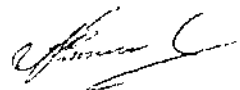


На правах рукописи



АВЕРЬЯНОВ КОНСТАНТИН АНАТОЛЬЕВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ АКТИВНОЙ УТИЛИЗАЦИИ
ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОМПЛЕКСНОГО
ОСВОЕНИЯ МЕДНО-КОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛА**

**Специальности 25.00.22 – «Геотехнология
(подземная, открытая и строительная)»,
25.00. 21 – «Теоретические основы проектирования
горнотехнических систем»**

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

Магнитогорск 2012

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор
Рыльникова Марина Владимировна

Официальные оппоненты:

Савич Игорь Николаевич
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО МГТУ

Пацкевич Петр Геннадьевич
кандидат технических наук,
с.п.с. ИПКОН РАН

Ведущая организация:

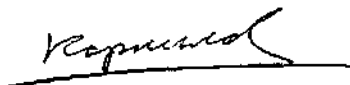
Институт горного дела Уральского
отделения Российской академии наук
(ИГД УрО РАН), г. Екатеринбург

Защита диссертации состоится «24» мая 2012 г. в 15.30 ч. на заседании диссертационного совета Д 212.111.02 при ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по адресу 455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38, малый актов. зал. Тел./факс: 8(3519)29-84-26.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Автореферат разослан «23» апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук



Корнилов Сергей Николаевич

2012A
12547

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

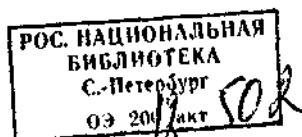
Актуальность работы

В современных условиях комплексное освоение недр предусматривает наличие двух неотъемлемых условий – безотходное или малоотходное использование всех вовлекаемых в ходе освоения участка недр георесурсов и извлечение их рациональным сочетанием технологических процессов и оборудования различных геотехнологий. Причем одно без другого либо невозможно, либо явно неэффективно.

В аспекте комплексного освоения рудных месторождений техногенное сырье все более утверждается в качестве важного компонента минерально-сырьевой базы. Вместе с тем, анализ мирового опыта проектирования геотехнологий свидетельствует, что лишь при разработке 15% мощных рудных месторождений проектами предусмотрено какое-либо использование отходов добычи и переработки руд. В результате недостаточно активной утилизации некондиционного сырья на горнодобывающих предприятиях Южного Урала, разрабатывающих месторождения медно-колчеданных руд, накоплена мощная техногенная сырьевая база, представленная: отвалами вскрышных пород и бедных руд; залежами некондиционных руд, частично вскрытых карьерами и выработками действующих подземных рудников; минерализованными рудничными водами; отходами обогащения и металлургического производства, складированными в хранилища. При этом, до настоящего времени формирование техногенных образований осуществляется на основе традиционных требований к складированию отходов производства. Например, формирование хвостохранилищ происходит в основном бессистемно, и установление закономерностей распределения ценных компонентов и структуры сформированных массивов является сложной и часто технически неразрешимой задачей. Как правило, хвостохранилища и отвалы бедных руд формируются без учета возможностей и целесообразности их последующей эксплуатации в краткосрочной перспективе или в будущем.

Развитие идей комплексного освоения недр в современных условиях должно быть направлено, прежде всего, на обоснование, разработку и внедрение в практику проектирования горных предприятий технологий управляемого обращения с отходами добычи и переработки руд. Такие технологии должны предусматривать активную утилизацию некондиционного сырья – своевременное формирование техногенных месторождений, переработку сырья и складирование отходов в выработанных пространствах карьеров и шахт. Поэтому обоснование эффективных геотехнологий активной утилизации техногенного сырья при проектировании комплексного освоения медно-колчеданных месторождений Урала представляет весьма актуальную задачу.

Целью работы является разработка геотехнологий активной утилизации техногенного сырья, обеспечивающих повышение эффективности и полноты использования недр, и обоснование методики их выбора при проектировании комплексного освоения рудных месторождений.



Идея работы состоит в том, что повышение эффективности и полноты использования месторождений медно-колчеданных руд обеспечивается учетом при проектировании их разработки показателя экономической эффективности геотехнологий активной утилизации техногенного сырья, выраженного через индекс доходности.

Задачи исследований:

- анализ условий образования и опыта использования техногенного сырья, исследование особенностей вещественного состава и структурных характеристик техногенных образований, сопутствующих разработке месторождений медно-колчеданных руд;
- обоснование направлений утилизации техногенного сырья в полном цикле комплексного освоения медно-колчеданных месторождений;
- структуризация геотехнологических модулей и разработка прототипов технологических решений по активной утилизации техногенного сырья;
- разработка методики выбора рациональной геотехнологии активной утилизации техногенного сырья при проектировании комплексного освоения медно-колчеданных месторождений;
- разработка технологических рекомендаций по активной утилизации техногенного сырья при разработке медно-колчеданных месторождений и оценка их экономической эффективности.

Для решения поставленных задач в качестве **объекта исследований** выбрано техногенное сырье и техногенные образования, формируемые при комплексном освоении медно-колчеданных месторождений.

Методы исследований

В работе использован комплексный метод исследований, включающий анализ структурных характеристик техногенных массивов и условий образования и складирования отходов в ходе разработки медно-колчеданных месторождений, экономико-математическое моделирование, технико-экономическая оценка, статистическая обработка результатов исследований.

В качестве методологической основы исследований в работе заложен принцип комплексного освоения участка недр в полном геотехнологическом цикле, предусматривающем разработку месторождений рациональным сочетанием физико-технических и физико-химических геотехнологий с утилизацией отходов в выработанном пространстве недр.

Положения, выносимые на защиту:

1. Повышение эффективности и комплексности освоения медно-колчеданных месторождений достигается активной утилизацией техногенного сырья, предусматривающей наиболее полное использование его качества путем соответствующей своевременной подготовки по мере образования и хранения к последующей эффективной эксплуатации на протяжении всего срока разработки месторождения.

