



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки

ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА

Уральского отделения Российской академии наук

(ИГД УрО РАН)

Мамина-Сибиряка ул., д. 58, Екатеринбург, 620075

тел. (343)350-21-86, факс (343)350-21-11

e-mail: direct@igduran.ru, http://igduran.ru

ОКПО 00190466, ОГРН 1026604961349,

ИНН/ КПП 6660004669/667001001

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ФГБУН ИГД УрО РАН

д.т.н. И.В. Соколов

«22» апреля 2024 г.



22.04.2024 № 01-13/22-261
На № _____ от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук» (ФГБУН ИГД УрО РАН)

на диссертацию Цупкиной Марии Владимировны

на тему: «Обоснование режима открытых горных работ на техногенных образованиях, сопряженных с эксплуатацией медно-колчеданных месторождений», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины» и 2.8.7 – «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем»

В ИГД УрО РАН представлена диссертация Цупкиной М.В. на тему «Обоснование режима открытых горных работ на техногенных образованиях, сопряженных с эксплуатацией медно-колчеданных месторождений», изложенная на 170 страницах машинописного текста, состоящая из введения, четырех глав, выводов по главам, заключения, включающего основные результаты, а также списка использованной литературы, насчитывающего 133 наименования, и автореферат диссертации. По результатам обсуждения материалов диссертации на расширенном научном семинаре отдела геомеханики (протокол № 3 от «18» апреля 2024 г.) принято следующее заключение.

1. Актуальность работы. Диссертация Цупкиной Марии Владимировны направлена на решение актуальной научно-практической задачи по обоснованию технико-технологических решений для эффективного вовлечения техногенного сырья в эксплуатацию с целью повышения полноты и комплексности освоения недр.



Система менеджмента качества ИГД УрО РАН признана соответствующей требованиям стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2015 и стандарта ISO 9001:2015. Система менеджмента сертифицирована Русским Регистром



Анализ практики продолжительного складирования и накопления на поверхности отходов горно-обогатительных комплексов при освоении месторождений твёрдых полезных ископаемых свидетельствует о том, что среди огромного количества источников загрязнения окружающей среды следует выделить отходы переработки медно-колчеданных руд, так как именно они представляют высокий класс опасности, что обусловлено активным окислением сульфидных минералов в процессе хранения в хвостохранилище, что способствует образованию в растворах достаточно высокой концентрации серной кислоты, которая служит хорошим растворителем и способствует образованию кислотного дренажа с последующей миграцией тяжелых металлов в окружающую среду. Кроме того, особенности преобразования вещественного состава техногенного сырья в ходе складирования и хранения, его неоднородное строение и структура техногенного массива, различия физико-механических свойств сырья обуславливают необходимость комплексных исследований техногенных образований с последующим районированием объекта в соответствии с выявленными физико-химическими, физико-механическими и минералогическими характеристиками для определения приоритетного направления развития фронта горных работ при эксплуатации хвостохранилища, на основании чего должно производиться обоснование режима горных работ, обеспечивающего планомерную, безопасную и экономически эффективную разработку хвостохранилища.

Таким образом, актуальность тематики диссертационной работы, обусловленная необходимостью разработки новых подходов к обоснованию режима открытых горных работ на техногенных образованиях, сопряженных с эксплуатацией медно-колчеданных месторождений, очевидна.

2. Общая характеристика содержания диссертации

Диссертация посвящена обоснованию режима горных работ, обеспечивающего планомерную, безопасную и эффективную разработку старогодних техногенных образований, сформированных из отходов переработки медно-колчеданных руд, для снижения экологической нагрузки и расширения минерально-сырьевой базы горнодобывающего предприятия. Поставленная в работе цель достигнута на основе анализа современных средств и методов оценки вещественного состава, строения, структуры техногенных образований – как основы для обоснования геотехнологии их



эффективного освоения, что позволяет повысить полноту освоения техногенных георесурсов и решить эколого-социальные проблемы горнопромышленных регионов.

