

На правах рукописи



Юн Александр Борисович

**Разработка и обоснование параметров
горнотехнической системы комплексного освоения
Жезказганского месторождения в условиях
восполнения выбывающих мощностей рудников**

Специальности

25.00.21 – Теоретические основы проектирования горнотехнических систем

25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва-2016

Работа выполнена в научно-исследовательском центре инновационных технологий ТОО «КазГидроМедь», г. Караганда, Республика Казахстан

Научный консультант

профессор, доктор технических наук
Рыльникова Марина Владимировна

Официальные оппоненты:

профессор, доктор технических наук
Кузьмин Евгений Викторович,
начальник лаборатории
АО «ВНИПИпромтехнологии», г. Москва

профессор, доктор технических наук
Габараев Олег Знаурович,
проректор по образовательной деятельности
ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-
металлургический институт
(государственный технологический
университет)», г. Владикавказ

доктор технических наук
Соколов Игорь Владимирович,
заведующий лабораторией подземной
геотехнологии ФГБУН Институт горного
дела Уральского отделения Российской
академии наук, г. Екатеринбург

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

Защита диссертации состоится «22» декабря 2016 г. в 14³⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.132.14 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по адресу: 119991, Москва, Ленинский проспект, д. 6.

С диссертацией можно ознакомиться в диссертационном совете и на сайте НИТУ «МИСиС» old.misis.ru

Автореферат разослан «__» _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
профессор, доктор технических наук

В.В. Агафонов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В истории разработки любого месторождения всегда присутствуют моменты, когда осмысление накопленного опыта приводит к необходимости совершенствования технической политики эксплуатации участка недр. Характерным примером может служить разработка Жезказганского месторождения – одного из крупнейших в мире месторождений меди. За 80 лет эксплуатации из его недр извлечено уже более 1 млрд. т руды, что составляет 75% от общего количества балансовых запасов. Неизбежными следствиями интенсивной эксплуатации Жезказганского месторождения являются количественное и качественное истощение сырьевой базы действующих рудников, накопление выработанных пространств в недрах, а также накопление на поверхности отходов обоганительного производства.

Регионообразующая и стратегическая роли Жезказганского месторождения в экономике Республики Казахстан не позволяют даже предположить возможность приостановки горных работ, поэтому основной проблемой развития этого крупного горнопромышленного комплекса является расширение минерально-сырьевой базы региона в усложнившихся горнотехнических и геомеханических условиях.

Расширение минерально-сырьевой базы возможно за счет дополнительного вовлечения в эксплуатацию всех видов медьсодержащего сырья, ранее не вовлекавшегося в разработку: забалансовых и бедных сульфидных руд, запасов руды в обрушенных зонах, целиках различного назначения, ранее списанных в потери, смешанных и окисленных руд, накопленного техногенного сырья. Причем, рациональная отработка данных запасов не только восполняет выбывающие мощности рудников, но и способствует стабилизации геомеханической ситуации на месторождении и оказывает комплексное влияние на состояние окружающей среды в регионе за счет утилизации отходов горно-обоганительного производства.

Разработка и обоснование параметров геотехнологии доработки Жезказганского месторождения с восполнением сырьевой базы представляет

важнейшую социально-экономическую проблему, так как способствует продлению сроков эксплуатации рудников с сохранением объемов производства и рабочих мест.

Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда № 14-37-00050.

Цель работы состоит в разработке технологии и обосновании параметров горнотехнических систем, обеспечивающих эффективное вовлечение в эксплуатацию запасов руды в ранее оставленных целиках, в зонах обрушений, бедных сульфидных, смешанных и окисленных руд, накопленного техногенного сырья Жезказганского месторождения для восполнения выбывающих мощностей рудников.

Идея работы заключается в восполнении выбывающих мощностей действующих рудников Жезказганского месторождения за счет расширения сырьевой базы путем повторной разработки целиков различного назначения и зон обрушений, комплексного вовлечения в эксплуатацию бедных сульфидных, смешанных и окисленных руд, накопленного техногенного сырья, экономическая целесообразность которого появляется только с применением усовершенствованных физико-технических и физико-химических процессов добычи и переработки с получением грубого промпродукта для его последующего гидрометаллургического передела с извлечением всех ценных компонентов в условиях горного производства.

Задачи исследований:

- ревизия и систематизация запасов природного и техногенного сырья на стадии доработки Жезказганского месторождения с учетом особенностей вещественного состава, условий образования и залегания;
- анализ и обоснование направлений совершенствования технологий добычи и переработки руд и техногенного сырья Жезказганского месторождения медных руд;
- обоснование направлений утилизации техногенного сырья в экологически сбалансированном цикле комплексного освоения Жезказганского месторождения;

- развитие теоретических основ проектирования геотехнологических параметров комплексного освоения крупного пологопадающего рудного месторождения;
- разработка новой структуры и обоснование параметров горнотехнической системы добычи и переработки медьсодержащего сырья Жезказганского месторождения;
- разработка новой логистической схемы рудников;
- обоснование стратегии продления сроков эксплуатации Жезказганского месторождения и разработка технологических рекомендаций по повышению полноты и комплексности использования природного и техногенного минерального сырья;
- разработка технологических рекомендаций по совершенствованию технологии и параметров комплексного освоения Жезказганского месторождения на стадии доработки запасов и оценка их социально-экономической эффективности.

Методы исследований. В работе использован комплексный метод исследований, включающий анализ структурных характеристик природных и техногенных массивов и условий образования и складирования отходов в ходе разработки Жезказганского месторождения, геолого-минералогические исследования и химический анализ бедных сульфидных и смешанных руд, окисленных руд, руд из зон обрушений, текущего и лежалого техногенного сырья, исследования геомеханической ситуации, параметров формирования техногенных образований, экономико-математическое моделирование, технико-экономическую оценку, статистическую обработку результатов исследований.

Основные защищаемые положения:

1. Компенсировать выбывающие мощности и продлить сроки эксплуатации Жезказганского месторождения возможно только путем повторной разработки запасов в целиках и в обрушенных зонах с вовлечением в эксплуатацию бедных сульфидных, смешанных, окисленных руд и накопленного техногенного сырья с использованием инновационных

геотехнологий добычи и переработки в отдельных технологических цепях в соответствии с условиями залегания и вещественным составом минерального сырья.

2. Повторная разработка обеспечивает не только восполнение сырьевой базы, но и стабилизацию геомеханической обстановки за счет разгрузки накопленной в массиве упругой энергии при извлечении целиков и обрушении налегающей толщи. Величина диссипированной в процессе обрушения энергии пропорциональна выемочной мощности погашенных залежей и объему обрушенных пород.

3. Эффективная повторная отработка месторождения путем извлечения междуканальных целиков из открытого выработанного пространства требует введения нового конструктивного элемента - сигнальных целиков для поддержания кровли призабойного пространства на период извлечения целиков, что обеспечивает рост производительности и безопасность труда, снижение потерь и разубоживания руды.

4. Рентабельность повторной разработки обрушенных залежей с повышенным разубоживанием рудной массы обеспечивается введением в структуру горнотехнической системы Жезказганского месторождения технологического комплекса разделения горной массы на рудную и безрудную составляющие рентгенометрическим методом с крупно-порционной сортировкой в транспортных емкостях и фотометрическим методом в конвейерном потоке с последующей утилизацией пустой породы в выработанном пространстве.

5. Рентабельность добычи бедных и забалансовых руд обеспечивается снижением затрат на транспортирование путем создания единой логистической схемы подземных рудников с формированием на подъеме объединенного конвейерного рудопотока и отказа от концентрационных горизонтов и скиповых подъемов при сокращении длины доставки и откатки автотранспортом на эксплуатационных и откаточных горизонтах.

6. Комплексное освоение Жезказганского месторождения при сокращении балансовых запасов требует дополнительного включения нетрадиционного для данного типа руд инновационного гидрометаллургического передела с изменением требований к переработке бедных руд и техногенного сырья – получения на стадии флотации грубого промпродукта для его последующего выщелачивания и гидрометаллургического передела с высоким сквозным извлечением всех ценных компонентов и утилизацией отходов в завершенном экологически сбалансированном цикле.

7. Обеспечить заданную производственную мощность по объему выпуска катодной меди и продлить срок эксплуатации месторождения не менее, чем на 40 лет, при соотношении содержания меди в балансовых запасах к соответствующему показателю в вовлекаемых в освоение запасах бедных сульфидных руд и отходах обогащения, соответственно 1 к 0,5 и 0,24 целесообразно при включении в структуру годовой производственной мощности горнотехнической системы по добыче и переработке: балансовых руд – 23%, забалансовых, смешанных, окисленных и рудной массы из целиков и зон обрушений – 50% и лежалых отходов обогащения – 27%.

Достоверность научных результатов, выводов и рекомендаций

обусловлена представительным объемом исходных данных, экспериментальной лабораторной и опытно-промышленной проверкой разработанных технико-технологических решений освоения Жезказганского месторождения, достоверной сходимостью результатов исследований, полученных различными методами, использованием современного оборудования и методик, а также использованием в работе широко апробированных методов математической статистики.