2. Своевременное использование техногенного сырья предусматривает его подготовку по мере образования (классификацию по крупности,



обезвоживание, структурообразование, поризацию, окисление, иное преобразование вещественного состава) для последующего вовлечения в эффективную эксплуатацию предпочтительной технологией активной утилизации, выбор которой осуществляется в зависимости от индекса доходности (i_d).

3. При $i_d \geq 0,12$ активную утилизацию следует производить путем формирования техногенных месторождений для их разработки в краткосрочной перспективе; при $0,05 \leq i_d \leq 0,12$ целесообразно формировать техногенные образования для их разработки в долгосрочной перспективе; при $i_d \leq 0,05$ текущие отходы целесообразно складировать в выработанном пространстве недр.

4. В зависимости от приведенного содержания в техногенном сырье ценных компонентов β (%), годового объема его утилизации Q (млн.т) и уровня извлечения по приведенному металлу ε (д.е.):

- при $\beta \geq 0,25Q^{-0,057}\varepsilon^{-1,018}$ перспективно структурирование крупнокускового сырья по гранулометрическому составу, либо обезвоживание и окомкование тонкодисперсного сырья для укладки в штабеля выщелачивания;

- при $0,25Q^{-0,057}\varepsilon^{-1,018} \leq \beta \leq 0,19Q^{-0,09}\varepsilon^{-1,1}$ целесообразно обезвоживание, поризация, окисление тонкодисперсного колчеданного сырья, сохранение качества для реализации физико-химических технологий в будущем;

- при $\beta < 0,19Q^{-0,09}\varepsilon^{-1,1}$ предпочтительно обезвоживание и складирование сырья в выработанном пространстве карьеров и шахт.

Научная новизна работы:

1. Классификация направлений активной утилизации некондиционного медно-колчеданного сырья в зависимости от условий его формирования и ценности.
2. Структуризация модулей горнотехнической системы, предусматривающих активную утилизацию техногенного сырья различного качества, по технологическим процессам, позволяющая сформировать прототипы технологических решений для повышения эффективности и комплексности освоения рудных месторождений.
3. Методика выбора технологий активной утилизации техногенного сырья, базирующаяся на учете его качества и условий формирования, использование которой при проектировании горнотехнических систем повышает эффективность и полную освоения медно-колчеданных месторождений.

Достоверность научных положений, выводов и результатов обеспечивается надежностью и представительностью исходных данных; адекватностью разработанной имитационной модели условиям функционирования горнотехнических систем; сопоставимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, обработанных методами математической статистики; использованием современного оборудования и апробированных методик.

Практическая значимость работы состоит в разработке конструкций геотехнологических модулей активной утилизации техногенного сырья при комплексном освоении рудных месторождений в различных горно-геологических и горнотехнических условиях и в обосновании параметров технологии активной утилизации техногенного сырья при освоении Учалинского медно-колчеданного месторождения.

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

Результаты исследований используются при чтении курсов «Комплексное освоение недр», «Комплексное освоение рудных месторождений» и «Основы разработки техногенных образований» в ФГБОУ ВПО «Московский государственный горный университет», «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» и «РГТРУ им. С. Орджоникидзе».

Личный вклад автора состоит в обосновании методики и проведении моделирования геотехнологий активной утилизации техногенного сырья при комплексном освоении медно-колчеданных месторождений с установлением зависимостей индекса доходности геотехнологий от объемов и качества техногенного сырья, уровня извлечения ценных компонентов, а также в разработке рекомендаций по утилизации техногенного сырья при разработке Учалинского месторождения.

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в 6 печатных работах, в том числе 4 - в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Апробация работы. Основные результаты, положения и выводы докладывались и обсуждались на Международном симпозиуме «Неделя горняка» (Москва, 2011, 2012 гг.); VI Международной конференции «Комбинированная геотехнология: теория и практика реализации полного цикла комплексного освоения недр» (Магнитогорск, 2011 г.); V Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Проблемы недропользования» (Екатеринбург, 2011); 68, 69 научно-технических конференциях Магнитогорского государственного технического университета (2010-2012 гг.); технических советах Учалинского ГОКа (Учалы, 2011, 2012 гг.).

Объем и структура работы:

Диссертация представлена на 172 страницах, состоит из введения, 4 глав, заключения и содержит 39 рисунков, 19 таблиц, библиографический список из 117 наименований и одно приложение.

Автор выражает благодарность научному руководителю работ по государственному контракту академику К.Н. Трубецкому, чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунову, проф., д-ру техн. наук М.В. Рыльниковой за ценные советы в подготовке диссертации, а также сотрудникам Отдела теории проектирования освоения недр ИПКОН РАН и кафедры ПРМПИ МГТУ им. Г.И. Носова, а также руководству Учалинского горно-обогатительного комбината за помощь при проведении лабораторных исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Тенденцией развития науки и техники в области рационального природопользования в России и за рубежом является разработка и внедрение технологий, направленных на повышение полноты и комплексности использования природного и техногенного рудного сырья для повышения эффективности и экологизации горного производства.

Особое значение при решении экологических проблем горнопромышленного комплекса имеет своевременное использование накопленного техногенного сырья и текущих отходов (хвосты обогатительных фабрик и металлургические шлаки, отвалы бедных руд и вскрышных пород, рудничные воды и др.). Вместе с тем, до настоящего времени отходы производства не являются полноценной частью сырьевого комплекса предприятий, складываются и длительное время хранятся, загрязняя окружающую среду.

Изыскание новых решений в области геотехнологий добычи и переработки рудных полезных ископаемых с активной утилизацией некондиционного сырья, исключаящих долговременное складирование его на земной поверхности и загрязнение окружающей среды и обеспечивающих повышение полноты и комплексности освоения рудных месторождений за счет вовлечения отходов в эффективную промышленную эксплуатацию, является актуальной задачей, требующей решения.