В первой главе диссертации обобщен опыт оценки и эксплуатации техногенных образований в свете перспектив повышения полноты и комплексности освоения недр, выполнен анализ условий формирования и эксплуатации хранилищ отходов переработки медно-колчеданных руд, а также выделены особенности преобразования вещественного состава, структуры и свойств складированного в них техногенного сырья при окислении. Определены современные подходы к разработке старогодних хранилищ отходов переработки руд с целью вовлечения техногенного сырья в промышленный передел. Выполненное обобщение и систематизация практики оценки и эксплуатации техногенных минеральных образований позволили сформулировать цель, идею и методы исследования.

Во второй главе дано развитие научно-методических основ геотехнологии разработки хранилищ отходов переработки медно-колчеданных руд с учетом процессов сегрегации, цементации и вторичного минералообразования. На основании результатов геологической оценки старогоднего Сибайского хвостохранилища установлено, что для исследования возможности вовлечения в эксплуатацию техногенного сырья из хранилищ отходов переработки медно-колчеданных руд, а также для обоснования последовательности ведения горных работ при разработке техногенных образований необходимо проведение специальных исследований структуры, состава и свойств слагающего их сырья в динамике вторичного минералообразования с учетом значимых факторов (вещественного состава, физико-химических особенностей среды с учетом воздействия микробиологического фактора), влияющих на характер окислительных процессов и формирование зоны гипергенеза в целом. Для этого в ходе выполнения диссертационной работы предложен научно-методический подход к определению режима горных работ при эксплуатации техногенных образований из отходов переработки медно-колчеданных руд, отличающийся тем, что последовательность эффективной выемки техногенного сырья определяется на базе районирования техногенного образования с учетом доли растворимых минеральных форм, зависящей от развития стадий окисления техногенного сырья в зоне гипергенеза.

В третьей главе диссертации представлены результаты натуральных и лабораторных исследований, направленных на обоснование параметров открытой разработки



техногенных образований. Установлены закономерности строения, состава и свойств техногенного сырья в старогоднем хвостохранилище, определяющие порядок вовлечения техногенного сырья в зависимости от стадии его окисления, что в результате позволило обосновать режим горных работ для обеспечения эффективности разработки хвостохранилища. Разработаны рекомендации по эффективной разработке хранилищ отходов переработки медно-колчеданных руд совместно с освоением природного медно-колчеданного месторождения.

В четвертой главе проведена технико-экономическая оценка эффективности разработанных технико-технологических решений. На базе результатов выполненных исследований предложены технологические рекомендации по разработке старогоднего хвостохранилища с использованием блочной модели, обоснована приоритетная геотехнологическая схема эксплуатации, проведена технико-экономическая оценка предложенных технических решений.

Развитие представлений о преобразовании технологических свойств хвостов для их последующей добычи и переработки на базе сопоставимой оценки вещественного состава и физико-механических характеристик лежалых хвостов обогащения медно-колчеданных руд с характеристиками микробных сообществ в массивах хвостохранилищ позволило автору выявить закономерности, определяющие возможность целенаправленной подготовки техногенного сырья с первоочередным снятием окисленного слоя, пригодного для переработки методами гидрометаллургии, с последующей подготовкой нового объема сырья иного качества. При этом, обоснование режима горных работ или его регулирование будет осуществляться с учетом периодов освоения природного месторождения и факта наличия сопряженных с ним техногенных образований из отходов обогащения руд.

Автором диссертации поставлен и в полной мере решен комплекс задач по заявленной тематике, что свидетельствует о завершенности представленной к защите диссертации.

3. Новизна исследований, полученных результатов, выводов и рекомендаций. Автором получен ряд новых научных знаний, имеющих важное теоретическое и практическое значение. Наиболее существенными из них являются:



1. При комплексном освоении месторождений медно-колчеданных руд, сопровождающемся формированием техногенных образований, представленных отходами обогащения, регулирование режима горных работ должно производиться для компенсации выбывания производственных мощностей природного месторождения путем вовлечения в эксплуатацию техногенного сырья с учетом характера его окисления в зоне гипергенеза.