Научная новизна состоит в обосновании возможностей и установлении природно-технологических закономерностей извлечения металлов из медьсодержащего сырья различного качества для эффективного восполнения производственной мощности рудников по мере убывания балансовых запасов

месторождения за счет формирования их отдельных потоков рядовых и некондиционных руд, а также техногенного сырья и перемещения их в единой логистической схеме при условии введения в структуру горнотехнической системы инновационных способов передела с высоким извлечением всех ценных компонентов.

Личный вклад автора состоит в обобщении горнотехнической и геомеханической информации о меднорудном Жезказганском месторождении и обосновании усовершенствованной стратегии его освоения; систематизации и структуризации запасов бедных руд и техногенного медного сырья с позиций расширения минерально-сырьевой базы региона; обосновании параметров геотехнологий повторной добычи бедных руд и техногенного сырья; разработке и исследовании процессов переработки бедных сульфидных, окисленных и смешанных медьсодержащих руд физико-химическими геотехнологиями; исследовании процессов добычи и переработки техногенного сырья Жезказганского месторождения.

Практическая значимость работы – найден способ восполнения сырьевой базы и стабилизации геомеханической ситуации на основе разработки технологических схем и обоснования параметров горнотехнических систем комплексного освоения Жезказганского меднорудного месторождения при вовлечении в эксплуатацию запасов руды в ранее оставленных целиках, зонах обрушения, бедных сульфидных, смешанных и окисленных руд, накопленного техногенного сырья для восполнения выбывающих мощностей рудников.

Реализация работы в промышленности

Результаты исследований использованы при разработке «Генерального плана окончательной отработки запасов всех видов медьсодержащего сырья на объектах ТОО «Корпорация Казахмыс», расположенных в Жезказганском регионе». При участии автора подготовлены заключения и рекомендации по вопросам эффективности разработанной технологии добычи и переработки бедных руд и запасов в обрушенных и ослабленных участках Жезказганского месторождения.

Апробация работы

Основные положения диссертации и результаты исследований докладывались на Международной конференции «Геодинамика и напряженное состояние земных недр» (Новосибирск, 1999 г.), I Международной школе-семинаре «Прогноз, предупреждение горных ударов» (Красноярск, 2001г.), X Международной научно-практической конференции «Новое слово в науке и практике: гипотезы и апробация результатов исследований» (Алматы, 2014), Международной конференции «Наука в эпоху дисбалансов» (Астана, 2014), Международной конференции «Рений и Технеций – 2014» (Франция, г.Ла Боль), Международных научных симпозиумах «Неделя горняка» (Москва, 2014-2016 гг.), Международной конференции «Комбинированная геотехнология» (Магнитогорск, 2015), II Международной научной школе академика К.Н.Трубецкого (Москва, 2016).

Публикации

Основные положения диссертации опубликованы в 44 работах, в том числе в 15 статьях, опубликованных в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 17 статьях в прочих изданиях, 12 патентах.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из 6 глав, введения и заключения, содержит 143 рисунка, 88 таблиц, список литературы из 149 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе выполнен анализ геологических, геомеханических и горнотехнических условий освоения Жезказганского меднорудного месторождения для оценки возможностей продления срока его эксплуатации за счет восполнения минерально-сырьевой базы нетрадиционными видами ресурсов.

Жезказганское месторождение медных руд относится к пластовым и представляет собой рудоносную толщу мощностью 300-320м чередующихся

пластов серых рудных и безрудных песчаников мощностью 0,5-30м и красноцветных пород (аргиллитов, алевролитов, песчаников) мощностью 1,5-30м, что обуславливает многоярусность оруденения. Углы падения пластов преимущественно пологие ($5-15^\circ$), на отдельных участках достигают 35° . Залегание слоев рудоносной толщи осложнено флексурными перегибами и тектоническими нарушениями.

Благоприятные горно-геологические условия Жезказганского месторождения и относительно низкая ценность руды определили эффективность применения камерно-столбовой системы разработки. За 80-летний период эксплуатации месторождения извлечено более 1 млрд т. медных руд, при этом на сегодняшний день основная часть балансовых запасов уже отработана. Значительный вклад в развитие теории и практики комплексного освоения месторождений, совершенствование систем разработки и механизации горных работ внесли академики М.И. Агошков, О.А. Байконуров, К.И. Сатпаев, В.В. Ржевский, К.Н. Трубецкой, член-корреспонденты Ш.А. Алтаев, Ш.Г. Болгожин, Д.Р. Каплунов, доктора наук М.М. Ахметов, В.И. Борщ-Компонице, О.З. Габараев, В.И. Герасименко, Н.П. Ерофеев, А.И. Имангалиев, Д.М. Казикаев, В.С. Коваленко, Е.В. Кузьмин, Г.Г. Ломоносов, А.Б. Макаров, В.Н. Попов, Б.Р. Ракишев, И.В. Соколов, А.М. Сиразутдинов, Ю.И. Чабдарова, Р.Б. Юн и многие другие известные ученые. Справедливо отметить, что опыт эксплуатации Жезказганского месторождения подтвердил эффективность камерно-столбовой системы разработки.

Однако, при этом в недрах оставлено в виде потерь большое количество руды, объемы которой сопоставимы с балансовыми запасами конкурирующих месторождений. Общий уровень потерь руды с начала эксплуатации Жезказганского месторождения превышает 22%, при этом доля потерь в междукammerных целиках (МКЦ) приближается к половине (рис.1). Оставленные в различные годы МКЦ столбчатой формы являются главным объектом повторной разработки. Отработка ленточных барьерных (БЦ) и панельных (ПЦ) целиков не представляет технологической сложности. Их, как правило, дорабатывают до размеров МКЦ.

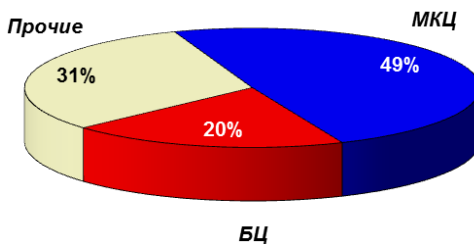


Рисунок 1 – Структура потерь руды на Жезказганском месторождении по месту образования

Выполненный анализ минерально-сырьевой базы Жезказганского месторождения свидетельствует о сокращении балансовых запасов руды и снижении ее качества, наличии большого объема руды в зонах обрушений, ранее оставленных целиках, списанных в потери, забалансовых запасах бедных сульфидных и труднообогатимых окисленных и смешанных руд, отходов обогащения руд, накопленных за десятилетия работы Жезказганского промышленного комплекса. Оставшиеся балансовые запасы месторождения сосредоточены по контуру отработанных участков, в обрушенных или ослабленных зонах, в целиках различного назначения, в кровле или почве отработанных участков, в отдаленных от основного фронта горных работ обособленных зонах и на глубоких горизонтах месторождения, не затронутых горными работами. В технологическом отношении руды Жезказганского месторождения подразделены на четыре промышленных типа:

- медные окисленные с содержанием меди в окисленной форме 20% и более;
- медные сульфидные с содержанием окисленной меди менее 20%;
- комплексные (медно-свинцовые, медно-свинцово-цинковые, медно-цинковые);
- свинцово-цинковые, представленные свинцовыми, цинковыми и свинцово-цинковыми рудами.

Доработка оставшихся на Жезказганском месторождении балансовых запасов производится в сложных горнотехнических и геомеханических условиях. В связи с общим истощением запасов месторождения, высокой его

социально-экономической ролью в минерально-сырьевом комплексе Казахстана возникла необходимость комплексной оценки ресурсного потенциала всего представленного в регионе медьсодержащего сырья и изыскания новых нетрадиционных для данного вида сырья эффективных и промышленно безопасных технологий добычи и переработки руд и техногенного сырья, предусматривающих повышение полноты и комплексности использования недр.

Исключительная актуальность воспроизводства минерально-сырьевой базы Жезказганского промышленного комплекса потребовала инновационного решения проблемы разработки и обоснования параметров горнотехнической системы комплексного освоения Жезказганского месторождения на стадии доработки балансовых запасов путем вовлечения в эксплуатацию всех имеющихся природных и техногенных минеральных ресурсов. Обобщение технико-технологических решений по повышению полноты и комплексности использования многокомпонентных руд и техногенного сырья Жезказганского месторождения доказало, что компенсация выбывающих мощностей действующих рудников возможна только за счет комплексного вовлечения в эксплуатацию всех видов медьсодержащего сырья с использованием усовершенствованных физико-технических и физико-химических процессов добычи и переработки природного и техногенного сырья с изменением требований к продукту флотации для направления его на гидрометаллургический передел с целью комплексного извлечения всех ценных компонентов. Такой комплексный подход к формированию стратегии дальнейшего освоения Жезказганского месторождения позволит решить не только технические и технологические, но и социальные проблемы региона.

Анализ изученности проблемы позволил сформулировать цель и задачи исследований.