Ведущим научным направлением комплексного освоения рудных месторождений является целенаправленное формирование из некондиционного сырья техногенных месторождений с заданными технологическими характеристиками. Это направление было сформировано в 90-е гг. 20 века сотрудниками ИПКОН АН СССР и ИГД АН КазССР под руководством академика К.Н. Трубецкого. Ими заложены теоретические основы формирования техногенных месторождений, как одного из путей решения проблемы рационального природопользования и ресурсосбережения, охраны недр и защиты окружающей среды от антропогенного воздействия.

В разные годы решением проблемы формирования техногенных месторождений с заданными параметрами для их последующей разработки занимались академик К.Н. Трубецкой, профессора А.Е. Воробьев, С.Е. Гавришев, В.И. Голик, С.А. Голяк, В.Г. Зотеев, О.В. Зотеев, Г.В. Секисов, В.Н. Умаец, М.И. Фазлуллин и др. В трудах этих ученых даны классификации отходов горно-перерабатывающих производств, обоснованы требования к качеству техногенного сырья, определены основы разведки и разработки техногенных образований, освещены эколого-экономические аспекты.

В области проектирования горных предприятий с комплексным использованием некондиционного сырья выделяются труды академиков М.И. Агошкова, К.Н. Трубецкого, чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунова, профессоров О.З. Габараева, В.Н. Калмыкова, Ю.А. Мамасва, М.В. Рыльниковой, И.Н. Савича, С.А. Филипова и др. В их трудах даны классификации техногенных объектов,

рассмотрены основные положения и принципы проектирования освоения рудных месторождений с комплексным использованием отходов их переработки, являющиеся основой для составления нормативных документов различного уровня.

Исследованию свойств и разработке технологий переработки отходов горно-перерабатывающего комплекса посвящены работы академика В.А. Чантурия, профессоров В.Ж. Аренса, В.К. Бубнова, В.З. Козина, Ю.П. Морозова, П.М. Соложенкина, Б.Д. Халезова, И.В. Шадроиновой и др. Анализ работ, посвященных исследованию отходов добычи и переработки руд медно-колчеданных месторождений, показал, что в настоящее время создан существенный научно-практический задел для их применения и внедрения технологий активной утилизации техногенного сырья на вновь проектируемых к разработке месторождениях и находящихся в стадии эксплуатации.

Анализ ранее выполненных работ и современных научных исследований в области обращения с отходами горно-обогатительного производства свидетельствует, что промышленному внедрению геотехнологий формирования и разработки техногенных образований препятствует отсутствие апробированных методик выбора технологий активной утилизации техногенного сырья. При этом под активной утилизацией понимается наиболее полное использование качества техногенного сырья путем соответствующей своевременной подготовки по мере образования и хранения к последующей эффективной эксплуатации на протяжении всего срока разработки месторождения.

При обосновании направлений активной утилизации некондиционного сырья при комплексном освоении рудных месторождений выбор технологических схем должен производиться с учетом всех специфических особенностей горно-геологических условий природных и техногенных месторождений, вещественного состава руд и образующихся отходов.

Учитывая существенное влияние на выбор способа утилизации техногенного сырья его качественного состава, условий формирования, складирования и хранения, направления технологий активной утилизации отходов разделены на 5 групп, определяющих возможности и перспективы разработки техногенных образований и использования сырья (рис. 1).

Группа I. В эту группу входят технологии складирования в выработанном пространстве карьера и подземного рудника вмещающих пород и обезвоженных хвостов обогащения руд, не имеющих товарной ценности и рыночного спроса. Утилизация обеспечивает сокращение объема складирования отходов на поверхности, решение вопросов управления состоянием подработанного массива, повышение устойчивости горных конструкций, рекультивацию территорий.

Геотехнологии этого направления предполагают обезвоживание техногенного сырья, его доставку и складирование в выработанные пространства рудников, изоляцию близлежащих подземных выработок,

гидроизоляцию отходов для предотвращения загрязнения окружающей среды, рекультивацию поверхности с целью исключения пылеобразования и облагораживания природного ландшафта.

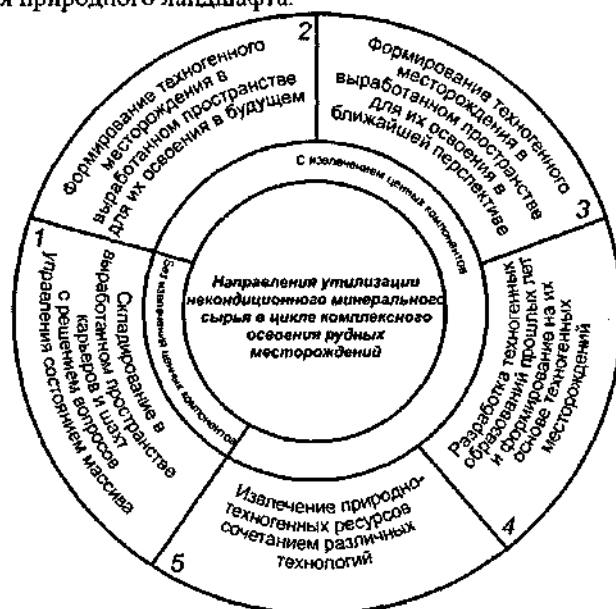


Рисунок 1 – Направления активной утилизации техногенного сырья

Группа II. Геотехнологии второй группы предусматривают создание в выработанном пространстве карьеров и подземных рудников техногенных месторождений с заданными технологическими характеристиками для их освоения в долгосрочной перспективе. Реализация этого направления предполагает формирование горнотехнических конструкций для складирования техногенного сырья с геомеханическим обоснованием параметров оснований, перегородок, дамб, откосов с заданными геометрическими параметрами, обеспечивающих эффективную эксплуатацию техногенного сырья в будущем. Геотехнологии данной группы предполагают целенаправленное изменение влажности и механических характеристик отходов, раздельное размещение сырья различного качества, обеспечение заданной структуры массива, например, путем поризации, трещинообразования, создание условий для вторичной минерализации и интенсификации процессов окисления путем введения химических и биологических агентов и т.д.