По результатам проведенного изучения техногенных объектов на базе геологической оценки и аэромагнитной съёмки старогоднего Сибайского хвостохранилища произведено районирование техногенного образования, установлена зональная изменчивость стадий окисления техногенного сырья, отличающихся соотношением первичных сульфидов и вторичных сульфатов, что в результате определяет качество техногенного сырья и его готовность к эффективной переработке. В связи с этим при обосновании режима открытых горных работ на техногенных образованиях, сопряженных с эксплуатацией медно-колчеданных месторождений, доказана необходимость учёта сроков и особенностей преобразования техногенного сырья для обеспечения необходимого качества, достаточного для вовлечения техногенного сырья совместно с освоением природных месторождений в период выбывания производственных мощностей.

2. Обоснование режима горных работ при эксплуатации техногенных образований из отходов обогащения медно-колчеданных руд базируется на районировании техногенного массива по глубине с учетом развития зоны гипергенеза с разделением ее на подзоны в зависимости от стадий окисления техногенного сырья, отличающегося минеральным составом, растворимостью минеральных форм и видами сформированных бактериальных сообществ, что определяет последовательность выемки техногенных запасов, выбор технологической схемы, типа и средств механизации, а также мест их размещения.

Определено, что в зоне гипергенеза развито 3 стадии окисления, каждая из которых отличается минеральным составом и свойствами, поэтому автором диссертации предложена систематизация техногенного сырья по стадиям окисления, определяющим в массиве хвостохранилища соотношение первичных сульфидов и вторично образованных минеральных форм, отличающаяся учетом доли их растворимости. Установлено, что преобразование состава и свойств техногенного сырья при



продолжительном хранении и окислении протекает неравномерно за счет различного содержания первичных сульфидов и видов микроорганизмов, влияния климатических условий, особенностей складирования и хранения, поэтому необходимо районирование техногенного образования, которое должно быть учтено при разработке технологических решений по определению последовательности выемки техногенных запасов, выбору технологической схемы, типа и средств механизации, а также мест их размещения.

3. Физико-механические свойства техногенного сырья из отходов обогащения медно-колчеданных руд зависят от содержания в его составе вторично образованных минеральных форм, представленных преимущественно сульфатами, доля которых определяется стадией окисления в зоне гипергенеза, что необходимо учитывать при выборе технологий добычи и переработки многокомпонентного техногенного сырья.

В связи с тем, что определяющее влияние при выборе средств механизации и мест их расположения оказывают физико-механические характеристики техногенного сырья, в диссертации произведена их оценка в соответствии с общепринятыми методиками исследования. Установлено, что значения угла внутреннего трения и сопротивления сдвигу техногенного сырья из верхнего слоя (до глубины 3 м) меньше, чем у техногенного сырья из неокисленной зоны. В этой связи, для определения изменения физико-механических свойств под влиянием окислительных процессов произведено детальное исследование свойств техногенного сырья из окисленного слоя с учетом установленных ранее особенностей развития гипергенных процессов. Исследование взаимосвязи доли вторично образованных минеральных форм и прочностных свойств техногенного сырья позволило установить, что при развитии в техногенном сырье мелантерита, преобладание которого характерно для второй стадии окисления, снижается устойчивость откосов уступов при разработке хвостохранилища, ввиду высокой доли растворимых минералов в составе. При развитии ярозита, характерного для 3 стадии, отмечена прямая зависимость повышения устойчивости откосов, что обусловлено цементацией техногенного сырья.



4. Значимость для науки и производства полученных автором диссертации результатов. Наиболее значимыми научными и практическими результатам диссертации являются:

1. Предложен научно-методический подход к районированию хранилищ отходов переработки медно-колчеданных руд, согласно которому производится их разделение на зоны для самостоятельной эксплуатации с учетом развития зоны гипергенеза, особенностей ее распространения в глубину техногенного объекта с оценкой наличия сульфатредуцирующих бактерий и растворимых минеральных форм, стадий окисления, наличия магнитных сульфидных минералов.

