности освоения месторождений медно-колчеданных руд. Многообразие известных технологических решений по использованию природного и техногенного сырья, позитивные предпосылки создания и реализации комбинированных физико-технических и физико-химических

геотехнологий комплексного освоения медно-колчеданных месторождений определили необходимость классификации минерально-сырьевых потоков в зависимости от их вида, особенностей генетических условий, структурного, минерального и химического состава, агрегатного состояния, определяющих направления их дальнейшей промышленной эксплуатации. Под минерально-сырьевыми потоками комбинированной геотехнологии понимаются твердые или жидкие потоки природного и техногенного сырья, предназначенные для получения горнодобывающим предприятием товарной продукции.

На рис. 1 представлена укрупненно классификация минерально-сырьевых потоков комбинированной геотехнологии. В классификации минерально-сырьевые потоки разделены на основные и вспомогательные. Основные формируют производственную мощность горно-обогатительного предприятия по товарной продукции. Это - рудопотоки и продуктивные растворы. Вспомогательные образуются в ходе утилизации отходов производства или вовлечения ранее законсервированного низкокачественного сырья и аккумулированных промышленных стоков в промышленную эксплуатацию с целью доизвлечения ценных компонентов, либо закладки выработанного пространства. Это - вскрышные породы, отходы обогащения, рудничные стоки и т.п.

В соответствии с предложенной классификацией минерально-сырьевых потоков определены варианты технологических схем их формирования и движения в горнотехнических системах комплексного освоения рудных месторождений (рис. 2). Представленная на рис. 2 схема включает в себя технологические подсистемы по извлечению балансовых запасов месторождения открытым способом системами разработки с внешним отвалообразованием и подземным способом - системами разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства, формируемой преимущественно на основе отходов горнодобывающего предприятия.

Наряду с эксплуатацией балансовых запасов месторождения физико-техническими способами добычи, в разработку методом подземного выщелачивания вовлекаются забалансовые залежи бедных руд сложного вещественного состава, методом кучного выщелачивания - бедные руды, размещенные в отвалах, и техногенные отходы горно-обогатительного производства. В качестве активного рабочего агента в процессах выщелачивания используются минерализованные рудничные стоки, имеющие кислую среду, что позволяет использовать их модификации с различными добавками в качестве растворителей ценных компонентов.

Для обоснования рациональных параметров минерально-сырьевых потоков за основу была принята исследовательская геотехнологическая модель, разработанная в УРАН ИПКОН РАН. Усовершенствование модели было направлено на учет возможности применения физико-химических геотехнологий для разработки запасов бедных руд, некондиционного сырья с установлением рациональных параметров и режимов физико-химических процессов выщелачивания и формирования закладочных массивов.

ГРУППА	ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ	АГРЕГАТНОЕ СОСТОЯНИЕ	
		ТВЕРДОЕ	ЖИДКОЕ
ОСНОВНЫЕ	ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИЕЙ	РУДНАЯ МАССА	
	ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИЕЙ		ПРОДУКТИВНЫЙ РАСТВОР
ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ	ПРИ ВСКРЫШИХ РАБОТАХ НА КАРЬЕРЕ	ВСКРЫШИЕ ПОРОДЫ	
	ПРИ ВОВЛЕЧЕНИИ В РАЗРАБОТКУ УЧАСТКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ С НИЗКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ КАЧЕСТВА	НЕКОНДИЦИОННАЯ РУДНАЯ МАССА	
	ПРИ ОТКРЫТОМ И ПОДЗЕМНОМ ВОДОУЛНВЕ		КАРЬЕРНЫЕ ВОДЫ ШАХТНЫЕ ВОДЫ
	ПРИ СОРТИРОВКЕ РУД НИЗКОГО КАЧЕСТВА	ОТХОДЫ СЕПАРАЦИИ	
	ПРИ ЗАВЕРШЕНИИ ПРОЦЕССОВ ОБОГАЩЕНИЯ НА ВЫХОДЕ С ФАБРИКИ	ПИРИТНЫЙ КОНЦЕНТРАТ ХВОСТЫ ОБОГАЩЕНИЯ	
	ПРИ ВОВЛЕЧЕНИИ В РАЗРАБОТКУ РАНЕЕ СКЛАДИРОВАННОГО ИЛИ ЗАКОНСЕРВИРОВАННОГО СЫРЬЯ	ЛЕЖАЛЫЕ    ЛЕЖАЛЫЙ ОТВАЛЬНЫЕ ПОРОДЫ БЕДНЫЕ РУДЫ ИЗ ОТВАЛОВ	
	В ПРОЦЕССЕ ГИДРОДОБЫЧИ С ЦЕЛЬЮ ДОИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ УТИЛИЗАЦИИ		ЗАТОПЛЕННЫЕ ЗАКОНСЕРВИРОВАННЫЕ
	ПРИ ДОИЗВЛЕЧЕНИИ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ МЕТОДАМИ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИИ И ИХ ОЧИСТКЕ		ПОДОТВАЛЬНЫЕ ВОДЫ РУДНИЧНЫЕ СТОКИ СТОКИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА
	ПРИ СИСТЕМАХ С ИСКУССТВЕННЫМ ПОДДЕРЖАНИЕМ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА	ПОРОДНАЯ	ЗАКЛАДОЧНАЯ СМЕСЬ ТВЕРДЕЮЩАЯ ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ

Рис. 1. Классификация минерально-сырьевых потоков при разработке медно-колчеданных месторождений комбинированной геотехнологией

Для этого на представительных объемах текущих хвостов обогащения и отвальных руд были проведены лабораторные и опытно-промышленные исследования технологии на Бурибаевском и Учалинском ГОКах. В ходе этих исследований был определен рациональный режим выщелачивания, обеспечивающий требуемый уровень извлечения ценных компонентов и качество продуктивных растворов и состоящий из трех основных технологических циклов: закисление штабеля раствором, приготовленным на основе подотвальных вод с доукреплением их по свободной серной кислоте до 10%-ной концентрации; выщелачивание штабеля подотвальными водами, доукрепленными до 2%-ной концентрации по свободной серной кислоте и модифицированными слабokonцентрированным раствором

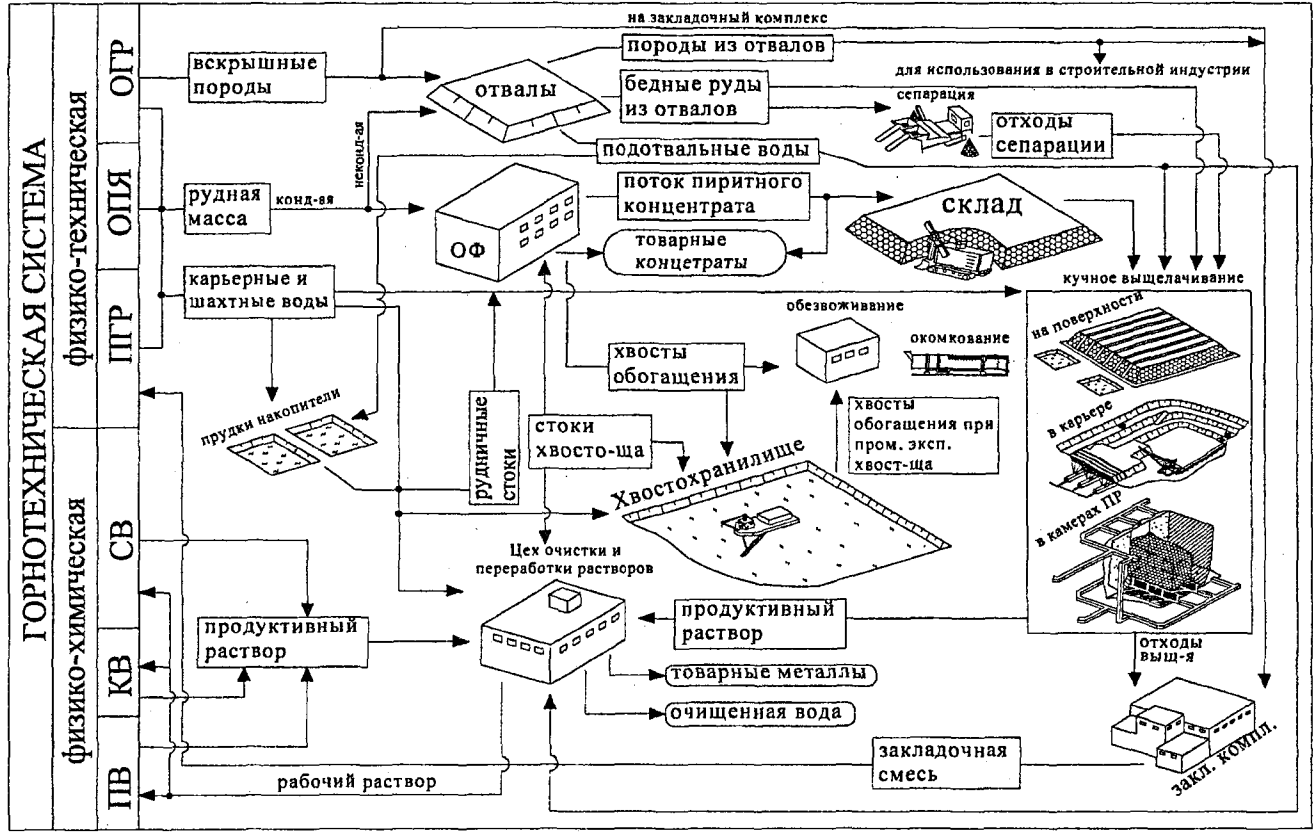


Рис. 2. Систематизация технологических схем формирования и движения минерально-сырьевых потоков при комбинированной геотехнологии

фульвокислоты (1% по массе); азрация. Анализ состава продуктивных растворов показал, что они являются комплексными, содержат широкий спектр ценных компонентов, которые целесообразно извлекать сочетанием известных гидрометаллургических способов. В условиях опытно-промышленного участка переработка продуктивных растворов осуществлялась методом цементации. Извлечение меди из продуктивных растворов составило 91,2 %. Переработка полученных на предприятиях продуктивных растворов методом экстракции производилась специалистами МИСиС в лабораторных условиях. Извлечение меди из растворов составило 98-100 %.