Группа III. Технологии третьей группы предусматривают формирование техногенных месторождений в выработанном пространстве карьеров, в подземных выработках, на поверхности для их разработки в краткосрочной перспективе. Они включают обезвоживание тонкодисперсного сырья, его окомкование, либо дробление и грохочение крупнокусковых фракций отходов с

оптимизацией грансостава с целью обеспечения требуемых фильтрационных характеристик формируемых техногенных массивов и создание условий для их орошения и сбора продуктивных растворов. Эксплуатация техногенного месторождения предпочтительна методами кучного, либо скважинного выщелачивания с оптимизацией состава растворителей и режимов их подачи и реализацией мероприятий по интенсификации процессов извлечения ценных компонентов.

Группа IV предусматривает разработку техногенных образований прошлых лет с формированием на их основе техногенных месторождений с заданными характеристиками вещественного состава, структуры, технологических свойств сырья для последующей его эффективной эксплуатации. Геотехнологии данной группы базируются на детальном геолого-технологическом изучении свойств техногенного сырья с установлением закономерностей зонального распределения ценных компонентов, изменения физико-механических характеристик и структуры массивов по глубине и площади. На базе этого производится выбор технологии добычи техногенного сырья с последующим его разделением различными методами сепарации, оценивается целесообразность переработки того или иного вида лежалых отходов методами обогащения, чанового, автоклавного, либо кучного выщелачивания.

Группа V. При разработке месторождений в недрах Земли обычно остаются природно-техногенные запасы, не включенные в проект отработки по условиям безопасности или ввиду некондиционности сырья. Например, это целики, оставленные на границе карьеров и служащие для разделения открытых и подземных горных работ, поддержания бортов карьеров в устойчивом состоянии. Выемка этих запасов осложнена высокой нарушенностью массивов, наличием аэродинамических связей очистного пространства с атмосферой карьеров, низкой устойчивостью подработанных бортов карьеров, находящихся в предельном состоянии, и характеризуется повышенными показателями потерь и разубоживания при разработке.

Геотехнологии активной утилизации сырья групп I-IV предполагают его размещение и последующую эксплуатацию с отдельным складированием каждого вида отходов, соответствующую их подготовку, транспортирование в выработанные пространства карьеров и шахт, изменение структуры и вещественного состава в ходе формирования и хранения под воздействием природных и техногенных факторов для эффективной последующей разработки техногенных образований и переработки минерального сырья. Эти геотехнологии должны в полной мере учитывать особенности физико-механических, химических и технологических свойств утилизируемых отходов.

В соответствии с указанными направлениями активной утилизации некондиционного сырья выбор предпочтительной геотехнологии следует осуществлять по известному критерию - индексу доходности, который представляет собой отношение суммарного дохода, полученного от вовлечения

в отработку различных видов техногенного сырья, к величине дисконтированных капитальных затрат (i_d):

$$I_{\text{ог}} = \frac{\sum_{t=0}^T \mathcal{E}_t}{\sum_{t=0}^T K_t \cdot \frac{1}{(1+d)^t}} \quad (1)$$

где \mathcal{E}_t – доход от реализации i -ой технологии, р./год; K_t – дисконтированные капитальные затраты на реализацию технологии активной утилизации сырья в t -ом году, р.; d – норма дисконта, д.е.; T – период отработки месторождения и утилизации техногенного сырья.

Доход от реализации геотехнологии активной утилизации техногенного сырья \mathcal{E}_t складывается из:

- стоимости дополнительной товарной продукции от реализации извлеченных из техногенного сырья ценных компонентов;
- экономии от снижения затрат на формирование и эксплуатацию отвалов и хвостохранилищ;
- снижения платежей при сокращении объемов размещенных на поверхности отходов;
- снижения платежей земельного налога и (или) арендной платы за землю в результате высвобождения земельных ресурсов при складировании отходов в выработанном пространстве рудников;
- снижения платежей за сброс загрязняющих веществ в водные объекты;
- снижения себестоимости закладочных работ при использовании техногенного сырья в составе закладочных смесей;
- экономии материальных ресурсов в процессах основного производства, например, при использовании цинкового купороса, получаемого при выщелачивании техногенного медно-колчеданного сырья.

В зависимости от значения индекса доходности геотехнологии определяется предельно допустимое содержание полезных компонентов в техногенных ресурсах, определяющее ту или иную геотехнологию их активной утилизации. По своей сути диапазон изменения индекса доходности определяет перспективность применения того или иного направления активной утилизации техногенного сырья с позиций возможности достижения экономических, экологических и социальных эффектов на прогнозируемый период – 20 лет (общепринятый максимальный срок экономических прогнозов).

С использованием классификации направлений активной утилизации техногенного сырья при комплексном освоении рудных месторождений (рис. 1) были разработаны прототипы горнотехнических систем активной утилизации техногенного сырья.

Типовые горнотехнические системы, представленные на рис. 2-а, б предусматривают складирование отходов в выработанном пространстве карьера или подземного рудника с решением вопросов управления состоянием подработанного массива и рекультивации поверхности.

а)

б)

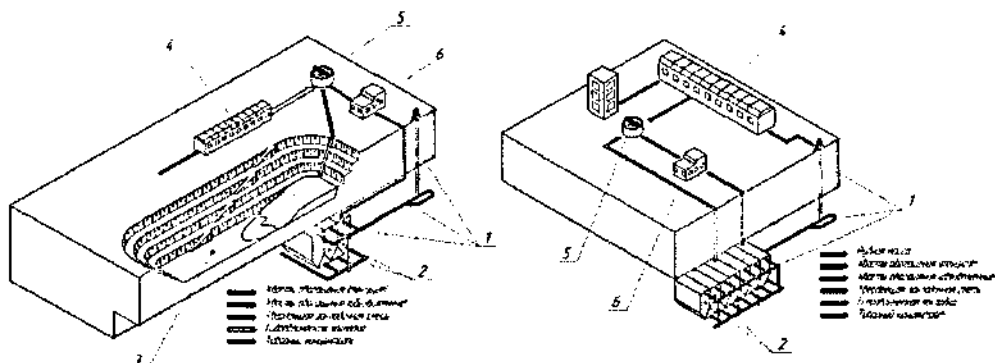


Рисунок 2 – Типовые горнотехнические системы утилизации техногенных отходов, не требующих доизвлечения ценных компонентов в выработанном пространстве карьеров (а) и шахты (б): 1 – выработки подземного рудника; 2 – очистное пространство подземных камер; 3 – отработанный карьер; 4 – обогатительная фабрика; 5 – комплекс по сгущению отходов обогащения руд; 6 – складочный комплекс

Анализ практики закладки выработанного пространства обезвоженными хвостами обогащения руд указал на достаточно высокую эффективность этих технологических схем ввиду использования доступного наполнителя, сокращения затрат на эксплуатацию хвостохранилищ, снижения налоговых выплат.

