

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ФГБУ
«Всероссийский научно-исследовательский
институт минерального сырья
им. Н.М. Федоровского»
д-р геол.-мин. наук, профессор



Г.А. Машковцев

«30» июня 2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Горловой Ольги Евгеньевны «Развитие научно-методических основ технологии переработки горнопромышленных отходов», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых

1. Актуальность диссертационной работы

Горно-металлургическое производство в рамках существующего технологического уклада российской экономики характеризуется высокими показателями образования отходов. Производственная деятельность в отраслях, связанных с добычей и переработкой минеральных ресурсов, формирует основной объем отходов производства, доля которого в общем объеме составляет 89-94% (их прирост, по данным Росстата, составляет около 4% в год). Вместе с тем, отходы объектов производства являются важнейшим минерально-сырьевым потенциалом пополнения ресурсной базы страны по ряду стратегических и ценных металлов. Имеющаяся практика переработки горнопромышленных отходов свидетельствует о невысоких в целом показателях разделения в существующих схемах передела минерального сырья с использованием традиционных разделительных процессов и известных технологических решений, что снижает инвестиционную привлекательность технологий и заинтересованность в их развитии недропользователей. Поэтому разработка концептуальных подходов и новых научно обоснованных технических и технологических решений по переработке отходов горно-металлургического производства, учитывающих особенности их минерального состава и технологические свойства, которые являются критериями для выбора способа селективных разделительных процессов и комбинирования нескольких обогатительных или обогатительных и гидromеталлургических процессов, сегодня востребована промышленностью страны и ориентирована на обеспечение экологического благополучия окружающей среды.

Таким образом, актуальность работы обусловлена высокой научной и практической значимостью решения проблемы полноценного использования и утилизации техногенных отходов горно-металлургического производства в целях рационального недропользования и снижения нагрузки на природные экосистемы.

2. Общая характеристика работы

Диссертационная работа Горловой О.Е. посвящена развитию научно-методических основ формирования ресурсосберегающих экологически ориентированных технологий переработки горнопромышленных отходов – забалансовых смешанных медных руд, золотосодержащих лежалых хвостов разных гидрогеологических участков хвостохранилища, железцинк-содержащих шламов доменного производства, металлоконцентратов из ванадийсодержащих конвертерных шлаков и некондиционных продуктов первичной переработки доменных и мартеновских шлаков. Важность выбранного соискателем направления исследований

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Ф.И. Носова»	
за № _____	_____
Дата регистрации	09.09.2020
Фамилия регистратора	_____

обусловлена задачей вовлечения в рентабельную эксплуатацию ранее неиспользуемых ресурсов техногенного происхождения, что вносит значительный вклад в социально-экономическое развитие страны.

Цель диссертационной работы – развитие научно-методологических основ создания ресурсосберегающих, экологически ориентированных технологий переработки горно-промышленных отходов для повышения полноты и комплексности использования запасов техногенного минерального сырья.

Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения, изложена на 375 страницах машинописного текста, содержит 75 таблиц, 78 рисунков, библиографический список из 387 наименований и 10 приложений.

Во введении обоснованы актуальность, идея, цель и задачи исследования, показана научная новизна, приведены сведения о достоверности полученных результатов, их публичной апробации, личном вкладе автора.

Первая глава носит общетеоретический характер, в ней рассмотрено современное состояние теории, практики и технологических перспектив переработки горнопромышленных отходов: условия обращения с отходами производства в Российской Федерации; анализ ресурсного потенциала отходов и практики переработки на предприятиях; анализ основных направлений развития технологических процессов разделения отходов; теоретические основания комплексного использования сырья и переработки отходов. Автор убедительно аргументирует, что в целом комплексная система обращения с техногенными минеральными ресурсами в российской практике пока отсутствует, не выработаны единые подходы, механизмы и стандарты, ориентированные на рациональное недропользование и разработку экологически дружественных технологий переработки горнопромышленных отходов. В результате проведенного анализа выполнены постановка проблемы и обоснование объекта изучения, цели, задач и методов исследований.