Анализ факторов, определяющих технико-экономические показатели физико-химической геотехнологии, показал, что наибольшее влияние оказывают: содержание меди в хвостах, исходной руде, в продуктивном растворе, производительность участков кучного выщелачивания и переработки продуктивных растворов, расход подаваемого на штабель рабочего раствора с различными концентрациями серной кислоты и модификатора (фульвокислоты), а также время выщелачивания.

Факторный анализ эксплуатационных затрат с приведением их по состоянию цен на 01.01.2008, дал возможность сформировать исходную информационную базу, обработка которой позволила определить необходимые для экономико-математической модели уравнения связи.

Себестоимость подготовки массива хвостов обогащения к кучному выщелачиванию руб/т:

$$C_{КУЧ}^{ПМ} = 116,67 \cdot 0,818^{A_n} \cdot 0,969^W \cdot 1,0039^{P_{оск}}, \quad (1)$$

где  $A_n$  - производительность цеха обезвоживания и окомкования (0,2 - 3,5) млн. т/год;  $W$  - требуемая влажность хвостов для окомкования (3 - 10) %;  $P_{оск}$  - расход вяжущего на окомкование хвостов (30 - 80) кг/т.

Себестоимость выщелачивания хвостов обогащения медно-колчеданных руд и отвалной руды мелкой фракции крупностью до -40+5 мм и фракции -250+5 мм, руб/т:

$$C_{выщ}^{фр.-40+5} = 81,82 \cdot 0,912^\alpha \cdot 0,847^{A_{выщ}} \cdot 1,04^{P_{оснито}} \cdot 1,0005^{P_{H_2SO_4}} \cdot 1,0014^{P_{инт.}} \cdot 1,0086^t, \quad (2)$$

$$C_{выщ}^{фр.-250+5} = 96,15 \cdot 0,912^\alpha \cdot 0,847^{A_{выщ}} \cdot 1,027^{P_{оснито}} \cdot 1,0005^{P_{H_2SO_4}} \cdot 1,0014^{P_{инт.}} \cdot 1,0086^t, \quad (3)$$

где  $\alpha$  - содержание меди в хвостах или руде (0,1 - 0,8) %;  $A_{выщ}$  - производительность участка кучного выщелачивания (0,2 - 3,5) млн. т в год;  $P_{H_2SO_4}$  - расход серной кислоты (30 - 400) г/дм<sup>3</sup>;  $P_{инт.}$  - расход интесификатора (фульвокислоты) (10 - 60) г/дм<sup>3</sup>;  $P_{оснито}$  - расход подаваемого на штабель раствора (1 - 12) дм<sup>3</sup>/т·сут.;  $t$  - время выщелачивания, (2 - 7) мес.

Себестоимость переработки продуктивных растворов методами цементации и экстракции, руб/дм<sup>3</sup>:

$$C_{пер.}^{цемент.} = 0,224 \cdot 0,979^{\alpha_p} \cdot 0,895^{A_n} \cdot 1,015^{P_{ср}}, \quad (4)$$

$$C_{пер.}^{экстр.} = 0,235 \cdot 0,979^{\alpha_p} \cdot 0,895^{A_n} \cdot 1,0051^{V_{св.}}, \quad (5)$$

где  $\alpha_p$  - содержание меди в продуктивном растворе (1 – 10) г/дм<sup>3</sup>;  $A_p$  - производительность цеха переработки продуктивных растворов (0,01 – 2) млн. дм<sup>3</sup>/год;  $P_{скр.}$  - расход железного скрапа, (3 – 30) г/дм<sup>3</sup>;  $V_{экс.}$  - расход экстрагента (25 – 75) мл/дм<sup>3</sup>.

Для выбора параметров минерально-сырьевых потоков комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии определена структура объемов товарной продукции и отходов горного производства (рис. 3). Так как физико-техническая геотехнология предпочтительна для добычи основных запасов руд, а физико-химическая – для сырья низкого качества, было определено долевое участие этого сырья при его эксплуатации той или иной технологией. Распределение объемов осуществлялось на основе анализа технологических показателей Учалинской обогатительной фабрики за 10 лет, а также показателей рентгенорадиометрической сепарации рудной массы на Учалинском руднике. Оценка целесообразности повышения качества рудной массы путем ее сепарации проводилась с учетом распределения качественных характеристик руд медно-колчеданных месторождений (рис. 4, а) с определением выхода и содержания меди в предконцентрате и отходах сепарации. Для оценки технико-экономических показателей физико-химической геотехнологии были определены по данным опытно-промышленных испытаний объемы продуктивных растворов, получаемых с 1 т перерабатываемого сырья (рис. 4, б).