Исследованиями доказано, что наиболее перспективными геотехнологиями утилизации тонкодисперсных отходов обогащения руд для доизвлечения из них металлов являются физико-химические. Для их эффективной реализации целесообразно формирование техногенных месторождений в выработанном пространстве карьеров и шахт для их освоения в краткосрочной перспективе, либо в будущем.

Типовая горнотехническая система формирования техногенного месторождения на основе поризованных хвостов обогащения руд для его освоения в будущем представлена на рис. 3, а с применением новых геоматериалов для сохранения качества сырья на длительную перспективу на рис. 4.

Включение в проект разработки рудного месторождения технологий активной утилизации пекондиционного сырья позволяет экономить природное минеральное сырье за счет использования техногенного, получать дополнительную товарную продукцию, сократить площади отчуждаемых под различного рода хранилища земель, улучшить экологическую обстановку в регионе добычи.

Для проектирования горнотехнических систем комплексного освоения рудных месторождений, предусматривающих активную утилизацию техногенного сырья, сконструированы типовые геотехнологические модули. Структуризация модулей произведена по технологическим процессам.

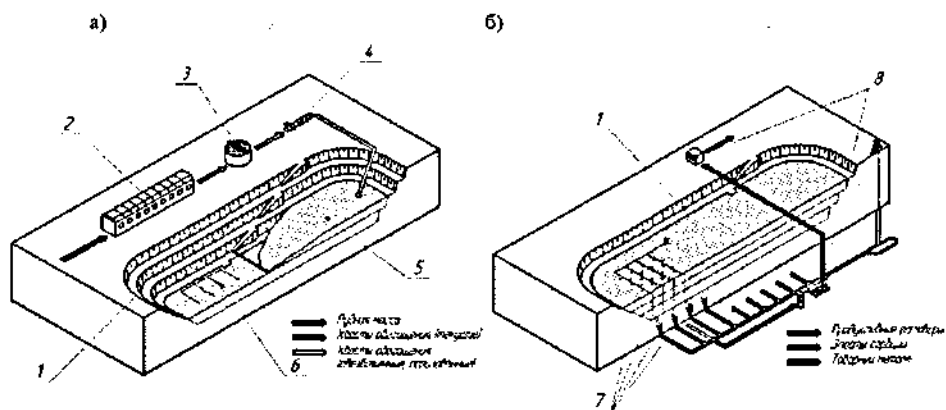


Рисунок 3 - Типовая горнотехническая система формирования (а) и разработки (б) техногенного месторождения: 1 - отработанный карьер; 2 - обогатительная фабрика; 3 - участок обезвоживания отходов обогащения; 4 - участок поризации сгущенных хвостов; 5 - участок возведения пористого массива; 6 - участок закисления пористого массива; 7 - система закачных и откачных скважин в сформированном пористом массиве; 8 - комплекс переработки продуктивных растворов

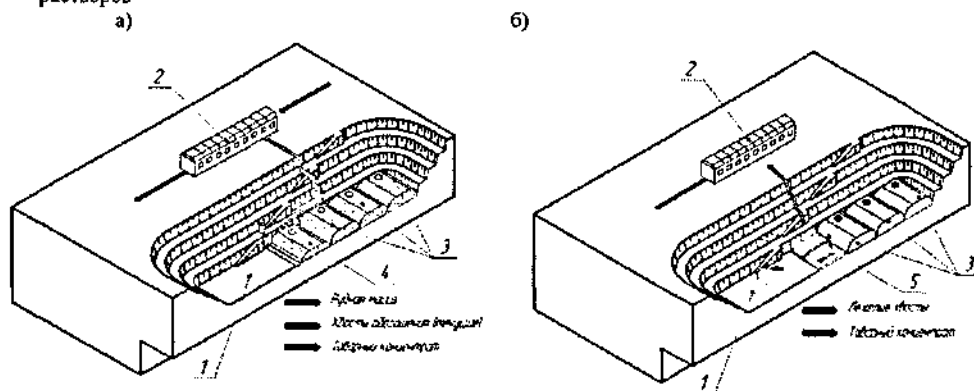
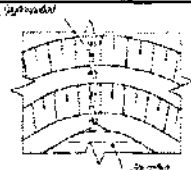
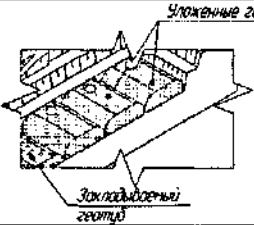
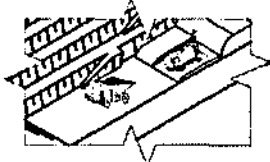


Рисунок 4 - Типовая горнотехническая система формирования (а) и разработки (б) техногенного месторождения с применением новых геоматериалов для сохранения качества техногенного сырья на длительную перспективу для освоения в будущем: 1 - отработанный карьер; 2 - обогатительная фабрика; 3 - контейнеры из геотекстиля с отходами обогащения; 4 - контейнер из геотекстиля на стадии заполнения хвостами обогащения; 5 - контейнер, разрабатываемый с целью извлечения отходов и их переработки

В качестве примера в табл. 1 приведены конструкции модулей, характеристика технологического пространства и результат реализации. Сочетание разработанных геотехнологических модулей позволяет при проектировании определить в целом конструкцию горнотехнической системы комплексного освоения месторождений для различных горно-геологических и горнотехнических условий разработки.