Во второй главе диссертации развиты теоретические основы проектирования геотехнологических параметров горнотехнических систем комплексного освоения рудных месторождений в завершенном экологически сбалансированном цикле. Введено понятие этого цикла применительно к

условиям комплексного освоения Жезказганского месторождения на основе рационального сочетания усовершенствованных технологий добычи и переработки природного и техногенного сырья с наиболее полным извлечением из недр полезных ископаемых и всех ценных компонентов из продуктов их переработки с обеспечением экологического баланса между последствиями воздействия горных работ на окружающую среду и компенсирующим эффектом инновационных технологий.

Определены основные принципы обеспечения устойчивости функционирования и развития горнодобывающего предприятия, необходимые для проектирования освоения Жезказганского месторождения:

- обеспечение промышленной и экологической безопасности горных работ;
- соблюдение баланса интересов государства, общества и субъектов горного бизнеса;
- сохранение равновесного состояния среды обитания в рамках горнотехнической системы и в ореоле ее влияния;
- своевременное и адекватное объемам добычи руды восполнение минерально-сырьевой базы Жезказганского производственного объединения;
- комплексное извлечение ценных компонентов из добываемых руд и утилизация отходов.

Доказано, что решение поставленных задач, а также сохранение и улучшение окружающей среды в ходе освоения недр может быть достигнуто только целенаправленным совершенствованием геотехнологий добычи и переработки полезных ископаемых. При этом в качестве основного резерва восполнения сырьевой базы должны рассматриваться забалансовые запасы действующих рудников, ранее списанные в потери запасы в зонах обрушений и оставленных целиках, а также накопленное за длительный период эксплуатации Жезказганского месторождения техногенное сырье.

Поиск технологических решений по вовлечению в эффективную эксплуатацию всех вышеуказанных запасов выявил, что перспективная стратегия освоения Жезказганского месторождения на современной стадии развития горных работ должна базироваться не на решении сиюминутных

потребностей предприятия, а на проектировании в едином технологическом пространстве устойчивой экологически сбалансированной горнотехнической системы, обеспечивающей добычу и переработку всего природного, природно-техногенного и техногенного сырья на базе проведенной геолого-технологической ревизии запасов.

Проведенные геолого-технологические исследования позволили выявить пригодные для отработки и повторного использования запасы руды и техногенного сырья Жезказганского месторождения (рис. 2) и дифференцировать их по видам перспективных технологий добычи и переработки (табл.1).

Комплексный подход к формированию стратегии дальнейшего освоения Жезказганского месторождения позволяет решить не только технические и технологические, но и социальные проблемы региона, выполняя в этом случае роль инструмента повышения социальной ответственности бизнеса.

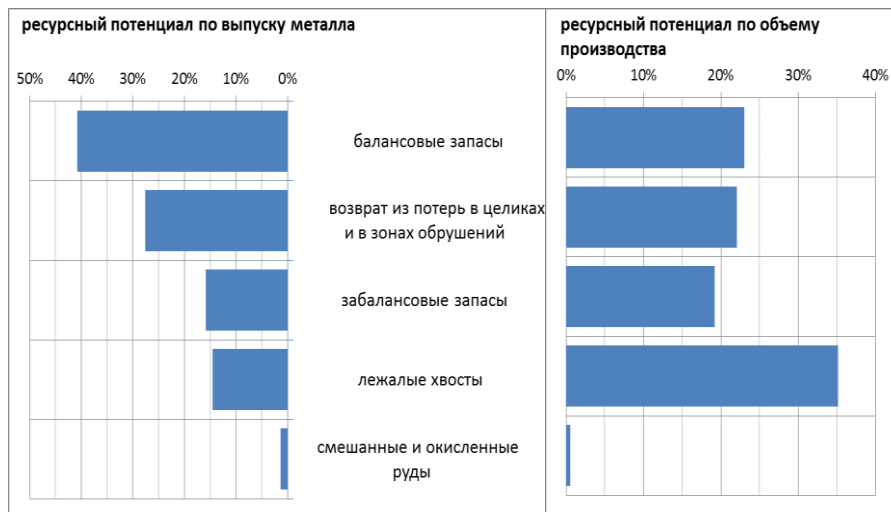


Рисунок 2 – Структура выявленных в ходе ревизии запасов медьсодержащего сырья Жезказганского региона

В третьей главе приведены результаты исследований по изысканию технологических решений и обоснованию параметров горнотехнической системы повторной разработки целиков и руд в зонах обрушений, добычи

бедных руд и техногенного сырья Жезказганского месторождения. В обобщенном виде полученные результаты представлены в табл. 1 в виде классификации запасов по рекомендуемым технологиям их добычи (с учетом геомеханического состояния) и переработки (с учетом качества и вещественного состава минерального сырья).

Таблица 1 – Классификация запасов Жезказганского месторождения по видам сырья с учетом перспективных технологий добычи и переработки руд

| № п/п | Вид сырья | Технология добычи | | Технология переработки |
|-------|---|---|---|---|
| | | Устойчивая геомеханическая ситуация | Неустойчивая геомеханическая ситуация | |
| 1 | Запасы окисленных руд | Добыча руды открытым способом | Предварительная гидрозакадка прилегающих или нижележащих ослабленных участков и последующая добыча руды открытым способом | Гидрометаллургическая |
| 2 | Забалансовые запасы смешанных руд (заскладированные в отвале вскрышных пород) | Транспортировка руды из отвала к месту переработки | | Флотационно-гидрометаллургическая для смешанных руд |
| 3 | Бедные сульфидные и балансовые забалансовые запасы | Камерно-столбовая с повторной выемкой целиков из открытого очистного пространства (погашение пустот путем управляемого обрушения) | Погашение пустот путем предварительного принудительного обрушения | Флотационно-гидрометаллургическая для сульфидных руд |
| 4 | Запасы, ранее списанные в потери | Выемка целиков из открытого очистного пространства (погашение пустот путем управляемого обрушения кровли) | Выемка целиков с полевой подготовкой (погашение пустот путем предварительного принудительного обрушения кровли) | |
| 5 | Запасы в обрушенных участках | Подземная добыча системами с обрушением и самообрушением руды с полевой подготовкой | | Сепарация+флотационно-гидрометаллургическая |
| 6 | Лежалые хвосты ЖОФ | Добыча хвостов с использованием специальной технологии и применением специализированного оборудования | | Флотационно-гидрометаллургическая для сульфидных хвостов обогащения |

Научно обоснован и разработан алгоритм расчета перераспределения нагрузок при разрушении и извлечении МКЦ. Установлено, что исходное распределение нагрузок на МКЦ в панели имеет вид параболического свода давления: МКЦ, расположенные вблизи границ выработанного пространства, воспринимают нагрузки $(0,4 \div 0,5) \gamma HS$, в углах панели – $(0,3 \div 0,4) \gamma HS$. Наибольшие нагрузки $(0,6 \div 0,7) \gamma HS$ приходятся на целики, расположенные в

центральной части панели. Здесь S – площадь налегающих пород, приходящаяся на один целик, γH – гравитационное давление толщи пород на глубине H .

При повторной разработке нагрузки на оставшиеся МКЦ возрастают. Максимальная концентрация нагрузок на МКЦ, прилегающие к зоне обрушения, изменяется по обратному параболическому закону: по мере погашения панели она сначала увеличивается, достигая максимума после извлечения половины рядов МКЦ, а затем снижается за счет приближения к границе выработанного пространства. Максимальная концентрация опорного давления приближается к 1,20. Именно поэтому в повторную разработку из открытого выработанного пространства можно вовлекать только те МКЦ, запас прочности которых составляет не менее 1,2 (рис. 3).

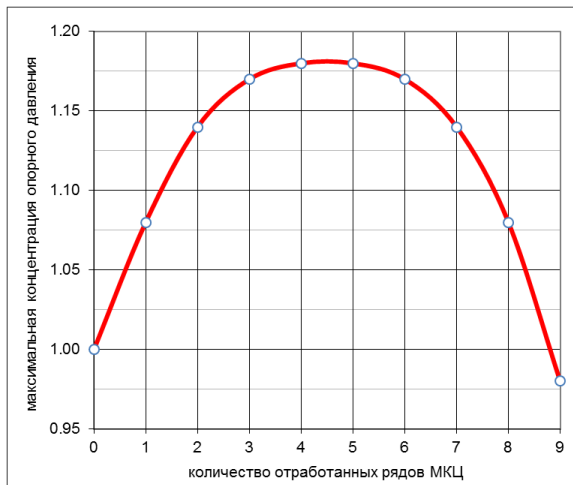


Рисунок 3 – Обратный параболический закон изменения концентрации опорного давления на МКЦ по мере погашения панели при повторной разработке

Для повторной разработки МКЦ из открытого выработанного пространства предложен новый конструктивный элемент – сигнальные целики. Анализ выполненных расчетов показал, что нагрузка на сигнальные целики составляет $4\div 7\%$ от веса столба налегающих пород. Это означает, что на глубине 200м сигнальные целики поддерживают только непосредственную кровлю

призабойного пространства мощностью $8 \div 14$ м. Результаты расчетов свидетельствуют о том, что нагрузка на сигнальные целики уменьшается пропорционально снижению их жесткости, которая прямо пропорциональна площади сечения целика и обратно пропорциональна его высоте.