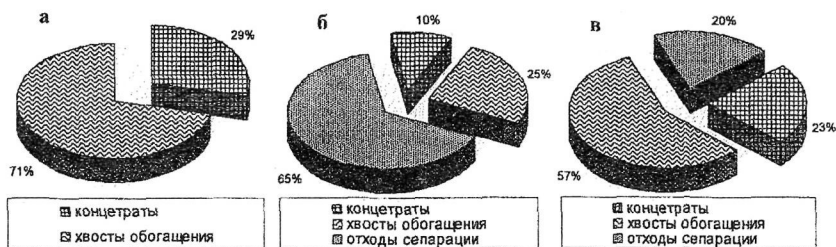


Рис. 3. Структура объемов продуктов переработки рудной массы с содержанием меди 1% - а, 0,5% - б и 0,85% - в

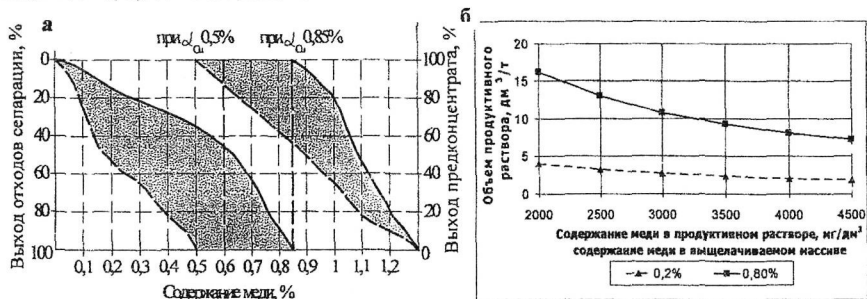


Рис. 4. Влияние содержания меди в рудной массе на изменение выхода предконцентрата и отходов сепарации (а) и удельный объем продуктивных растворов (б).



обогащения. Вовлечение их в промышленную эксплуатацию методом кучного выщелачивания при производительности рудника 1 млн. т позволяет повысить доход от разработки месторождения более чем на 6,5% за счет получения дополнительной товарной продукции в виде товарных металлов и перевода хранилищ отходов обогащения в статус «техногенных месторождений». При этом рост производительности на каждый миллион тонн влечет увеличение дохода не менее чем на 3,8%.

Следует отметить, что величина совокупного дохода от освоения месторождения комбинированной геотехнологией с выщелачиванием хвостов обогащения и утилизацией конечных отходов в выработанном пространстве подземного рудника при параллельном и последовательном порядке отличается не более чем на 3,5%. Поэтому выбор порядка освоения запасов месторождения должен осуществляться с позиции интересов инвестора с учетом времени ввода в промышленную эксплуатацию природного и техногенного минерального сырья различного качества.

Утилизация максимально возможного объема переработанных хвостов в подземном выработанном пространстве в составе закладочной смеси при последовательной схеме с производительностью рудника 1 млн. т повышает эффективность освоения месторождения на 13%. Эффект обусловлен снижением себестоимости добычи и сокращением экологических платежей. Повышение производственной мощности рудника на каждый 1 млн. т влечет дополнительный рост дохода в среднем на 5%. Параллельная схема освоения запасов позволяет повысить совокупный доход от освоения месторождения на 12,5% по сравнению с вариантом, предусматривающим отработку месторождения без формирования вспомогательных минерально-сырьевых потоков. Это объясняется тем, что максимальный объем выщелоченных хвостов обогащения, который возможно утилизировать в выработанном подземном пространстве рудника при последовательной схеме освоения запасов, составляет 40%, а при параллельной - 32%.

При моделировании оценена также эффективность вовлечения в переработку методом кучного выщелачивания отходов сепарации. Моделирование осуществлялось для условий, когда верхняя либо нижняя часть месторождения представлена бедными рудами с содержанием меди - 0,5% и долей их в общих запасах месторождения 20%. Выход предконцентрата и отходов сепарации составлял 35% и 65% (рис. 4, а), содержание в них меди - 1% и 0,29% соответственно.

В случае если бедные руды расположены в нижней части месторождения, то применение технологии сепарации нерентабельно. Это обусловлено большой глубиной залегания бедных руд и небольшим выходом предконцентрата. При расположении бедных руд в верхней части месторождения вложение затрат и получение дохода растягивается на длительное время. После ввода карьера большая часть прибыли уходит на строительство подземного рудника. В этом случае наиболее привлекательна параллельная схема с вводом в эксплуатацию подземного рудника на более богатых рудах.