2. Разработана методика комплексного изучения старогодних хранилищ отходов переработки медно-колчеданных руд в динамике вторичного минералообразования, заключающаяся в исследовании факторов, влияющих на характер протекания окислительных процессов, вещественный состав, физико-химические свойства техногенного сырья и микробиологическую среду.

3. Разработана классификация технологических схем эксплуатации хранилищ отходов переработки медно-колчеданных руд с учетом развития зоны гипергенеза и степени, предусматривающего необходимость отдельного снятия окисленного слоя и последующей селективной добычи и переработки различных типов минерального сырья.

4. Обоснована технологическая схема разработки старогоднего Сибайского хвостохранилища, предусматривающая предварительное разрушение и снятие ярозитовой корки, далее извлечение слоя с преобладанием растворимых минеральных форм и последующую выемку нижележащего сырья с преобладанием сульфидных форм. Перемещение горного оборудования по ярозитовой корке необходимо осуществлять перпендикулярно ее краю. С учётом ширины призмы возможного обрушения рекомендуемая ширина транспортной бермы – 8 м, предельный угол откоса уступа, обеспечивающий его устойчивость в зоне переувлажненных пород, должен составлять не более 20°, а в зоне осушенной части – не более 35°.

5. С учётом строения, состава и физико-механических свойств техногенного сырья для разработки хвостохранилища рекомендуется следующее горнотранспортное оборудование: для разрушения ярозитовой корки необходимо применение одного, а для выемки техногенного сырья двух облегченных гусеничных бульдозеров типа Caterpillar



Д6; для разработки техногенного образования необходимо 2 экскаватора типа Caterpillar 395; для транспортирования – 6 автосамосвалов типа Shacman 366. Предложены технология и порядок производства выемочно-погрузочных и горнотранспортных работ при разработке техногенного образования.

6. Предложена методика обоснования режима горных работ, предусматривающая совокупное использование природного и техногенного сырья с заблаговременной подготовкой последнего для эксплуатации со снижением объемов добычи руды для продления срока отработки месторождения. Так, при эксплуатации старогоднего Сибайского хвостохранилища срок отработки Сибайского карьера мог увеличиться на 1,5 года за счет добычи техногенного сырья в объеме 3 200 000 м³. Только в старогоднем хвостохранилище складировано около 6 т золота и 12 т серебра, что, с учетом извлечения на уровне 65%, обеспечило бы добычу дополнительно около 3,9 т золота и 7,8 серебра.

Реализация разработанных технологических рекомендаций, основанных на детальном изучении строения и структуры техногенного объекта, позволяет горнодобывающим предприятиям эффективно и своевременно вовлекать лежалые отходы переработки медно-колчеданных руд в освоение с возможностью вторичной переработки и утилизации техногенного сырья с последующей рекультивацией нарушенных горными работами территорий.

5. О стиле и языке диссертации и автореферата. Соответствие автореферата основным положениям диссертации.

Диссертация и автореферат изложены технически грамотным языком, оформлены в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Автор использовал общепринятую научную горную терминологию, что делает полученный результат доступным широкому кругу специалистов. Выводы и рекомендации работы изложены четко и лаконично.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации по всем квалификационным признакам: цели, задачам, научной новизне, практической значимости, положениям, выносимым на защиту.



6. Полнота опубликования результатов диссертации

В полном объеме реализована и отражена в результатах и публикациях. Основные результаты, положения и рекомендации диссертации апробированы и получили одобрение горной общественности на международных, всероссийских конференциях и симпозиумах, отражены в 19 работах, из которых 6 статьи опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ.

7. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Разработанные практические рекомендации по эффективной и своевременной разработке хранилищ отходов переработки медно-колчеданных руд совокупно с одноименными месторождениями рекомендуются для широкого применения в проектных и научно-исследовательских организациях, при разработке технологических решений и мероприятий по безопасной утилизации техногенного минерального сырья.

8. Вопросы и замечания по диссертации и автореферату.

Рассматриваемая диссертация, безусловно, имеет научную и практическую значимость для многих горнодобывающих предприятий, накопивших за все годы освоения месторождений значительное количество отходов переработки руд, и несомненно представляет определенный интерес.

Однако по содержанию работы имеются следующие замечания:

1. В автореферате указана возможность управления гипергенными процессами при формировании новых техногенных образований, но не уточнено, какими способами это обеспечивается.

2. Не совсем понятно, могут ли полученные автором закономерности окисления и распространения зоны гипергенеза на старогоднем Сибайском хвостохранилище, быть использованы при вводе в эксплуатацию на других хранилищах отходов медно-колчеданных руд, нужна ли для этого соответствующая адаптация технологий.

3. В автореферате не указаны единицы измерения результатов моделирования, представленных на рисунке 9.

4. На рисунке 10 представлена принципиальная схема режима развития горных работ, предусматривающая совокупное использование природного и



техногенного сырья, однако не указаны рекомендуемые объемы вскрыши на этапах разработки месторождения.

5. В заключении сказано, что разработана классификация технологических схем, но в тексте автореферата не указаны классификационные признаки и нет самой классификации.

6. По четвертой главе из реферата не ясно, как работает экскаватор в паре с бульдозером применимо ко всей площади хвостохранилища. Предусматривается вести отработку с одной дамбы или предполагается перемещение экскаватора по периметру дамбы.

Указанные замечания не снижают теоретической и несомненной практической ценности диссертации.

9. Заключение.

Представленная на отзыв диссертационная работа Цупкиной М.В. на тему «Обоснование режима открытых горных работ на техногенных образованиях, сопряженных с эксплуатацией медно-колчеданных месторождений» выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной и практической ценностью, представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой на основании теоретических и экспериментальных исследований представлено обоснование режима открытых горных работ на техногенных образованиях, сопряженных с эксплуатацией медно-колчеданных месторождений, обеспечивающего безопасность и эколого-экономическую эффективность вовлечения преобразованного техногенного сырья в эксплуатацию, что имеет важное значение для расширения минерально-сырьевой базы России.

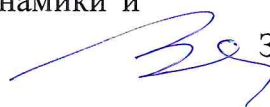
Представленная к защите диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата технических наук соответствует требованиям, предъявляемым в п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, а ее автор, Цупкина Мария Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины» и 2.8.7 – «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем».

Диссертационная работа и отзыв ведущей организации рассмотрены и одобрены на расширенном научном семинаре отдела геомеханики Федерального государственного



бюджетного учреждения науки Институт горного дела Уральского отделения
Российской академии наук «18» апреля 2024 г., протокол № 3.

Ведущий научный сотрудник лаб. геодинамики и
горного давления, проф., докт. техн. наук
Тел./ факс +7 (343) 350-94-24
e-mail: zoteev.o@mail.ru



Зотеев Олег Вадимович

Старший научный сотрудник лаборатории
геодинамики и горного давления,
канд. геол.-мин. наук
Тел./ факс +7 (343) 350-94-24
e-mail: els7775@yandex.ru



Сосновская Елена
Леонидовна

«18» апреля 2024 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела
Уральского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИГД УрО РАН)
620075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, д. 58
Телефон: +7 (343) 350-21-86
www.igduran.ru, E-mail: direct@igduran.ru

Подписи профессора, доктора технических наук, ведущего научного сотрудника
лаборатории геодинамики и горного давления Зотеева Олега Вадимовича; кандидата
геолого-минералогических наук, старшего научного сотрудника лаборатории
геодинамики и горного давления Сосновской Елены Леонидовны заверяю.

Начальник отдела кадров



Коптелова С.В.