Во второй главе соискатель развивает научно-методические основы создания ресурсосберегающих экологически ориентированных технологий комплексной переработки горнопромышленных отходов: предложен общий алгоритм формирования технологических схем переработки; сформулирована инновационная научно-методическая парадигма исследования отходов; предложена авторская дефиниция «минеральный отход»; обоснованы минералогические критерии выбора разделительных процессов глубокой и комплексной переработки минеральных отходов; разработана классификация отходов черной и цветной металлургии по степени измененности вещественного состава и технологических свойств, позволяющая производить априорный выбор методов переработки отхода и направления использования; разработаны методические рекомендации для прогнозной оценки качества текущих хвостов обогащения колчеданных руд; представлена разработанная автором методология формирования ресурсосберегающих технологий комплексной переработки горнопромышленных отходов, построенная на последовательном осуществлении комплекса исследования на соподчиненных уровнях, выделенных автором – информационно-аналитическом, инструментальном, адаптационном, организационно-технологическом и экономико-аналитическом, проводимых в итерационном порядке выполнения и анализа условий реализуемости при сопоставлении с вводимыми оценочными критериями.

В соответствии с разработанной методологией соискателем проведены разработка и обоснование параметров технологий для конкретного вида горнопромышленных отходов, результаты которых представлены в главах 3-6 диссертационного исследования.

В третьей главе показана ресурсосберегающая комбинированная флотационно-гидрометаллургическая технология переработки забалансовых медных руд (месторождение Тасгора). Приведены полученные в результате лабораторных исследований характеристики вещественного состава забалансовых руд и обоснованы параметры предложенного технологического решения: на информационно-аналитическом уровне установлена целесообразность промышленного освоения техногенного объекта, обусловленная значительными запасами меди (20 тыс. т), благоприятными горнотехническими и инженерно-

геологическими условиями техногенного образования, развитой инфраструктурой района, и высокой степенью его сохранности; на инструментальном уровне минералого-технологическая оценка забалансовых руд позволила классифицировать их как руды смешанного типа, и определить основные минералогические критерии выбора технологии – степень окисления руд, высокое содержание кислоторастворимых минералов, а технологическое тестирование установило, что к свойствам минералов, обладающим наибольшей контрастностью, относятся флотационные и растворимость в серной кислоте и других растворителях; на адаптационном уровне проведен поиск неокисленного, селективно действующего растворителя окисленных минералов меди; на организационно-технологическом уровне разработана технология переработки руды, определены параметры флотации сульфидной составляющей и гидрометаллургического передела окисленной составляющей руды, а также гидрометаллургической переработки медьсодержащих растворов; на экономико-аналитическом уровне выполнена оценка экономической эффективности переработки отвала забалансовых медных руд.

Новое технологическое решение, предложенное соискателем, обеспечивает достаточно высокую полноту извлечения меди из отходов добычи медных руд в концентрат 48,93% и 38,91% из продуктивных растворов по комбинированной технологии.

В четвертой главе приведена технология извлечения золота из техногенных минеральных образований хвостохранилищ золотоизвлекательных фабрик (Семеновская ЗИФ, ООО «Семеновский рудник») и обоснованы ее параметры: на информационно-аналитическом уровне сделаны предварительные выводы о перспективности вовлечения золотосодержащих объектов во вторичную переработку, об их обогатимости и о возможности их переработки по известным технологиям; на инструментальном уровне установлены геологические и минералогические факторы, определяющие выбор методов доизвлечения золота из лежалых хвостов, – минеральный состав, форма нахождения золота в хвостах, морфометрические характеристики золота, строение и состав техногенных песков, геологические и гидрогеологические характеристики техногенной залежи, пространственные и качественные параметры зон концентрации золота, и обоснована целесообразность применения комбинированных технологических схем для доизвлечения золота из разных участков хвостохранилища – из осушенной пляжной зоны гравитационным методом, а из обводненной центральной части скважинным выщелачиванием; на адаптационном уровне для повышения показателей гравитационного обогащения лежалых хвостов проведена параметрическая адаптация конструкции чаши центробежного сепаратора САЦ-750, что позволило повысить содержание извлечение золота из черного гравиконоцентрата; на организационно-технологическом уровне обосновано и апробировано применение комбинированной технологии, сочетающей гравитационные и гидрометаллургические методы, для обеспечения рентабельности извлечения золота установлены рациональные параметры гравитационной технологии, обеспечивающие 65% извлечение золота в гравиконоцентрат при содержании 45,6 г/т в исходных песках с содержанием золота 1,5 г/т, а извлечение золота в растворы из техногенного массива составило 75%; разработана геотехнологическая схема переработки лежалых хвостов на месте их складирования и определены ее параметры, на экономико-аналитическом уровне выполнена оценка экономической эффективности извлечения золота по разработанной технологии.