Существенным резервом восполнения производственной мощности предприятия являются бедные окисленные руды, присутствующие повсеместно и, как правило, относящиеся к забалансовым запасам. В исследовательской модели была произведена оценка целесообразности вовлечения в промышленную эксплуатацию этого вида сырья. Результаты моделирования свидетельствуют, что если окисленные руды являются труднообогатимыми и расположены в верхней части месторождения в виде ореолов, выклинок, локальных рудных тел, то при цене меди 7-8 тыс. у.е./т, получаемый совокупный доход от применения подземного выщелачивания сопоставим с доходом от подземной разработки. Применение открытых горных работ эффективно только при доле некондиционных окисленных руд менее 15% от общих запасов месторождения.

Даже при незначительном падении цены на медь - до 6000 у.е., применение открытого способа разработки становится неэффективным, а подземное выщелачивание при последовательном вводе производственных мощностей в эксплуатацию наиболее привлекательно и позволяет повысить совокупный доход от освоения месторождения практически в 2 раза по сравнению с отработкой запасов системами с закладкой.

Таким образом, вовлечение в разработку комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологией, наряду с кондиционными рудами, природных и техногенных георесурсов низкого качества позволяет повысить эффективность добычи медно-колчеданного сырья с расширением номенклатуры товарной продукции.

На базе исследований влияния параметров минерально-сырьевых потоков на производственную мощность горно-обогатительных предприятий в различных экономических условиях разработана схема формирования производственной мощности предприятия (рис. 6). Количественная оценка предложенной схемы осуществлялась на основе динамического программирования, которое позволяет оптимизировать многошаговые процессы принятия решения.

С учетом изменения цен на металлы и общей тенденции роста экологических платежей за размещение отходов производства определялся объем техногенного сырья, разработка которого физико-химическими геотехнологиями обеспечивает тот же уровень доходности предприятия, что и в базовом варианте, предусматривающем отработку месторождения только физико-технической геотехнологией.

Анализ полученных зависимостей свидетельствует, что ввод в промышленную эксплуатацию техногенных георесурсов для компенсации убытков в период падения цен на медь осуществляется по экспоненциальной зависимости (рис. 7). При этом уровень доходности обеспечивается получением дополнительной товарной продукции и эколого-экономическим эффектом, связанным со снижением отчуждаемых земель под хранение отходов и ежегодных экологических платежей. При ценах меди ниже 5800 у.е./т совокупный доход от освоения месторождения с учетом эксплуатации всего объема хвостов обогащения становится меньшим, чем в базовом

варианте. Объясняется это достаточно высокими эксплуатационными затратами на разработку техногенного сырья низкого качества и относительно небольшими экологическими платежами. Рост экологических платежей в 1,55 раза позволяет обеспечить требуемый уровень совокупного дохода от освоения природного и техногенного сырья при снижении цены на медь вплоть до 5000 у.е.

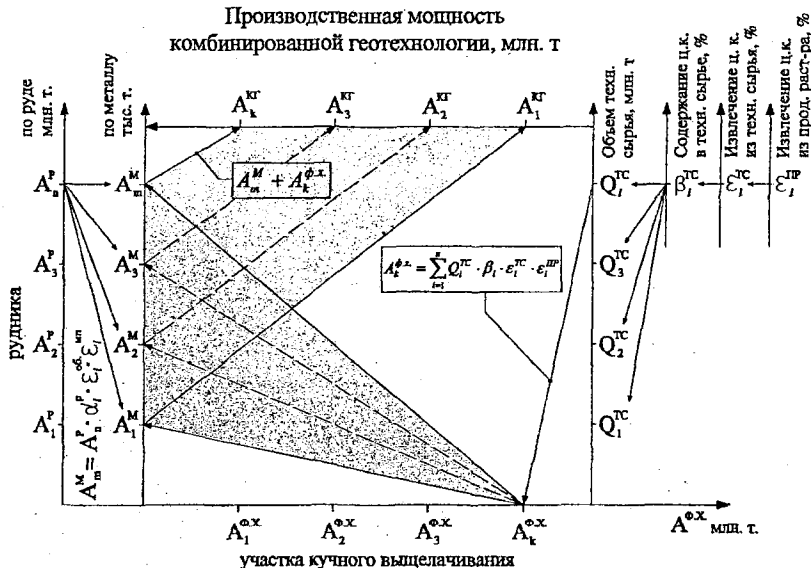


Рис. 6. Схема формирования производственной мощности предприятия при комбинированной геотехнологии