Запас прочности временных сигнальных целиков в ходе повторной разработки колеблется в пределах $1,0 \div 0,8$. Как показал анализ практики повторной разработки Жезказганского месторождения при извлечении МКЦ из открытого выработанного пространства, такой запас прочности сигнальных целиков обеспечивает их устойчивость в течение первых суток после оформления. Потом они разрушаются горным давлением, после чего происходит обрушение пород кровли. Проведенные исследования механизма разрушения целиков позволили установить, что процесс разрушения, начавшись с одного или нескольких целиков, по мере распространения на соседние, накапливает все большую энергию и начинает самоускоряться.

Для оценки устойчивости МКЦ на отработанных площадях разработана и утверждена «Методика оценки устойчивости междуканнерных целиков, вовлекаемых в повторную разработку», позволяющая повысить точность расчета коэффициента запаса прочности МКЦ, который определяется отношением несущей способности целика к нагрузке на него. Если произошло разрушение целиков, значит, нагрузка N на разрушенные МКЦ достигла их несущей способности P . Если рассчитать нагрузки N на всю совокупность целиков с учетом их жесткости и расположения в выработанном пространстве, то из условия $N = P$ можно найти прочность массива руды в целиках по факту их разрушения. Таким образом, прочность целиков определяется не традиционным методом – умножением прочности руды в образце на ряд ослабляющих коэффициентов, а обратным расчетом – определением нагрузок, при которых целики разрушились, и принятием этих нагрузок в качестве предельных для МКЦ.

По разработанной методике проведен анализ разрушений МКЦ на всех рудниках ПО «ЖЦМ» в интервале глубин от 70 м (поля старых шахт) до 470 м (Анненский рудник). Методом обратного расчета определена прочность почти

2 тысяч разрушенных МКЦ на 36 участках. По всем имеющимся данным найдена регрессионная зависимость (с коэффициентом корреляции 0,65) увеличения прочности массива руды σ_m с глубиной залегания H :

$$\sigma_m = 0,11H + 9,5, \text{ МПа} \quad (1)$$

Средние значения прочности массива руды на разных участках на разных глубинах, полученные с использованием метода обратного расчета прочности разрушенных МКЦ, показаны на рис.4.

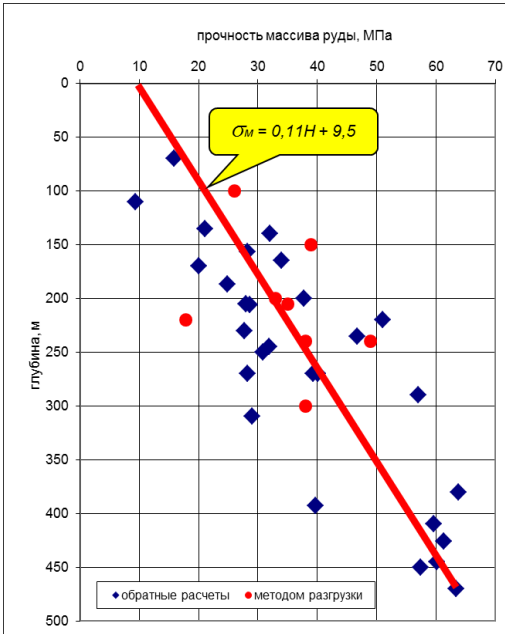


Рисунок 4 – Изменение прочности массива руды Жезказганского месторождения с глубиной залегания по данным обратных расчетов

Для извлечения руды из нарушенных целиков и зон обрушений на свитах сближенных рудных залежей обоснованы варианты систем разработки с обрушением и самообрушением руды с выпуском рудной массы в полевые выработки, что сопряжено с повышенным разубоживанием. Для повышения качества руды, поступающей на переработку, проведен комплекс исследований эффективности различных методов сепарации: оптического

(фотометрического), индукционного радиорезонансного, рентгенорадиометрического (рентгено-флуоресцентного), рентгено-абсорбционного. Выбор метода предварительного обогащения произведен с учетом вещественного состава руды, содержания ценного компонента, гранулометрического состава, контрастности кускового материала по содержанию полезных компонентов, соответствия интенсивности проявления признака разделению содержанию полезного компонента и т.п. В ходе

исследований были определены значения признака разделения для каждого метода и произведена оценка их производительности и эффективности.

По результатам проведенных исследований выбран наиболее эффективный метод сепарации разубоженной рудной массы, добытой из зон обрушения, – рентгено-флуоресцентный. Он позволяет получить концентрат с содержанием Cu до 0,51%, максимальный выход хвостов – до 73%, при этом повышается содержание Cu на 0,35% коэффициент обогащения составляет 1,39. Не менее перспективен и надежен фотометрический метод сепарации, позволяющий с высокой эффективностью выделять в хвосты сепарации бурые алевролиты (содержание Cu в хвостах 0,032-0,037%). Он позволяет повысить содержание Cu на 0,11% с коэффициентом обогащения 1,08.

Для проведения полупромышленных испытаний был выбран фотометрический метод сепарации, как наиболее простой и производительный, который может быть эффективно использован для предварительного обогащения руд обрушенных и ослабленных участков, имеющих в своем составе большое количество разубоживающей массы в виде бурых алевролитов. Принципиальная схема сепарации руды представлена на рис. 5.

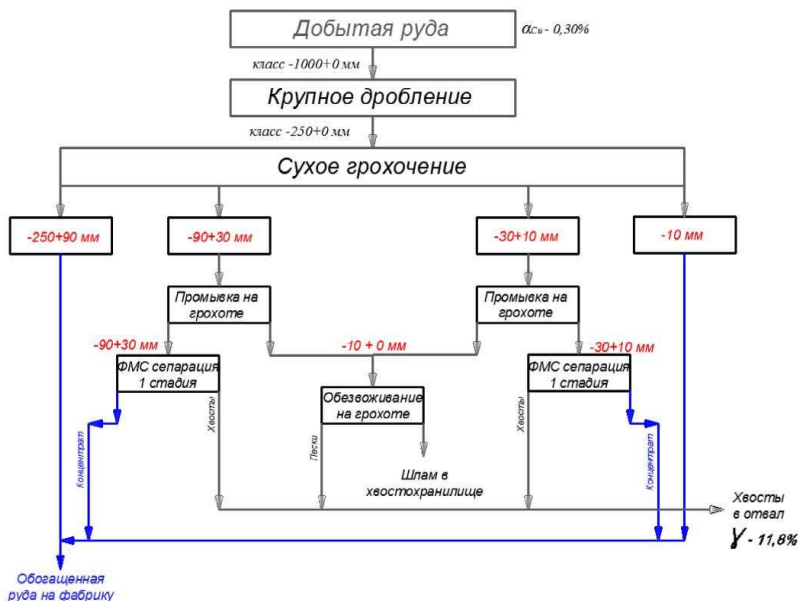


Рисунок 5 – Схема фотометрической сепарации рудной массы

Одним из условий рентабельной отработки запасов бедных руд, запасов в обрушенных и ослабленных участках является снижение себестоимости добычи, в том числе за счет сокращения затрат на внутришахтный транспорт. С этой целью предложена и обоснована новая транспортная схема, охватывающая все рудники Жезказганского месторождения (рис. 6).

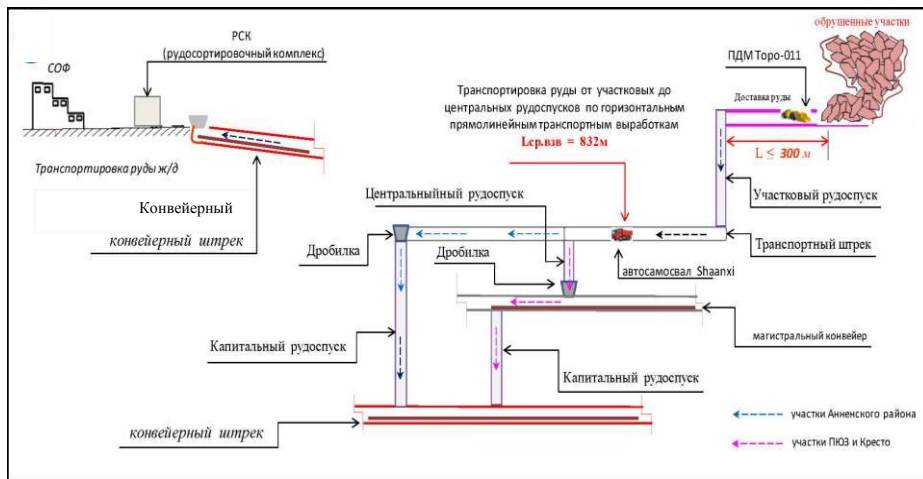


Рисунок 6 – Принципиальная схема транспортирования руды от забоя по предлагаемой транспортной схеме для повторной разработки запасов обрушенных и ослабленных участков

Данная транспортная схема предусматривает перемещение рудопотоков от забоев до обогатительной фабрики и позволяет снизить капитальные и эксплуатационные затраты за счет:

- отказа от привязки схем откатки руды с каждого эксплуатационного участка автотранспортом на капитальный рудоспуск. В настоящее время средняя длина откатки к капитальным рудоспускам составляет $L_{ср} = 2200 \text{ м}$, с тяжелыми условиями эксплуатации, имеющими многочисленные повороты и сложный профиль. В данных условиях в настоящее время для перевозки используются дорогостоящие подземные самосвалы TORO-50. Переход на новую схему с сокращением плеча откатки ПДМ и применением магистральных конвейерных линий на главном конвейерном уклоне позволит значительно снизить себестоимость транспортирования рудной массы;
- рационального размещения участковых рудоспусков с ограничением длины откатки до 300м заменой существующей технологической пары

погрузчик CAT-980GII – самосвал TORO-50+ на погрузочно-доставочные машины TORO-011;

- организации транспортировки руды самосвалами по горизонтальным прямолинейным транспортным выработкам со средней длиной откатки до капитальных рудоспусков $L_{\text{ср.взв.}}=832\text{м}$, с применением недорогих самосвалов Shaanxi, грузоподъемностью 40т;

- увеличения скорости движения самосвалов с 10км/час до 20-25км/час.