В пятой главе изложены обоснование параметров и разработка комбинированной флотационно-магнитной технологии переработки тонкодисперсных отходов черной металлургии – железозинксо-содержащих доменных шламов (ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат»), и обоснованы ее параметры: на информационно-аналитическом уровне определена целесообразность вовлечения металлургических шламов, обогащенных цветными металлами, в переработку с селективным выделением железо- и цинксо-содержащих продуктов; на инструментальном уровне минералого-аналитическими исследованиями установлены распределение цинка и железа по классам крупности, форма их нахождения, гранулярный состав полезных минералов и магнитная восприимчивость железосодержащих минералов, что предопределило возможность использования методов флотации и мокрой магнитной сепарации при переработке

шламов; на адаптационном уровне схемы и реагентные режимы флотации железных руд, флотационной доводки магнетитовых концентратов были адаптированы применительно к шламам с целью их обесцинкования и выделения цинка в самостоятельный продукт, проведены исследования по мокрой магнитной сепарации камерного продукта с последующим получением железного концентрата; на организационно-технологическом уровне разработана и апробирована комбинированная флотационно-магнитная технология комплексной переработки доменных шламов, включающая обратную флотацию шламов и мокрую магнитную сепарацию камерного продукта флотации, которая обеспечивает снижение массовой доли цинка с 1,37 до 0,45-0,7% и повышение массовой доли железа с 48,02 до 52-54% в камерном продукте при расходе собирателя 100-200 г/т; на экономико-аналитическом уровне проведена оценка экономической эффективности комплексной переработки железоцинксодержащих доменных шламов при включении в существующую схему обезвоживания шламов на вакуумфильтрационной установке обогатительного модуля.

В шестой главе обоснованы параметры селективной дезинтеграции и описана разработанная технологическая схема переработки структурно неоднородного техногенного металлосодержащего сырья (металлургические шлаки ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», медные шлаки АО «Карабашмедь», никелевые шлаки ОАО «Североникель» и ОАО «Печенганикель», ванадиевый шлак ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат», шлаки АО «Уральская Сталь»): на информационно-аналитическом уровне обоснована перспективность переработки металлургических шлаком с выделением железных концентратов; на инструментальном уровне установлены фазовый состав шлаков и некондиционных металлоконцентратов, их структурные особенности и контрастность физико-механических свойств рудных и шлакообразующих фаз, что позволило обосновать применение селективной дезинтеграции для раскрытия рудных фаз; на адаптационном уровне произведен поиск селективного способа дезинтеграции шлаков для вскрытия металлических включений и рудных фаз; на организационно-технологическом уровне были апробированы разработанные схемы переработки шлаков черной металлургии с использованием центробежно-ударного способа разрушения (дробления и измельчения), обеспечивающие повышение качества металлоконцентратов различных фракций за счет избирательного раскрытия металловключений и выделения раскрытых крупных включений металла в последующей операции грохочения, разработана универсальная технологическая линия модульного типа для получения высококачественных металлоконцентратов из доменных и сталеплавильных шлаков, а также даны рекомендации по адаптации рудоподготовительных процессов переработки бедного природного и техногенного металлосодержащего сырья; на экономико-аналитическом уровне выполнена оценка экономической эффективности разработанных решений по получению высококачественных концентратов из некондиционных металлосодержащих промпродуктов.

В 10-ти приложениях приведены акты, подтверждающие апробацию результатов диссертационной работы на предприятиях горно-металлургического профиля и в учебном процессе.