Таблица 1-Пример структуризации модулей горнотехнической системы с активной утилизацией некондиционного сырья

Технологический процесс	Конструкция геотехнологического модуля	Характеристика технологического пространства	Результат реализации модуля
1	2	3	4
Гидротранспортирование сгущенных отходов обогащения		Выработанное пространство карьера	Размещение пульпы в карьерном пространстве
Складирование текущих отходов обогащения в геотубы		Выработанное пространство карьера	Обезвоживание и изоляция сырья от внешних природных воздействий
Вскрытие геотубов, отгрузка сырья		Выработанное пространство карьера	Извлечение техногенного сырья известного качества

Для оценки влияния качества утилизируемого техногенного сырья на экономические показатели функционирования горнотехнических систем была разработана методика выбора технологий активной утилизации техногенного сырья на основе имитационного моделирования функционирования горного предприятия. Алгоритм выбора технологий активной утилизации техногенного сырья приведен на рис. 5. Реализация алгоритма произведена для условий комплексного освоения медно-колчеданных месторождений.

Результаты моделирования показали, что формирование техногенных месторождений для их разработки в краткосрочной перспективе предпочтительно при индексе доходности геотехнологии i_d : при $i_d \geq 0,12$ и сроке окупаемости затрат менее 8 лет, при $0,05 \leq i_d \leq 0,12$ целесообразно формировать техногенные образования для их разработки в долгосрочной перспективе; при $i_d \leq 0,05$ и сроке окупаемости затрат свыше 20 лет, не целесообразно извлечение ценных компонентов из текущих отходов и их предпочтительно складировать в выработанном пространстве недр.

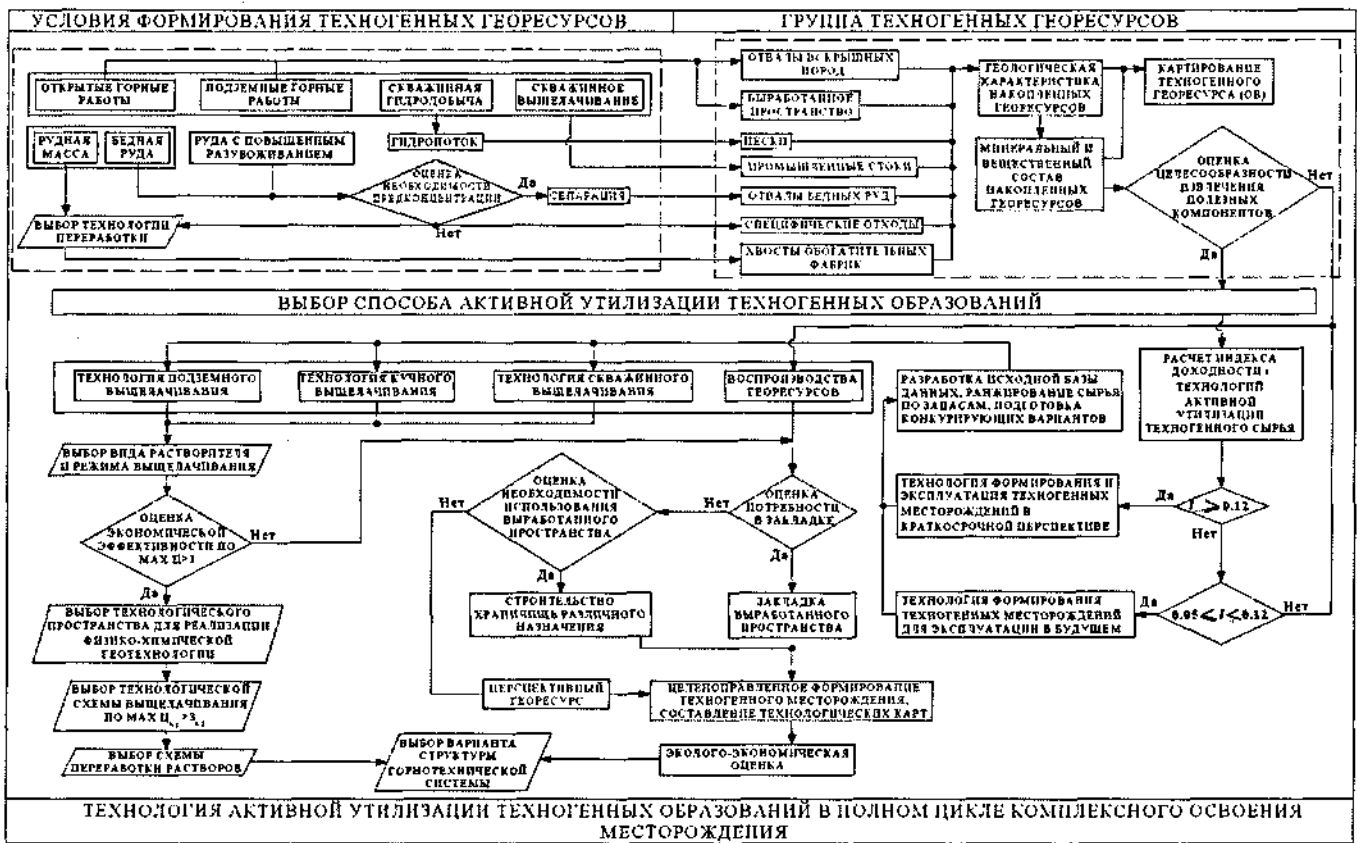


Рисунок 5 – Алгоритм выбора технологий активной утилизации техногенного сырья

Анализ результатов моделирования позволил сделать вывод, что рентабельность технологий утилизации хвостов обогащения с предварительным доизвлечением ценных компонентов физико-химическими методами (направления II и III, см. рис.1), либо без него (направление I, рис. 1) определяется объемом вовлекаемого в эксплуатацию сырья, содержанием в нем металлов и их товарной ценой. На рис. 6 показано влияние основных факторов на экономическую эффективность технологий активной утилизации техногенного сырья.