Расчеты показали, что перечисленные решения по оптимизации транспортной логистической системы Жезказганского месторождения медных руд снижают затраты на комплекс внутришахтного транспорта на 44,6%, в том числе затраты на дизельный транспорт – на 53,3%. При внедрении новой транспортной схемы на концентрационных горизонтах рудников исключается применение дорогостоящего рельсового транспорта, а также скиповых подъёмов.

Формирование единой транспортной схемы предусматривает расположение участковых рудоспусков в местах наибольшего скопления руды на расстоянии от эксплуатационных блоков, не превышающем 300м. В соответствии с этим принципом, по совмещенным планам залежей, охватывающим все Жезказганское месторождение, разработана схема рационального размещения рудоспусков (рис. 7).

Принцип определения места заложения участковых и центральных рудоспусков обеспечивает минимальное среднее расстояние перемещения руды от эксплуатационного забоя ПДМ и минимальное расстояние транспортирования рудной массы к капитальному рудоспуску передачей основной транспортной нагрузки на более экономичный магистральный конвейерный транспорт. По схеме расположения участковых рудоспусков определяются места расположения транспортных штреков, места заложения центральных рудоспусков и их количество. Затем устанавливается графически месторасположение магистральных конвейерных штреков, уклонов и капитальных рудоспусков. Расположение капитальных рудоспусков в пространстве позволяет выбрать место рационального заложения главного конвейерного уклона для выдачи всего рудопотока на поверхность. Для повышения скорости проходки главных транспортных выработок протяженной

длины была оценена возможность применения тоннеле-проходческих механизированных комплексов.

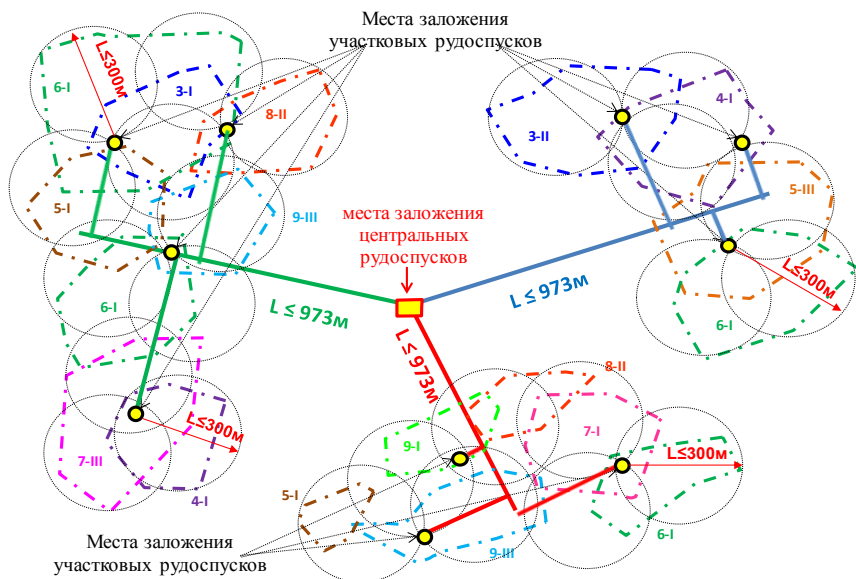


Рисунок 7 – Принципиальная схема выбора расположения участковых и центральных рудопусков по предлагаемой транспортной схеме

Исследованиями доказано, что создание единой логистической схемы рудников при переходе на глубокие горизонты с вовлечением в эксплуатацию бедных руд, руд из обрушенных и ослабленных зон с предварительной сепарацией рудной массы обеспечит требуемую производительность погрузочно-транспортного комплекса и сократит эксплуатационные расходы на транспортирование руды не менее, чем на 45%.

В четвертой главе для принятия решений по вовлечению в отработку медьсодержащего сырья, ранее не вовлекавшегося в эксплуатацию, приведены результаты всестороннего изучения качественных и количественных характеристик бедных сульфидных, окисленных и смешанных руд с оценкой особенностей распределения в них полезных компонентов и вмещающих примесей.

Технологии переработки бедных сульфидных, смешанных и окисленных руд отличаются от традиционно применяемых методов переработки. Это

обусловлено, с одной стороны, сильной измененностью технологических свойств, вызванной процессами гипергенеза, с другой стороны, бедное, в том числе некондиционное сырье, требует определенной подготовки перед переработкой. В связи с этим, были разработаны новые научно-методические подходы, основополагающей идеей которых является вовлечение всех видов георесурсов в эффективную эксплуатацию за счет достижения максимально возможного извлечения ценных компонентов, содержащихся в них, сочетанием технологических процессов полного геотехнологического цикла (добыча → первичная переработка методами обогащения или выщелачивания → вторичная переработка (гидрометаллургия – извлечение металла из продуктивных растворов, или пирометаллургия) → получение меди электролитическим способом), с минимизацией отрицательного воздействия на природную среду, в соответствии с принципами экологически сбалансированного комплексного освоения месторождений.

Методика проведения исследований приведена на рис. 8. В результате проведения лабораторных и опытно-промышленных испытаний разработаны технологические схемы переработки смешанных, окисленных и бедных сульфидных руд.

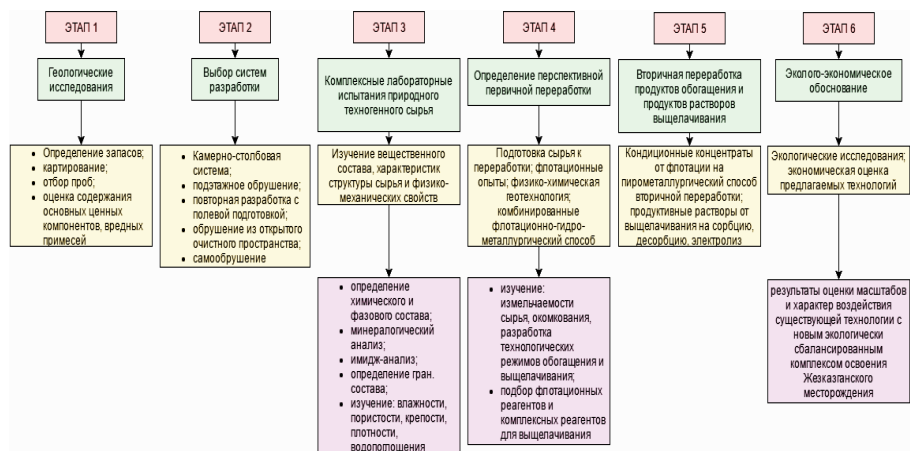


Рисунок 8 – Методика проведения исследований

Комбинированная технологическая схема переработки смешанных руд включает следующие основные операции: дробление; измельчение с

добавлением сульфата аммония; основную флотацию; две перечистки концентрата основной флотации; контрольную флотацию; сгущение и фильтрацию медного концентрата; сгущение и фильтрацию хвостов флотации; сорбцию меди из объединенного фильтрата; водную промывку насыщенного сорбента; десорбцию меди отработанным электролитом; электролитическое осаждение меди из медного электролита. Конечными продуктами этой технологии являются: кондиционный медный концентрат с содержанием меди не менее 29,0% и медь катодная с чистотой извлечения не менее 99,99%. Суммарное сквозное расчетное извлечение из руды (с учетом переработки медного концентрата на Балхашском медеплавильном заводе) меди в катодную медь – 85,9% с попутным извлечением серебра в гранулы – 57,8%.

Новизна схемы заключается в том, что выщелачивание окисленных минералов осуществляется в цикле измельчения перед операцией флотации. Исследованиями доказано, что при реализации предлагаемого технологического решения показатели флотации не ухудшаются. В результате этого основной эффект роста показателей извлечения состоит в одновременном извлечении меди как из окисленных, так и из сульфидных минералов.

Разработанная флотационно-гидрометаллургическая технология переработки смешанных руд может быть успешно применена ко всем смешанным рудам Жезказганского месторождения в силу схожести их вещественного состава.