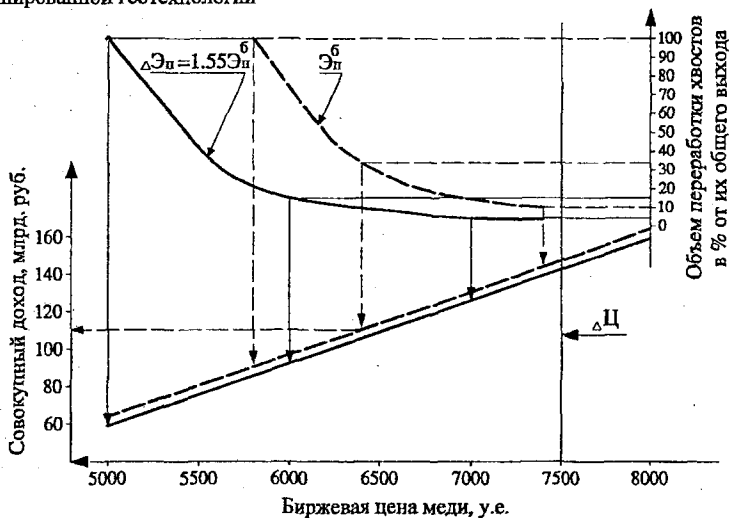


Рис. 7. Влияние цены меди и экологических платежей на объем переработки хвостов обогащения методом кучного выщелачивания

Очевидно, что при снижении цен на металлы привлекательность физико-химической геотехнологии для освоения техногенных георесурсов будет повышаться. Рост производительности физико-химической геотехнологии происходит при комплексном вовлечении в разработку всех видов техногенного сырья.

Важно отметить, что формирование минерально-сырьевых потоков различного агрегатного состояния призвано обеспечить сохранение производственной мощности предприятия по товарным металлам при снижении добычи руды, что позволяет продлить срок существования горнодобывающего предприятия и снизить экологические платежи. Расчеты, выполненные с учетом ввода в промышленную эксплуатацию максимального объема хвостов обогащения, доказали, что формирование твердых и жидких минерально-сырьевых потоков позволяет при снижении добычи руды ( $\Delta D_0$ ) в пределах 30% сохранить производственную мощность рудника по товарным металлам (рис. 8). Зависимость  $\Delta D_0$  от проектной производительности, содержания меди в руде и биржевой цены на медь имеет вид:

$$\Delta D_0 = 3,997 \cdot 0,771^{\alpha_p} \cdot 1,214^{A_p} \cdot 1,181^C, \quad (6)$$

где,  $A_p$  - проектная производительность рудника (от 0,5 до 5 млн. т/год),  $\alpha_p$  - содержание меди в руде (от 1 до 4%),  $C$  - биржевая цена на медь (от 4 до 8 тыс. у.е./т).

Многообразие вариантов технологических схем формирования минерально-сырьевых потоков при эксплуатации природного и техногенного сырья предопределило разработку алгоритма определения их рациональных параметров в различных горно-геологических и горнотехнических условиях.

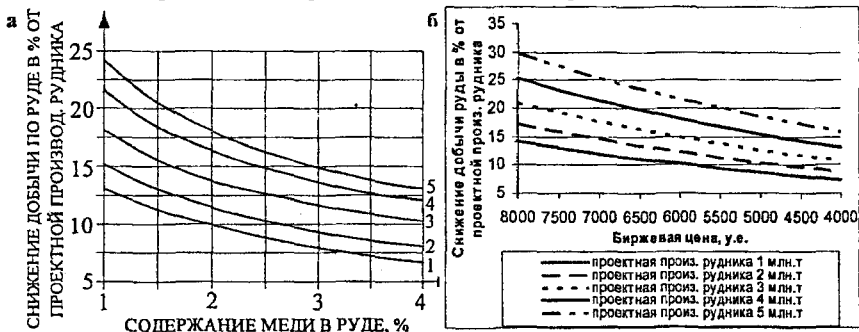


Рис. 8. Компенсация снижения добычи руды введением в эксплуатацию хвостов обогащения для сохранения производственной мощности рудника по металлу: а - в зависимости от содержания меди при проектной производительности рудника 1, 2, 3, 4 и 5 млн. т; б - от биржевой цены меди при содержании ее в руде 1%

Составленные на основе алгоритма варианты технологических схем комплексного освоения месторождений медно-колчеданных руд были заложены в качестве исходных данных в геотехнологическую модель разработки Ново-Учалинского месторождения для исследования показателей функционирования горнотехнической системы в зависимости от параметров

минерально-сырьевых потоков в изменяющихся горно-геологических и экономических условиях. Моделированием установлено, что применение селективной выемки с усреднением внутрирудничным или на внешних складах имеет преимущества по сравнению с валовой добычей. При этом доизвлечение ценных компонентов из хвостов обогащения физико-химической технологией позволяет повысить совокупный доход от освоения месторождения на 12%. Дальнейшая их утилизация в закладке выработанного пространства влечет сокращение эксплуатационных затрат в 1,2-1,3 раза и повышение эффективности освоения месторождения в 1,2 раза.

Для обеспечения устойчивого функционирования предприятия при разработке бедных рудных залежей на нижних горизонтах показана перспектива применения технологии подземного выщелачивания, которая обеспечивает сохранение роста индекса доходности.