3. Научная новизна и достоверность результатов работы

В процессе научных исследований автором получены новые результаты:

Предложена авторская дефиниция «минеральный отход». Согласно теоретической модели техногенного минерального сырья в рамках метода восхождения от абстрактного к конкретному минеральный отход рассматривается как нелинейная открытая система, сформированная множеством элементов и находящаяся в состоянии неустойчивости. Поэтому разработка ресурсосберегающей технологии переработки отхода должна производиться на основе междисциплинарного анализа в научно-теоретическом аспекте, а в практическом – должна быть ориентирована на снятие технологических ограничений имеющихся производственных технологий.

Предложена инновационная научно-методическая парадигма исследования минеральных отходов в рамках синергетического подхода, базирующаяся на рассмотрении отходов как самостоятельных компонентов природной среды и на новом принципе научного подхода к

разработке технологии горнопромышленного производства: химическая целостность минерального отхода включает в себе совокупность свойств природного и техногенного происхождений, выступающих критериями выбора разделительных процессов.

Разработана классификация отходов черной и цветной металлургии по степени измененности вещественного состава и контрастности технологических свойств, позволяющая проводить прогнозную оценку их обогатимости, априорный выбор направлений использования отхода и методов переработки.

Научно обоснован принцип построения схем переработки горнопромышленных отходов, заключающийся в комплексном анализе системы имеющихся свойств отхода; выявлении главной связи или отношения свойств отхода; применении комбинации физических, физико-химических, химических процессов разделения, выбранных в соответствии с наиболее контрастными технологическими свойствами; параметрической и структурной адаптации известных технологических решений к выявленным особенностям свойств отхода.

Достоверность результатов обеспечивается применением научных методов исследования, применением современных средств и методик исследований, комплексом физико-химических методов, использованием сертифицированного оборудования и аттестованных методик выполнения измерений, значительным объемом исходных данных и натурных испытаний, анализом и статистической обработкой полученных данных, апробацией разработанных технологий на практике; подтверждается согласованностью данных эксперимента и научных выводов, сопоставимостью результатов лабораторных технологических исследований, укрупненных лабораторных и опытно-полупромышленных испытаний разработанных технологий, технико-экономических расчетов между собой и с практическими данными.

4. Значимость для науки и производства полученных автором диссертации результатов

К наиболее значимым научным и практическим результатам в области развития научно-методических основ ресурсосберегающих экологически ориентированных технологий комплексной переработки горнопромышленных отходов следует отнести:

1. В рамках общей концепции рационального природопользования соискателем разработан концептуальный подход к созданию ресурсосберегающих технологий переработки горнопромышленных отходов, основанный на последовательном осуществлении комплекса теоретических и экспериментальных исследований на 5 соподчиненных уровнях в итерационном порядке выполнения: информационно-аналитическом, инструментальном, адаптационном, организационно-технологическом и экономико-аналитическом. Методология включает уровень адаптации традиционных разделительных процессов и технологических решений к особенностям вещественного состава и технологических свойств горнопромышленных отходов для повышения технико-экономической эффективности и экологической безопасности их переработки.

2. Теоретически обоснована, экспериментально адаптирована и апробирована комбинированная флотационно-гидрометаллургическая технология переработки забалансовой смешанной медной руды из отвала. Разработанная технология включает: одновременное измельчение руды перед флотацией до 82-85% класса крупности $-0,074$ мм с подачей аммония сернокислотного при первоначальном его расходе 40% от массы руды и дальнейшем поддержании концентрации в жидкой фазе пульпы 133 г/дм³ для выщелачивания и перевода в жидкую фазу окисленных минералов меди; флотацию сульфидных минералов в слабощелочной среде ($\text{pH}=7,5-8$) сульфгидрильным собирателем бутиловым ксантогенатом калия при расходе 60 г/т и спиртовым пенообразователем МИБК при расходе 35 г/т; отделение жидкой фазы пульпы от концентрата и хвостов флотации, сгущение и фильтрование продуктов флотации, переработка получаемого продуктивного медьсодержащего раствора с концентрацией меди $1,24 - 1,36$ г/дм³ сорбцией на ионообменной смоле Lewatit MonoPlus TP 207 с достигаемой сорбционной емкостью по катионам меди $34,8$ г/дм³ ионита, десорбцией, электроэкстракцией. Обоснован механизм и разработан новый способ аммонийно-сульфатного выщелачивания окисленных минералов меди при механической и термической интенсификации. Технология обеспечивает

получение медного концентрата с массовой долей меди свыше 29% при извлечении не менее 48% и катодной меди с массовой долей меди 99,99% при извлечении не менее 38%.

3. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что для наиболее полного освоения запасов золота законсервированного хвостохранилища золотоизвлекательной фабрики целесообразно комбинирование гравитационного доизвлечения золота из участков пляжной зоны и скважинного хлоридного выщелачивания золота в центральной части техногенного массива. При гравитационном обогащении лежалых песков с содержанием золота 1,5 г/т по разработанной схеме с учетом проведенной параметрической адаптации конструкции чаши центробежного концентратора достигается извлечение золота в гравитационный концентрат 65% при содержании золота 45,6 г/т. Разработанная технология скважинного выщелачивания неравномерно распределенного мелкого и тонкого золота в пространстве хвостохранилища при рациональной геометрии (прямоугольная ячейка с соотношением сторон 1:1,5÷2,0) и размерах (от 4,4×6,6 до 3,7×7,3 м для основной части хвостохранилища с мощностью отложений до 8 м, от 5,5×8,3 до 4,6×9,2 м для участков с мощностью до 5 м) геотехнологических ячеек выщелачивания обеспечивает извлечение золота на уровне 75% в золотосодержащий угольный концентрат с содержанием золота 5 кг/т.

4. Впервые разработана комбинированная флотационно-магнитная технология переработки железоцинксодержащих шламов с массовой долей железа 48,02% и цинка 1,37% газоочистных систем доменных печей для повышения извлекаемой ценности вторичных металлсодержащих ресурсов. Технология включает обратную флотацию шламов с применением катионного собирателя Флон (150-200 г/т) в слабощелочной (рН 9,5-10) среде, с целью их обесцинкования, и мокрую магнитную сепарацию камерного продукта флотации, при напряженности поля 115 кА/м, для повышения массовой доли железа. При переработке шламов выделяется железный концентрат с массовой долей железа свыше 60% и цинка менее 0,5% для применения в шихте агломерационного производства, и цинксодержащий промпродукт с массовой долей цинка 7-8% для использования на предприятиях черной и цветной металлургии.

5. Доказано, что различие физико-механических свойств и морфометрических параметров отдельных фаз шлаков, возможность регулирования величины прикладываемой динамической нагрузки за счет изменения скорости вращения ускорителя центробежно-ударной дробилки способствуют селективности процесса дезинтеграции металлургических шлаков и позволяют раскрывать металлические включения на стадии дробления при уменьшении энергетических затрат на 5-10%.

6. Разработаны и утверждены Научным советом по методам минералогических исследований методические рекомендации МР НСОММИ №183 «Виды и последовательность минералогических работ при технологических испытаниях техногенного сырья (текущие хвосты обогащения колчеданных руд)».

7. Разработаны рекомендации по построению модульных технологических линий с использованием центробежно-ударного способа разрушения и составлены рекомендации по адаптации рудоподготовительных процессов в схемах переработки бедного природного и техногенного сырья. Показано, что адаптация цикла рудоподготовки структурно неоднородного техногенного сырья обеспечивается использованием центробежно-ударного способа разрушения (дробления и/или измельчения), порядком следования в схеме операций раскрытия и разделения, их оптимальными параметрами, что приводит к селективному раскрытию разнопрочностных техногенных фаз, разделению на минеральные агрегаты с разным содержанием полезных компонентов и повышению качественно-количественных показателей переработки, а в некоторых случаях – к получению продукции заданного химического и/или гранулометрического состава.

8. Разработаны рекомендации по построению модульных технологических линий переработки бедного природного и техногенного сырья с использованием центробежно-ударного способа разрушения; составлены рекомендации по адаптации рудоподготовительных процессов в схемах переработки бедного природного и техногенного сырья.

Полученные научные и практические результаты подтверждают разработку экономически эффективных, экологически ориентированных ресурсосберегающих технологий переработки горнопромышленных отходов.