Наиболее перспективной для извлечения ценных компонентов из окисленных руд является схема кучного или чаново-агитационного выщелачивания с последующим гидрометаллургическим переделом. Проведенные исследования чаново-агитационного выщелачивания позволили установить оптимальный расход 36-60 кг/т и концентрацию растворителя 30 г/дм³, максимально возможное извлечение меди 85-93% из окисленных руд, определить рациональную крупность выщелачиваемого материала -20 + 5 мм.

Анализ мирового опыта переработки бедных сульфидных руд позволил сделать вывод, что наиболее перспективной является комбинированная флотационно-гидрометаллургическая технология, включающая флотационное

обогащение руды с получением черного концентрата. Низкие требования к качеству концентрата позволяют снизить затраты на флотацию руды при относительно небольшом выходе черного концентрата при высоких показателях извлечения меди. В дальнейшем черновой концентрат направляется на низкотемпературный обжиг, после чего - на выщелачивание и гидрометаллургическую переработку. Первичная переработка методом флотации позволяет сократить объем гидрометаллургической переработки и снизить затраты на получение товарной меди высокого качества. Определяющими факторами эффективности разработанных технологий являются максимально возможное извлечение меди в раствор и наименьшее время выщелачивания.

Поэтому с целью вовлечения бедных сульфидных руд Жезказганского месторождения в промышленную эксплуатацию были проведены лабораторные и полупромышленные испытания на пробе руды в количестве 12 700 кг с содержанием меди 0,51%. Выход медного черного концентрата составил 1 279 кг или 10,07% от исходной массы руды. Черновой концентрат шихтовался с хлоридом натрия в количестве 10 % от массы концентрата, шихта подвергалась грануляции и хлорирующему обжигу полученных гранул в шахтной печи. Для этого была разработана шахтная печь с каскадом наклонных решеток оригинальной конструкции, обеспечивающей сушку, обжиг и охлаждение гранулированного материала с использованием для сушки гранул тепла обжиговых газов и тепла охлаждаемого огарка. Выщелачивание измельченного огарка проводилось в закрытом агитаторе ёмкостью 120л в водном растворе хлоридов натрия, кальция при температуре 800°C, Ж:Т=2:1 в течение 0,5 ч. По окончании выщелачивания пульпа сгущалась. Нижний слив сгущённой пульпы фильтровался на пресс-фильтре. Промывка кека на фильтре проводилась в две стадии. Промывная вода первой стадии была объединена с продуктивным солевым раствором. Далее кек солевого выщелачивания подвергался выщелачиванию раствором серной кислоты в агитаторе при температуре 800°C, Ж:Т= 3:1 в течение 1 ч. Для переработки растворов

предложена сорбционная технология, позволяющая селективно извлекать ценные компоненты из продуктивных растворов.

В результате комплексной флотационно-гидрометаллургической переработки бедных, забалансовых сульфидных руд Жезказганского месторождения в едином экологически сбалансированном геотехнологическом цикле, включающем все этапы добычи, а также первичную и вторичную переработку, с замкнутым циклом оборота жидких растворов и утилизацией твердых отходов, получена конечная товарная продукция высокого качества: медь катодная, марка не ниже Мок; серебро в слитках – марка Ср 99,99%; рений в перренате аммония – марка AP-0, AP-1. Сквозное расчетное извлечение меди из руды в катодную медь – 91,0%. Сквозное расчетное извлечение серебра из руды в металлическое серебро – 86,9%. Сквозное расчетное извлечение рения из руды в перренат аммония – 47,4%.

В пятой главе проведены исследования по совершенствованию схем и параметров геотехнологии добычи и переработки лежалых хвостов обогащения руд из законсервированного хвостохранилища № 2. Для этого было проведено картирование хранилища с отбором представительных проб. Для оценки состояния массива хвостохранилища и выбора способа добычи хвостов для каждой рядовой пробы хвостов по каждой скважине были определены массовая влажность, прочность, гранулометрический, фазовый и химический составы. Установлено, что, наряду с медью (среднее содержание 0,155%), из основных полезных компонентов в исходном материале в промышленных концентрациях присутствуют: серебро – 3,68 г/т, рений – 0,15 г/т и железо – 2,34%. Медь представлена, в основном, вторичными сульфидами – 52,38 % (отн.) и окисленными соединениями – 31,29% (отн.). Первичных сульфидов в пробе – 16,33% по относительному содержанию. Содержание меди в целом по хвостохранилищу распределено довольно равномерно, с некоторым обеднением центрального участка по сравнению с краевыми частями. В верхней части (0 – 30м от поверхности) хвосты имеют более высокое содержание меди, чем на глубине более 30м. Относительное

равномерное содержание ценных компонентов по всему телу хвостохранилища, а также наличие уже измельченного материала, не требующего специальной рудоподготовки, предопределяют эффективность вовлечения лежалых хвостов обогащения в промышленную эксплуатацию.

Исследованиями доказана предпочтительность открытой добычи хвостов сухим способом в периферийной части в летний период и прудковой – в зимний период экскаваторами прямой и обратной мехлопата и доставкой техногенной массы на фабрику автосамосвалами. Результатом обогащения явился черновой концентрат с извлечением меди и серебра, соответственно, 66,56% и 70,53% при выходе концентрата 9,74%. Качество концентрата: содержание меди – 0,82%, серебра – 21,0 г/т. После первичной переработки лежалых хвостов обогащением до чернового медного концентрата материал направлялся на вторичную переработку: выщелачивание и гидрометаллургический передел по схеме, описанной выше, для бедных сульфидных руд. Сквозное извлечение меди из хвостов в катодную медь составляет 64,21%, сквозное извлечение серебра в слитки – 67,02%. Попутное извлечение рения в перренат аммония – 47,96% и сквозное извлечение железа в железный купорос составляет 16,0%. Полученные показатели и попутное извлечение серебра и рения позволяют эффективно перерабатывать лежалые хвосты обогащения.

В шестой главе полученные в лабораторных, опытно-промышленных и промышленных условиях показатели добычи и переработки природного и техногенного сырья были использованы для оценки технико-экономической эффективности технологических решений. Доказано, что обеспечить заданную производственную мощность по объему выпуска катодной меди и продлить срок эксплуатации месторождения не менее, чем на 40 лет, при соотношении содержания меди в балансовых запасах к соответствующему показателю в вовлекаемых в освоение запасах бедных сульфидных руд и отходах обогащения, соответственно 1 к 0,5 и 0,24, целесообразно при включении в структуру годовой производственной мощности горнотехнической системы по добыче и переработке: балансовых руд – 23%, забалансовых, смешанных,

окисленных и рудной массы из целиков и зон обрушений – 50% и лежалых отходов обогащения – 27%.

В целом, экономическая оценка эффективности реализации разработанной стратегии освоения Жезказганского месторождения на стадии доработки, предусматривающей получение максимума дохода от комплексного использования каждого вида сырья при стабилизации геомеханического состояния массива и минимизации воздействия на окружающую среду, обеспечивает NPV 839 млн.долларов при сроке окупаемости затрат 2,6 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся научно-квалификационной работой, изложено научно обоснованное решение крупной научной проблемы продления сроков устойчивого развития действующих рудников на стадии доработки балансовых запасов путем вовлечения всех бедных, ранее потерянных руд и техногенных запасов в эффективную эксплуатацию инновационными геотехнологиями добычи, транспортировки, рудничной сортировки и переработки с комплексным извлечением всех ценных компонентов, разработанными с учетом установленных закономерностей геомеханического состояния, вещественного и гранулометрического состава и пространственного распределения запасов, что имеет важное социально-экономическое значение для развития крупных горнопромышленных регионов.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Доказано, что на стадии доработки крупного месторождения компенсировать выбывающие мощности возможно только путем вовлечения в эксплуатацию, наряду с оставшимися балансовыми запасами, всех бедных руд и техногенного сырья, запасов в целиках, зонах обрушений, отдаленных и ранее списанных в потери на основе коренного изменения геотехнологий освоения участков месторождения в соответствии с особенностями залегания, геомеханического состояния и вещественного состава сырья. Для условий

Жезказганского месторождения внедрение инновационных геотехнологий добычи руд в ранее потерянных целиках, в зонах обрушений, бедных сульфидных, окисленных и смешанных руд и техногенного сырья способно продлить срок устойчивой работы горно-перерабатывающего комплекса не менее, чем на 40 лет.

2. Проведена ревизия ресурсного потенциала всех видов природного, природно-техногенного и техногенного сырья Жезказганского месторождения с экономической оценкой эффективности технологических схем добычи и переработки каждого вида сырья в соответствии с условиями залегания, геомеханического состояния и особенностями вещественного состава. Разработанные инновационные геотехнологии добычи и переработки нетрадиционного для данного месторождения сырья позволили увеличить общий объем меди в вовлекаемых в эксплуатацию запасах в 2,4 раза и обеспечить прирост извлечения катодной меди на 8,8%.