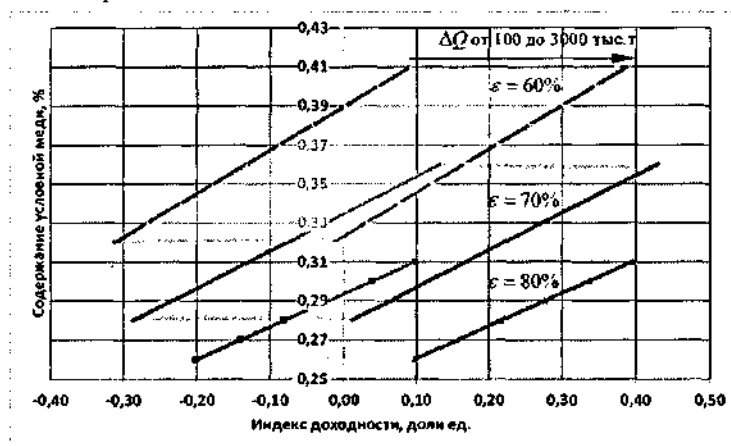


Рисунок 6 – Анализ чувствительности технологий активной утилизации некондиционного сырья к уровню извлечения условной меди при выщелачивании

Зависимость индекса доходности технологий кучного выщелачивания окомкованных медно-колчеданных хвостов обогащения различного качества при уровне извлечения меди 70 % от годового объема утилизируемого сырья представлена на рис. 7. Анализ данных свидетельствует, что технологии кучного выщелачивания окомкованных текущих хвостов обогащения в краткосрочной перспективе рентабельны только при весьма высоком содержании условной меди в хвостах – более 0,4 % и производительности свыше 500 тыс.т. При более низком содержании, например 0,36 %, данная технология может быть эффективна только при объеме утилизации хвостов не ниже 2,3 млн.т/год. Причем, чем выше индекс доходности геотехнологии, тем ниже риск ее реализации. В диапазоне значений индекса доходности ниже 0,05 находится область, свидетельствующая о нецелесообразности доизвлечения ценных компонентов из хвостов при содержании в них условного металла 0,32-0,34 % при любой производительности. Такие отходы подлежат утилизации в выработанном пространстве карьера.



Рисунок 7 – Зависимость индекса доходности технологий активной утилизации некондиционного сырья от объема его вовлечения в эксплуатацию ($\epsilon_{\text{с}}^{\text{ул}} = 70\%$)

Расчеты показали, что обоснование параметров технологий формирования и эксплуатации техногенных образований предпочтительно производить на начальной стадии проектирования комплексного освоения рудных месторождений, так как в этом случае:

- а) существенно снижаются расходы на формирование и эксплуатацию хранилищ различного назначения и минимизируются платежи за размещение отходов;
- б) практически исключаются потери качества сырья в процессе хранения и формируются требуемые технологические характеристики сырья и техногенных массивов для их последующей разработки;
- в) сокращаются расходы на добычу техногенного сырья из ранее сформированных хранилищ;
- г) уменьшаются затраты на геолого-технологическое изучение техногенных образований;
- д) снижаются риски техногенных и экологических катастроф при эксплуатации хранилищ отходов;
- е) снижается плата за выбросы в окружающую среду.

На рис. 8-а приведены зависимости предельно допустимого содержания условной меди в хвостах от годового объема их утилизации в краткосрочной перспективе методом выщелачивания при уровне извлечения 60, 70 и 80 % ($I_{\text{доп}} \geq 0,12$). Это содержание должно быть выше $\beta = 0,25 Q^{-0,257} \epsilon^{-1,019}$. Допустимое содержание условной меди при котором эффективна реализация

технологии скважинного выщелачивания в будущем ($0,05 \leq i_d \leq 0,12$) приведено на рис. 8-б и составляет $\beta = 0,19Q^{-0,09} \varepsilon^{-1,1}$, где Q – годовой объем утилизации хвостов, млн.т., ε – извлечение условной меди, д.е.

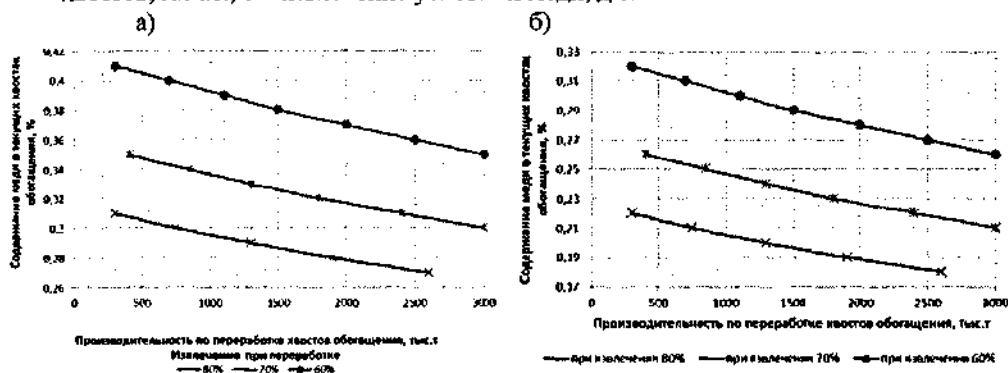


Рисунок 8 – Зависимость предельно допустимого содержания условной меди в хвостах обогащения руд от объема их утилизации для а) - формирования и разработки техногенного месторождения выщелачиванием в краткосрочной перспективе; б) – формирования и разработки техногенного месторождения в будущем

Предложенная методика была использована для определения предпочтительной технологии активной утилизации хвостов обогащения Учалинской обогатительной фабрики. В качестве альтернативных направлений рассматривались: кучное выщелачивание хвостов обогащения в выработанном пространстве Учалинского карьера после их предварительного окомкования, а также обезвоживание и складирование хвостов обогащения в карьерном пространстве.