5. Реализация результатов исследования

Разработанные технологии комплексной переработки горнопромышленных отходов успешно апробированы на предприятиях горно-металлургического профиля, что подтверждается получением положительного экономического эффекта:

В Научно-исследовательском центре инновационных технологий в период 16.07.2018 – 24.07.2018 г. были проведены полупромышленные испытания комбинированной флотационно-гидрометаллургической технологии переработки забалансовых смешанных медных руд. При переработке 2500 кг руды получены: медный концентрат с содержанием меди 29,6% (марка КМЗ по ГОСТ 52998-2008), продукт серебра 306 г/т в количестве 40,5 кг при извлечении меди 48,93%, серебра – 55,08%; катодная медь с содержанием меди 99,99% (марка М100к по ГОСТ 859-2014) в количестве 9,53 кг при извлечении меди 38,91%.

На ООО «Семеновский рудник» в период июнь – август 2019 г. были реализованы опытно-промышленные испытания переработки лежалых золотосодержащих хвостов гравитационной и гидрометаллургической технологиями. В процессе гравитационного обогащения лежалых хвостов (массой 3300 т) с содержанием золота 14 г/т получено 61,6 т гравиконоцентрата с содержанием металла 41 г/т. Гидрометаллургическая технология доизвлечения золота из хвостов на месте их залегания со средним содержанием золота 1,1 г/т позволила извлечь 70% золота в продуктивный раствор и 95% осадить на активированный уголь.

На ПАО «ММК» в период с 01.09.2019 по 01.10.2019 г. осуществлялись опытно-промышленные испытания технологии комплексной переработки доменных шламов с целью их обесцинкования. При переработке 22 т/ч шламов с содержанием железа 50,5%, цинка 1,49% было получено 3,3 т/ч продукта флотации с содержанием цинка 6,61%, железа 8,86% и 15,4 т/ч продукта магнитной сепарации с содержанием железа 62,8%, цинка 0,53%.

В ЗАО «Урал-Омега» в период 19.11.2018 – 05.12.2018 г. были проведены полупромышленные технологические испытания на пробах железосодержащих промпродуктов цеха разработки шлаковых отвалов ООО «ЮУГПК», включающие следующие технологические операции: дробление в центробежно-ударной дробилке, воздушную классификацию и магнитную сепарацию. В результате испытаний среднее содержание железа увеличилось с 37 – 47% до 62 – 77% при извлечении 80 – 86%.

6. О стиле и языке диссертации и автореферата.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Диссертационная работа написана грамотным языком, хорошо проиллюстрирована, оформлена в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Необходимо отметить, что автор в работе использует не только общепринятую, но и междисциплинарную терминологию. Выводы и рекомендации работы изложены четко. Структура и содержание автореферата соответствуют основным положениям диссертационной работы, обеспечивают видение ее внутреннего единства.

7. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные результаты и выводы исследований могут быть использованы в следующих основных направлениях:

При разработке или адаптации технологий переработки текущих или лежалых отходов горно-металлургического производства. Наиболее актуальными основные положения, выводы, технологические решения диссертационной работы являются для горных (ИПКОН РАН, ИГД РАН) и прикладных геологических (ФГБУ «ВИМС», ФГБУ «ЦНИГРИ») институтов, проектных организаций (ОАО «Уралмеханобр», АО «Механобр инжиниринг», НПО «РИВС») и

исследовательских лабораторий предприятий горно-металлургического комплекса (ПАО «ММК», ЕВРАЗ НТМК, УГМК, РМК).

В учебном процессе подготовки специалистов по направлению 21.05.04 «Горное дело» специализации «Обогащение полезных ископаемых» (уровень специалитета) при изучении дисциплин «Основы научных исследований», «Исследование технологий и процессов обогащения», «Горнопромышленная экология», «Обогащительные процессы», «Проектирование обогатительных фабрик» и «Технологическая минералогия», а также при подготовке кадров высшей квалификации по направлению 21.06.01 – Геология, разведка и разработка полезных ископаемых.