3. Доказано, что повторная разработка месторождения при извлечении целиков и обрушении налегающей толщи обеспечивает не только восполнение сырьевой базы, но и стабилизацию геомеханической обстановки за счет разгрузки накопленной в массиве упругой энергии. Величина диссипированной в процессе обрушения энергии при объеме обрушенных пород $V = 150 \text{ млн. м}^3$ и глубине $H = 220 \text{ м}$ составляет $\Delta E = 10^{15} \text{ Дж}$.

4. Установлено, что эффективность повторной отработки месторождения путем извлечения междукammerных целиков из открытого выработанного пространства с оставлением сигнальных целиков меньшей жесткости и размеров для временного поддержания кровли призабойного пространства на период извлечения проектных целиков большей жесткости и размеров обеспечивает снижение разубоживания в 3,4 раза, рост производительности труда в 1,4 раза и снижение потерь руды на 17% по сравнению с базовой геотехнологией полной отбойки МКЦ.

5. Разработана методика оценки устойчивости междукammerных целиков, вовлекаемых в отработку из открытого выработанного пространства, основанная на расчетах распределения нагрузок на целики после первичной

разработки и их перераспределения при извлечении целиков, отличающаяся определением прочности массива руды обратными расчетами по фактам разрушений целиков. На основе выполненных расчетов найдена регрессионная зависимость (с коэффициентом корреляции 0,65) увеличения прочности массива руды σ_m с глубиной залегания H : $\sigma_m = 0,11H + 9,5$, МПа.

6. Исследованы фотометрический, индукционный радиорезонансный, рентгенофлуоресцентный и рентгено-абсорбционный методы рудничной сортировки рудной массы с учетом особенностей ее минерального и гранулометрического состава, содержания ценных компонентов, контрастности свойств. Для практического внедрения рекомендован рентгенорадиометрический метод крупнопорционной сепарации в транспортных емкостях и фотометрический метод покусковой сепарации в транспортном потоке с коэффициентами обогащения рудной массы, соответственно, 1,39 и 1,08.

7. Обоснована методология проектирования логистической схемы рудников при освоении площадного пологопадающего месторождения с вовлечением в эффективную эксплуатацию в едином технологическом пространстве всех видов сырья в пределах всего месторождения. При этом рентабельность добычи бедных и забалансовых руд обеспечивается снижением затрат на транспортирование путем создания единой логистической схемы подземных рудников с формированием на подъеме объединенного конвейерного рудопотока и отказом от концентрационных горизонтов и скиповых подъемов при сокращении длины доставки и откатки автотранспортом на эксплуатационных и откаточных горизонтах. В условиях Жезказганского месторождения формирование единой транспортной схемы предусматривает расположение участковых рудоспусков в местах наибольшего скопления руды на расстоянии от эксплуатационных блоков, не превышающем 300м.

8. Установлено, что комплексное освоение Жезказганского месторождения на стадии доработки балансовых запасов требует дополнительного включения нетрадиционного для данного типа руд

инновационного гидрометаллургического передела с изменением требований к переработке бедных руд и техногенного сырья – получения на стадии флотации грубого промпродукта для последующего его выщелачивания и гидрометаллургического передела с высоким сквозным извлечением всех ценных компонентов и утилизацией отходов в завершённом экологически сбалансированном цикле. В результате комплексной флотационно-гидрометаллургической переработки бедных, забалансовых сульфидных руд Жезказганского месторождения получены товарные продукты высокого качества: медь катодная, марка не ниже Мок; серебро в слитках – марка Ср 99,99%; рений в перренате аммония – марка АР-0, АР-1. Сквозное расчетное извлечение меди – 91,0%, серебра – 86,9%, рения – 47,4%.

9. Выполнены расчеты годовой производственной мощности предприятия 12 млн.т. на период доработки запасов, которые свидетельствуют о возможности продления срока эксплуатации месторождения не менее, чем на 40 лет при повышении комплексности использования сырья, стабилизации геомеханического состояния массива и минимизации воздействия на окружающую среду конечных отходов. Срок окупаемости затрат на реализацию новой геотехнологической стратегии – 2,6 года.

10. Стратегия комплексного освоения Жезказганского месторождения с восполнением производственной мощности действующих рудников одобрена Правительством Республики Казахстан и принята Корпорацией «Казахмыс» к внедрению.

Основные научные и практические результаты диссертации изложены в следующих опубликованных работах автора Юна А.Б.:

В изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России:

1. Зайцев О.Н. Геомеханическое обоснование технологии повторной разработки междукammerных целиков из открытого выработанного пространства с обрушением налегающей толщи / О.Н.Зайцев, А.Б. Макаров, А.Б. Юн // Маркшейдерский вестник. – 1999. – №4. С. 17-23.

2. Юн А.Б. Нагруженность междукамерных целиков при повторной разработке / А.Б. Юн, А.Б. Макаров, Д.В. Мосякин, А.А. Карпиков // Горный журнал. – 2002. – №5. С. 24-26.
3. Юн А.Б. Особенности управления горным давлением при выемке опорных целиков / А.Б. Юн, В.И. Герасименко, Т.Т. Ибраев // Горный журнал. – 2002. – №5. С. 27-28.
4. Юн А.Б. Проблемы геомеханики при разработке Жезказганского месторождения / А.Б. Юн, В.И. Герасименко, О.Н. Зайцев // Горный журнал. – 2002. – № 5. С. 20-22.
5. Борщ-Компониц В.И. Оценка механического состояния столбчатых целиков при отработке залежей сплошной системой с обрушение / В.И. Борщ-Компониц, А.Б. Юн, Б.Н. Севастьянов и др. // Горный журнал. – 2002. – №11-12. С. 13-16.
6. Борщ-Компониц В.И. Перспективы применения сплошной выемки рудных залежей на Жезказганском месторождении / В.И. Борщ-Компониц, А.Б. Юн, Б.Н. Севастьянов, А.Е. Удалов, Ю.Г. Белявский, К.Д. Ахтямов // Горный журнал. – 2003. – №3. С.34-37.
7. Юн А.Б. Обратный расчет прочности междукамерных целиков по факту их разрушения / А.Б. Юн, А.Б. Макаров, Д.В. Мосякин, К.И. Чарковский, А.А. Карпиков // Горный журнал. – 2005. – №3. С.45-51.
8. Юн А.Б. Открытые горные работы в корпорации «Казахмыс» / А.Б. Юн, Е.А. Сапаков, В.Ю. Столбченко // Горный журнал. – 2005. – №5. – Спецвыпуск. С.30-33.
9. Юн А.Б. Проветривание протяженных тупиковых горных выработок / А.Б. Юн, В.Н. Костычев, А.Ж. Шайхин, А.К. Сагденов // Горный журнал. – 2005. – №5. – Спецвыпуск. С.22-23.
10. Юн А.Б. Отработка целиков из полевых выработок / А.Б. Юн, Т.М. Аханов, В.А. Урумов, М.Ж. Унгитбаев, Б.Ш. Аймышев // Горный журнал. – 2006. – №2. С.42-44.
11. Юн А.Б. Выбор концепции стабилизации геомеханической ситуации на Жезказганском месторождении / А.Б. Юн, Т.Н. Бочкарева, И.В. Терентьева // Маркшейдерский вестник. – 2015. – №2. С.47-52.

12. Рыльникова М.В. Перспективы и стратегия освоения Жезказганского месторождения / М.В. Рыльникова, А.Б. Юн, И.В. Терентьева // Горный журнал. – 2015. – №5. С.44-49.
13. Рыльникова М.В. Второе дыхание Жезказгана / М.В. Рыльникова, А.Б. Юн, И.В. Терентьева // Горная промышленность. – 2015. – №3. С. 32-34.
14. Рыльникова М.В. Об утилизации отходов горного и обогащительного производств на Жезказганском месторождении / М.В. Рыльникова, А.Б. Юн, И.В. Терентьева // Маркшейдерский вестник. – №6. – 2015. – С.13-16.
15. Юн А.Б. Дифференциация запасов Жезказганского месторождения как основа выбора технологии экологически сбалансированного освоения недр / А.Б. Юн, И.В. Терентьева, Т.Н. Бочкарева // Горный журнал. – 2016. – №5. С 63-68.

Патентах

16. Инновационный патент на изобретение Респ.Казахстан №22191. Способ выемки целиков / А.Б.Юн, Т.М. Аханов, А.И. Имангалиев // – Заявл. 31.12.2008г. Офф. бюлл. – №1 – 2010 год.
17. Инновационный патент на изобретение Респ.Казахстан №9155. Способ выемки целиков / Н.И. Мальшакова, А.И. Имангалиев, И.Д. Кондров, О.Н. Зайцев, М.К. Алипбергенов, А.Б. Юн, Е.А. Сапаков // Заявл. 12.04.1999г.
18. Инновационный патент на изобретение Респ.Казахстан №26278. Способ извлечения меди чановым выщелачиванием из труднообогатимых руд / А.Б. Юн, Т.Е. Токбулатов, В.А. Чен, И.В. Терентьева // Заявл. 24.11.2011г. Офф. бюлл. – №10 – 2012 год.
19. Инновационный патент на изобретение Респ.Казахстан №26230. Комбинированный способ извлечения меди из смешанных руд / А.Б. Юн, Т.Е. Токбулатов, В.А. Чен, И.В. Терентьева // Заявл. 02.12.2011г. Офф. бюлл. – №10 – 2012 год.
20. Инновационный патент на изобретение Респ.Казахстан №26628. Комбинированная шахтная печь для сушки и обжига / А.Б.Юн, Т.Е. Токбулатов, К.Ж. Жумашев, В.А. Чен, И.В. Терентьева // Заявл. от 26.03.2012г. Офф. бюлл. – №12 – 2012 год.