Расчеты показали, что в связи с низким содержанием ценных компонентов в хвостах Учалинской обогатительной фабрики, переработка их выщелачиванием не перспективна в настоящее время и в будущем. ($i_d = 0,05$). Поэтому рекомендовано осуществлять обезвоживание хвостов и складировать их в выработанное пространство Учалинского карьера. Ожидаемый экономический эффект от внедрения технологии составит 217,2 млн.р/год. Экономический эффект достигнут за счет сокращения платежей за размещение отходов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся законченной научно-квалификационной работой, дано решение актуальной научно-технической задачи – предложена новая методика выбора геотехнологий активной утилизации техногенного

сырья, обеспечивающих повышение эффективности и полноты использования недр, при проектировании комплексного освоения рудных месторождений.

Основные результаты проведенных исследований заключаются в следующем:

1. На базе разработки и анализа технологических решений по вовлечению техногенного сырья в промышленную эксплуатацию при комплексном освоении рудных месторождений произведена классификация направлений его активной утилизации. В зависимости от качественного состава, условий формирования, складирования и хранения техногенного сырья, направления технологий его активной утилизации разделены на 5 групп.

2. Разработаны типовые геотехнологические модули активной утилизации техногенного сырья, сочетание которых позволило сформировать прототипы горнотехнических систем комплексного освоения рудных месторождений для различных горно-геологических и горнотехнических условий. Разработан алгоритм, экономико-математическая модель и методика выбора при проектировании комплексного освоения рудных месторождений направлений активной утилизации отходов. Апробация методики выполнена для условий утилизации отходов обогащения медно-колчеданных руд.

3. Установлены зависимости индекса доходности технологий активной утилизации техногенного сырья от объема его вовлечения в эксплуатацию. Доказано, что в современных условиях при $i_d \geq 0,12$ предпочтительны технологии формирования техногенных месторождений и их отработки выщелачиванием в краткосрочной перспективе при следующих условиях:

- извлечение условного металла 60 %, содержание условной меди более 0,46 % и производительность по переработке отходов свыше 2750 тыс.т./год;
- извлечение 70 %, содержание условной меди в хвостах свыше 0,36 % и производительность более 2300 тыс.т./год;
- извлечение 80 %, содержание не менее 0,31 %, а объем переработки отходов – 2590 тыс.т./год.

4. Установлены зависимости предельного содержания условного металла β , % от объема утилизации отходов Q , млн.т/год и уровня извлечения ценных компонентов при выщелачивании ε , д.е. вида: $\beta = a_1 Q^{a_2} \varepsilon^{a_3}$. Использование данной зависимости позволяет на стадии предпроектных расчетов оценить тот уровень остаточного содержания ценных компонентов в отходах обогащения, при котором будет рентабельно одно из предложенных направлений утилизации техногенного минерального сырья.

5. Доказано, что:

- при $\beta \geq 0,25 Q^{-0,057} \varepsilon^{-1,018}$ ($i_d \geq 0,12$) перспективно структурирование крупнокускового сырья по гранулометрическому составу, либо обезвоживание и окомкование тонкодисперсного сырья для укладки в штабеля выщелачивания;
- при $0,25 Q^{-0,057} \varepsilon^{-1,018} \leq \beta \leq 0,19 Q^{-0,09} \varepsilon^{-1,3}$ ($0,05 \leq i_d \leq 0,12$) целесообразно обезвоживание, поризация, окисление тонкодисперсного колчеданного сырья,

сохранение качества для реализации физико-химических технологий в будущем;
- при $\beta < 0,19 Q^{-0,65} \varepsilon^{-1,2}$ ($i_d \leq 0,05$) предпочтительно обезвоживание и складирование сырья в выработанном пространстве карьеров и шахт.

6. Произведено обоснование геотехнологий активной утилизации хвостов Учалинской обогатительной фабрики. Определена экономическая целесообразность складирования сгущенных хвостов в выработанном пространстве Учалинского карьера. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения технологии составит 217,2 млн.р.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Издания, рекомендованные ВАК Минобрнауки РФ

1. **Аверьянов К.А.** Изучение особенностей вещественного состава хвостов обогащения медно-колчеданных руд Учалинской обогатительной фабрики / Ангелов В.А., Ангелова Е.И. // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2012. - № 5. - С.362-368.
2. **Аверьянов К.А.** Развитие классификации техногенного сырья горных предприятий и обоснование технологий его активной утилизации / Ангелов В.А. Ахмедьянов И.Х., Рыльникова М.В. // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2012. - № 5. - С. 208-213.
3. **Аверьянов К.А.** Инновационные технологии комплексного освоения рудных месторождений с активной утилизацией некондиционного сырья / Ангелов В.А., Ахмедьянов И.Х., Матюшенко Г.А., Трубецкой К.Н. // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2012. - № 5. - С. 219-226.
4. **Аверьянов К.А.** Обоснование критерия сравнительной экономической эффективности технологий активной утилизации техногенного сырья / Милкин Д.А., Петрова О.В. // Маркшейдерский вестник, 2012. - № 2. - С. 20-24.

Прочие научные издания

5. **Аверьянов К.А.** Использование породных отвалов в качестве дополнительного источника минерального сырья при комплексном освоении медно-колчеданных месторождений Южного Урала / Емельяненко Е.А., Горбатова Е.А. // Проблемы недропользования: Материалы V Всероссийской молодежной научно-практической конференции (с участием иностранных ученых) 8-11 февраля 2011 г. ИГД УрО РАН. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. - С. 82-88.
6. **Аверьянов К.А.** Разработка способа формирования техногенного массива из хвостов обогащения / Ангелов В.А., Емельяненко Е.А., Рыльникова М.В. // Комбинированная геотехнология: теория и практика реализации полного цикла комплексного освоения недр. Материалы VI международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 2011. - С. 23-25.

Подписано в печать 20 апреля 2012 г.

Объем 1.0 печ. л.

Тираж 100 экз.

формат 60X90/16

Заказ № 17

Отпечатано: ООО "ПР-Капитал. Издательский Дом"



12-12547

20-12A
12547

12-12547