8. Замечания по диссертации и автореферату

Диссертационная работа, несомненно, имеет практическую значимость для предприятий горно-металлургического профиля и представляет определенный интерес в научном плане. По содержанию работы можно сделать следующие замечания:

1. Идея работы не является новой, поскольку прогнозная минералого-технологическая оценка обогатимости минерального сырья природного или техногенного происхождения всегда основана на анализе особенностей их минерального состава, строения и физических свойств, являющихся критериями выбора этапности и стадийности процессов рудоподготовки и методов обогащения. К общеизвестному факту относится и то, что формирование технологических характеристик минерального сырья, в особенности техногенного происхождения, начинается в природных условиях и заканчивается в технологических аппаратах.

В нашей стране известны исследовательские школы, которые заложили основы работ по созданию системы последовательных этапов исследований и испытаний. Проблема комплексного рационального освоения месторождений возникла еще более века назад при создании МСБ страны в 1920-е годы. Работы были начаты Н.М. Федоровским и коллективом Института прикладной минералогии (ВИМСа), находящимся под его руководством. Был разработан «комплексный метод» исследования минерального сырья – сквозные исследования от поисков месторождения до создания технологии переработки сырья (Федоровский Н. М. Борьба за недра: ИПМ – М. : Гостпо-лит. им. К. Маркса, 1931. – 144 с.). Работы были продолжены А.Н. Гинзбургом и В.И. Кузьминым (Методы минералогических исследований: Справочник / Под ред. А. И. Гинзбурга. – М.: Недра, 1985. – 480 с.). В этом же направлении развивались исследования упомянутых соискателем других научных школ: В.И. Ревнивцева (Селективное разрушение минералов / Под ред. В. И. Ревнивцева. – М.: Недра, 1988. – 285 с.), и Аренса В.Ж (Физико-химическая геотехнология. – М.: МГГУ, 2001. – 655 с.; Аренс В.Ж. Шумилова Л.В. Проблемы и перспективы внедрения физико-химических технологий на горных предприятиях России // Горный журнал. 2017. № 12. С. 52-56).

2. Предложенная соискателем классификация отходов черной и цветной металлургии отражает степень измененности их вещественного состава и технологических свойств относительно исходного минерального сырья в зависимости от производственного цикла их получения, но не дает оценку этим характеристикам, как технологические характеристики влияют на то, продукт какого качества из отходов можно получить. Учитывая многообразие отходов черной и цветной металлургии, затруднительно на качественном уровне объективно определить степень контрастности технологических свойств отходов и дальнейшие методы их переработки. Например, способы переработки отходов радиометрической сепарации крупнокусковой хромовой руды и негабаритов медноколчеданной руды будут различны, хотя они по предлагаемой классификации (с. 113 диссертации, с. 14 автореферата) входят в одну группу.

3. На с. 14 автореферата, с. 96 диссертации в табл. 2.1 «Геолого-минералогические факторы», в физико-механических свойствах записано «содержание глинистых минералов», почему это не отнесено к вещественному составу?

4. Об используемых в работе научных терминах. Что понимается под «междисциплинарными методологическими принципами» (написано в *задачах* исследования)?

На с. 11 автореферата, с. 78 диссертации написано «Отходы в логике взаимодействия *природной и социально-экономической* подсистем (это нарушение *метаболизма*) следует

позиционировать не как побочные, бесполезные, нежелательные остатки сырья, порождаемые производством, не как разрушительные и одновременно *косные агенты* социальной среды, провоцирующие исключительно *деградацию качества среды*, а как *природный элемент*, свойства которого есть результат *опредмеченного труда*».

Метаболизм или обмен веществ в науках о жизни – набор химических реакций, которые возникают в *живом организме* для поддержания жизни (Большая Медицинская Энциклопедия / под ред. Петровского Б.В., 3-е Изд, Т. 15). Как происходит обмен веществ в минеральных отходах?

В науках об обществе (социология, политология, обществознание) есть устоявшееся общепринятое определение: «Сферы общественной жизни – это крупные, устойчивые, относительно самостоятельные подсистемы человеческой деятельности» и типология сфер жизни общества, это: духовная, социальная, экономическая и политическая (т.е. система общества, но подсистема деятельности, т.е. социальная и экономическая – это отдельные, разные системы общества (Философия современной науки / А. А. Ивин. – Москва-Берлин: Директ-Медиа, 2017. – 833 с.).