21. Инновационный патент на изобретение Респ.Казахстан №26394. Термогидрометаллургический способ комплексной переработки концентратов бедных забалансовых сульфидных руд / А.Б. Юн, Т.Е. Токбулатов, К.Ж. Жумашев, В.А. Чен, И.В. Терентьева // Заявл. 26.03.2012г. Офф. бюлл. – № 11 – 2012 год.
22. Инновационный патент на изобретение Респ.Казахстан №26368. Способ флотации медных руд / А.Б. Юн, Т.Е. Токбулатов, В.А. Чен, И.В. Терентьева // Заявл. от 26.03.2012г. Офф. бюлл. – №11 – 2012 год.
23. Инновационный патент на изобретение Респ.Казахстан №26469. Способ комплексной переработки бедных забалансовых руд / А.Б. Юн, Т.Е. Токбулатов, В.А. Чен, И.В. Терентьева // Заявл. от 02.04.2012г. Офф. бюлл. – №12 – 2012 год.
24. Инновационный патент на изобретение Респ.Казахстан №29308. Обжиговая шахтная печь для непрерывной сушки, обжига и охлаждения гранулированных материалов / В.П. Малышев, А.Б. Юн, К.Ж. Жумашев, В.А. Ларионов, С.В. Захарьян, Л.М. Каримова, Е.Т. Кайралапов, В.А. Чен, И.В. Терентьева, И.А. Назаренко, А.М. Макашева, Н.Ж. Айбеков // Заявл. от 26.09.2013г. Офф. бюлл. – №12 – 2014 год.
25. Инновационный патент на изобретение Респ.Казахстан №29515. Способ комплексной переработки черновых сульфидных концентратов / А.Б. Юн, С.В. Захарьян, Л.М. Каримова, В.А. Чен С.В., И.В. Терентьева // Заявл. от 14.05.2014г. Офф. бюлл. – №2 – 2015 год.
26. Инновационный патент на изобретение Респ.Казахстан №29606. Способ комплексной переработки серебросодержащих забалансовых сульфидных руд и концентратов / А.Б. Юн, С.В. Захарьян, Л.М. Каримова, В.А. Чен, И.В. Терентьева // Заявл. от 14.05.2014г. Офф. бюлл. – №3 – 2015 год.
27. Инновационный патент на изобретение Респ.Казахстан №29755. Способ переработки окисленных и смешанных медных руд / А.Б. Юн, С.В. Захарьян, Л.М. Каримова, В.А. Чен, И.В. Терентьева // Заявл. от 14.05.2014г. Офф. бюлл. – №4 – 2012 год.

В прочих изданиях

28. Юн А.Б. Статистический критерий устойчивости целиков на рудниках Жезказгана / А.Б. Юн, К.И. Чарковский, С.В. Исаев, Д.В. Мосякин // В кн.: Новые идеи в науках о земле. – М.: МГГА. – 1999. – Т.3. С.108.
29. Юн А.Б. Параметры геомеханических процессов при разработке Жезказганского месторождения / В кн.: Геодинамика и напряженное состояние земных недр / А.Б. Юн, А.Б. Макаров, Ю.А. Сосунов// Новосибирск, ИГД СО РАН. – 1999. С.37.
30. Юн А.Б. Оценка геомеханической ситуации на Жезказганском месторождении / А.Б. Юн, А.Б. Макаров // В кн.: Первая международная школа-семинар «Прогноз, предупреждение горных ударов». – Красноярск. – 2001. С.84-87.
31. Юн А.Б. Изучение сохранности гранул черновых медных концентратов, полученных из отвальных хвостов обогащения для хлорирующего обжига / А.Б. Юн, С.В. Захарьян, В.А. Чен, Л.М. Каримова, И.В. Терентьева // Сборник материалов X Международной научно-практической конференции «Новое слово в науке и практике: гипотезы и апробация результатов исследований». – 2014. – С.83-88.
32. Юн А.Б. Получение железного купороса из сбросных кислых растворов / А.Б. Юн, С.В. Захарьян, В.А. Чен, Л.М. Каримова, И.В. Терентьева // Сборник материалов Международной конференции «Наука в эпоху дисбалансов». – 2014. – Часть 2. – С.52-54.
33. Юн А.Б. Прочность гранул и хлорирующий обжиг чернового концентрата из отвальных хвостов Жезказганской обогатительной фабрики / А.Б. Юн, С.В. Захарьян, В.А. Чен, Л.М. Каримова, И.В. Терентьева // EngineeringScience: US OpenChemistry&ChemicalEngineeringJournal. – 2014. – Vol. 1. – №2. – С.1-7. www.arepub.com.
34. Юн А.Б. Исследования сорбции рения в скоростном динамическом варианте из промывной кислоты сернокислого цеха Балхашского медеплавильного завода / А.Б. Юн, С.В. Захарьян, Э.И. Гедгагов, И.В. Терентьева // Сборник материалов международной конференции «Рений и Технеций – 2014». – Франция, г.Ла Боль. – 2014. С. 58.

35. Юн А.Б. Исследования десорбции рения в скоростном динамическом варианте для низкосортных ионитов макропористой структуры / А.Б. Юн, С.В. Захарьян, Э.И. Гедгагов, В.А. Чен // Сборник материалов международной конференции «Рений и Технеций – 2014». – Франция, г.Ла Боль. – 2014. С.60.
36. Юн А.Б. Изучение процесса выщелачивания обожженного чернового медного концентрата в водном растворе хлоридов натрия и серной кислоты / А.Б. Юн, С.В. Захарьян, В.А. Чен, Л.М. Каримова, И.В. Терентьева // Наука и технологии – Технология металлов. – 2014. – №12. – С. 3-8.
37. Юн А.Б. Комплексная переработка лежалых хвостов Жезказганской обогатительной фабрики / А.Б. Юн, С.В. Захарьян, В.А. Чен, Л.М. Каримова, И.В. Терентьева // Сборник материалов Международного Научного Конгресса «Управление научным потенциалом стран и регионов», г. Копенгаген, Дания. – 2014. – Часть 2. – С.7-13.
38. Юн А.Б. Исследования по извлечению меди из смешанных руд месторождения Таскора / А.Б. Юн, С.В. Захарьян, В.А. Чен, Л.М. Каримова, И.В. Терентьева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – №6. – С.377-381.
39. Юн А.Б. Гидрометаллургическая переработка кека автоклавного выщелачивания цинкового концентрата Балхашского цинкового / А.Б. Юн, С.В. Захарьян, В.А. Чен, Л.М. Каримова, И.В. Терентьева // Сборник материалов X Международной научно-практической конференции «Рециклинг, переработка отходов и чистые технологии». – Москва. – 2014. – С.48-50.
40. Юн А.Б. Исследования по извлечению золота из кека выщелачивания обожженного чернового концентрата / А.Б. Юн, С.В. Захарьян, В.А. Чен, Л.М. Каримова, И.В. Терентьева // Сборник научных трудов «Актуальные вопросы современной науки». – 2014. – Выпуск 37. – С.52-58.
41. Юн А.Б. Выщелачивание руд и техногенного сырья – условие устойчивого развития региона при доработке Жезказганского месторождения / А.Б. Юн, И.В. Терентьева // VIII Международная конференция «Комбинированная

- геотехнология: устойчивое и экологически сбалансированное освоение недр». – г. Магнитогорск. – 2015. – С. 27-28.
42. Юн А.Б. Вовлечение техногенной сырьевой базы горнопромышленного региона в рамках стратегии комплексного экологически сбалансированного освоения Жезказганского месторождения / А.Б. Юн, И.В. Терентьева // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Под редакцией академика К.Н. Трубецкого – М.: ИПКОН РАН. – 2016. – С.288-291.
43. Юн А.Б. Комплексная переработка смешанной медной руды месторождения «Таскора» / А.Б. Юн, С.В. Захарьян, Л.М. Каримова, О.М. Синянская, И.В. Терентьева, А.У. Серикбай // Материалы Международной научно-практической конференции Абишевские чтения-2016 «Инновации в комплексной переработке минерального сырья». – Алматы. – 2016. – С. 577-580.
44. Юн А.Б. Исследования по азотнокислному выщелачиванию чернового медного концентрата ЖОФ из руд текущей добычи ТОО «Корпорация Казахмыс» / А.Б.Юн, С.В. Захарьян, Л.М. Каримова, И.В. Терентьева, А.У. Серикбай // Материалы Международной научно-практической конференции Абишевские чтения-2016 «Инновации в комплексной переработке минерального сырья». – Алматы. – 2016. – С. 581-583.