Выполненными исследованиями показана возможность обеспечения устойчивой финансовой деятельности предприятия в различных экономических условиях, а также на этапе затухания горных работ за счет дополнительного получения жидких минерально-сырьевых потоков, формируемых при выщелачивании бедных руд и техногенного сырья.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся законченной квалификационной работой, дано решение актуальной научно-технической задачи – предложена новая методика выбора параметров минерально-сырьевых потоков при комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии, обеспечивающая повышение полноты и комплексности освоения месторождений медно-колчеданных руд и сопутствующих техногенных образований.

Основные результаты проведенных исследований заключаются в следующем:

1. На основе разработки и анализа технологических решений по использованию природного и техногенного сырья при комплексном освоении медно-колчеданных месторождений произведена классификация минерально-сырьевых потоков в зависимости от их вида, особенностей структурного, минерального и химического состава, агрегатного состояния, генезиса, которая позволяет определить направления их дальнейшего промышленного использования. Минерально-сырьевые потоки разделены на основные и вспомогательные, определены варианты возможных технологических схем их формирования и движения в горнотехнической системе комплексного освоения месторождений многокомпонентных руд.

2. Установлены в лабораторных и опытно-промышленных исследованиях рациональные параметры и режимы процесса выщелачивания техногенного сырья сложного вещественного состава. Определены степенные зависимости эксплуатационных затрат на освоение техногенных георесурсов физико-химической геотехнологией от содержания меди в хвостах, исходной руде, продуктивном растворе, производительности

участков кучного выщелачивания и переработки продуктивных растворов, расхода подаваемого на штабель рабочего раствора, а также времени выщелачивания.

3. Для обоснования рациональных параметров минерально-сырьевых потоков при комплексном освоении медно-колчеданных месторождений разработана исследовательская геотехнологическая модель. Вовлечение окомкованных хвостов обогащения в промышленную эксплуатацию методом кучного выщелачивания при производительности рудника 1 млн. т позволяет повысить эффективность разработки месторождения на 6,5%. Дальнейшее увеличение производственной мощности рудника обуславливает дополнительный рост дохода не ниже чем на 3,8% на каждый миллион тонн роста производительности.

4. Доказано, что утилизация конечных отходов после выщелачивания хвостов обогащения в составе твердеющей закладочной смеси позволяет повысить доход от освоения месторождения при производительности рудника 1 млн. т более чем на 13%. Повышение производственной мощности рудника на каждый 1 млн. т влечет дополнительный рост дохода в среднем на 5%.

5. Установлено, что если окисленные руды являются труднообогатимыми и расположены в верхней части месторождения в виде ореолов, выклинок, локальных залежей, то при достаточно высоких ценах на металлы получаемый совокупный доход от применения подземного выщелачивания сопоставим с доходом от подземной разработки. Применение в этом случае открытых горных работ эффективно только при доле некондиционных окисленных руд менее 15% от общих запасов месторождения.

6. Разработана схема формирования производственной мощности рудника при комбинированной геотехнологии в зависимости от распределения качественных характеристик руды в массиве и показателей извлечения ее при последующем обогащении или выщелачивании. Предложенная схема включена в алгоритм выбора параметров минерально-сырьевых потоков. Определено, что включение в технологическую схему рудника процессов извлечения из техногенного сырья ценных компонентов физико-химическими методами позволяет при снижении добычи руды в пределах 30% сохранить производственную мощность предприятия по товарным металлам, продлить срок существования горнодобывающего предприятия, сократить объемы складирования отходов и снизить экологическое воздействие горных работ. При этом сокращение добычи руды связано с проектной производительностью рудника  $A_p$  (от 0,5 до 5 млн. т./год), содержанием меди в руде  $\alpha_p$  (от 1 до 4 %) и биржевой ценой на медь  $C$  (от 4 до 8 тыс. у.е./т) экспоненциальной зависимостью:

$$\Delta D_d = 3,997 \cdot 0,771^{\alpha_p} \cdot 1,214^{A_p} \cdot 1,181^C .$$

7. Разработан алгоритм выбора рациональных параметров минерально-сырьевых потоков, в основу которого заложены варианты комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии, что позволяет дифференцировать во времени и в пространстве объемы осваиваемых георесурсов с оптимизацией их качественных характеристик. Реализация алгоритма для условий освоения Ново-Учалинского месторождения позволила установить, что применение селективной выемки с усреднением внутрирудничным или на внешних складах имеет преимущества по сравнению с валовой добычей. При этом доизвлечение ценных компонентов из хвостов обогащения физико-химической технологией позволяет повысить совокупный доход от освоения месторождения на 12%. Дальнейшая их утилизация в закладке выработанного пространства влечет сокращение эксплуатационных затрат в 1,2-1,3 раза и повышение эффективности освоения месторождения в 1,2 раза.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Каплунов Д.Р., Милкин Д.А. Управление качеством руды сочетанием валовой и селективной выемки при комбинированном способе разработки месторождений // Комбинированная геотехнология: масштабы и перспективы применения: Тез.докл.международ. науч.-технич.конф. Магнитогорск, МГТУ, 2005. –С. 5.;
2. Милкин Д.А. Новые решения в управлении качеством рудопотоков при комбинированной геотехнологии // Материалы 2-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – М.: ИПКОН РАН, 2005. – С. 76-77.;
3. Милкин Д.А. Резервы управления качеством рудопотоков при внедрении комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии //Материалы III международной школы молодых ученых и специалистов. М.: ИПКОН РАН, 2006, С. 107 - 108.;
4. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Илимбетов А.Ф., Милкин Д.А. Новые решения проблемы комплексного освоения рудных месторождений / Вестник МГТУ им. Г.И. Носова, 2006. - № 4. – С. 4 – 9.;
5. Милкин Д.А. Совершенствование способов управления качеством рудопотоков при комбинированной геотехнологии / Комбинированная геотехнология: масштабы и перспективы применения / Сборник трудов, Магнитогорск, МГТУ, 2006. - С. 165 – 174.;
6. Проблемы комплексного освоения суперкрупных месторождений стратегического сырья / Под редакцией академика РАН К.Н. Трубецкого, чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунова. – М.: ИПКОН РАН, 2006. – 358 с. (соавтор разд. 1.1 и 2.1);
7. Милкин Д.А. Управление минерально-сырьевыми потоками горного предприятия при комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии // Проблемы освоения недр в 21 веке глазами

- молодых. Материалы 4-й международной научной школы молодых ученых и специалистов. 6-9 ноября 2007 г. М.: ИПКОН РАН, 2007. – С.157-158.;
8. Милкин Д.А. Систематизация минерально-сырьевых потоков при разработке медно-колчеданных месторождений комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологией // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 5-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 11-14 ноября 2008 г. – М.: УРАН ИПКОН РАН, 2008 – С. 180 – 181.;
9. Милкин Д.А. Обоснование параметров минерально-сырьевых потоков при комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии // Геоэкологические и инженерно-геологические проблемы развития гражданского и промышленного комплексов города Москвы: Материалы научно-практической конференции. Москва, РГТРУ им. Серго Орджоникидзе 15-17 апреля 2008 г. – М.: КДУ, 2008. – С. 161 – 162.;
10. Проблемы техногенного преобразования недр Земли / Под ред. академика В.А. Чантурия, академика К.Н. Трубецкого, чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунова. М.:ИПКОН РАН, 2007 г. -322 с. (соавтор разд. 1.1 и 2.1);
11. Абдрахманов И.А., Милкин Д.А. Управление качеством рудопотоков в изменяющихся геологических и экономических условиях – ГИАБ. – 2007. - № 9. - С. 256 - 264.;
12. Д.Р. Каплунов, Д.А. Милкин. Современные проблемы комплексного освоения месторождений / Горный журнал Казахстана. – 2009. - № 4. – С. 8 – 11.;
13. В. П. Красавин, Д. Н. Радченко, Д. А. Милкин, А. Г. Звягинцев, А. М. Пешков. Исследование технологии выщелачивания отходов добычи руд / Недропользование - XXI век. 2009. - №3. - С. 38 – 41.;
14. Д.Р. Каплунов. Д.А. Милкин. Исследование влияния способа управления качеством минерально-сырьевых потоков на параметры горнотехнических систем комбинированной геотехнологии // Комбинированная геотехнология: комплексное освоение и сохранение недр Земли / Сб. трудов. - Екатеринбург, 2009. - С. 45 – 47.;
15. Д.Р. Каплунов. Д.А. Милкин. Классификация минерально-сырьевых потоков при комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии - ГИАБ, 2009 (принято в печать);
16. М.В. Рыльникова, Д.Н. Радченко, Д.А. Милкин (УРАН ИПКОН РАН), А.Г. Звягинцев, (ГОУ ВПО МГТУ им. Г.И. Носова). Исследование процессов выщелачивания ценных компонентов из текущих хвостов обогащения медно-колчеданных руд - ГИАБ, 2009 (принято в печать);
17. М.В. Рыльникова, Д.Н. Радченко, Д.А. Милкин (УРАН ИПКОН РАН), А.Г. Звягинцев, А.М. Пешков (ГОУ ВПО МГТУ им. Г.И. Носова). Обоснование параметров и режима выщелачивания сырья техногенных образований, сопутствующих разработке медно-колчеданных месторождений - ГИАБ, 2009 (принято в печать).

Подписано в печать 23 октября 2009 г.

Формат 60x90/16

Объем 1.0 печ.л.

Тираж 100 экз.

Заказ № 267

---

Отпечатано в ОИП МГУ. Москва, Ленинский проспект, д.6