Как Вы понимаете и определяете: а) *природная подсистема* (чего? к чему относится?); б) *косный агент социальной среды* (как соотносится с техногенными минеральными отходами); в) *природный элемент*; г) результат *опредмеченного труда*; д) *деградация качества среды* – о какой среде идет речь? о производственной, если природа определяется как подсистема?

«*Опредмеченный труд*» – понятие, которое определено и относится сугубо к *марксистской* теории как уникальной частной концепции общества, – предмет за счет человеческой деятельности становится социально-культурным, или «человеческим предметом». Как Вы определяете *опредмеченный труд* техногенных отходов?

5. Относительно авторской дефиниции «*минеральный отход*». Словосочетание «минеральные отходы» является общепринятым и общеупотребительным. Формулировка, данная соискателем, представляется спорным и суживающим объект определения, сводя его к «качеству» и «технологическим ограничениям». Есть объективные физические и химические характеристики, тогда как критерии, по которым определяют качество сырья, могут меняться. Помимо технологических, могут быть инфраструктурные, логистические, экономические ограничения и налоговые преференции, от которых зависит рентабельность переработки, и обращение с минеральными отходами как с «потенциальным сырьем». Кроме того, минеральные отходы – это не только отходы горнопромышленного производства: в действующем ПНД Ф 12.4.2.1-99 «Отходы минерального происхождения. Рекомендации по отбору и подготовке проб. Общие положения» утвержден Госкомэкологией РФ 24.03.1999 г.) (<http://ivo.garant.ru>), дано следующее определение: «*Отходы минерального происхождения* – остатки минерального сырья и продукты его технологического передела, которые образовались в процессе производства или потребления твердого горючего и негорючего минерального сырья на различных предприятиях (горнодобывающих, металлургических, стройматериалов, энергетических и т.п.), а также товары (продукция), произведенные на основе минерального сырья и утратившие свои потребительские свойства. В ГОСТ Р 56222-2014 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения в области материалов (введен 01.01.2016), гармонизированном с Европейским стандартом EN 13965-1:2004, содержится установленная классификация отходов, согласно которой в категории «Отходы производства», п.3 определены: 3.2.14 отходы горных работ и 3.2.15 отходы процессов переработки отходов.

Далее, с позиции технологической минералогии, отход горно-металлургического производства представляет собой минеральный агрегат, обладающий совокупностью характеристик – определенным вещественным составом, текстурно-структурными особенностями, и физическими свойствами минералов (фаз). Необходимо понимать, что на разных этапах производственного процесса, начиная с добычи и заканчивая складированием и хранением горно-металлургических отходов, происходит преобразование полезного ископаемого, выраженное в изменении исходных характеристик. Безусловно, выбор технологии переработки отхода ориентируется на имеющиеся в данный момент его характеристики. Сами технологические свойства отхода не меняются, изменяются значения конкретных характеристик и, как следствие, контрастность.

Предлагаемая соискателем дефиниция «*минеральный отход*» в авторской формулировке относится, скорее, к более узкому классу – «минеральным отходам горнопромышленного производства», и требует уточнения, ее введение дискуссионно, является не вполне корректным.

6. Понимание эволюции технологических характеристик исходного минерального сырья в производственном процессе необходимо для прогнозной оценки качества получаемых продуктов и для обоснования направления дальнейшего использования отходов. При минералого-аналитическом изучении конкретного отхода выявляются наиболее контрастные его технологические свойства, что и выступает критерием выбора – целесообразной технологии переработки, и прогнозируется качество продуктов его переработки. Предлагаемая «парадигма» применима для минералого-технологической оценки качества отходов еще стадии переработки минерального сырья, но не при его изучении.

Использование соискателем понятия «парадигма» представляется дискуссионным и неудачным. Термин «парадигма» был введен как философская категория историком и философом науки Томсом Куном в 1962 г. в книге «Структура научных революций»: **парадигма** (от греч. Paradeigma – образец) – совокупность теоретических и методологических предпосылок, совокупность научных достижений, *признаваемых всем научным сообществом* в тот или иной период времени и служащих основой и образцом новых научных исследований (Философия науки: энциклопедический словарь / В.А. Канке. – Москва : Омега-Л, 2008. – 328 с.).

7. Разработанную ресурсосберегающую комбинированную технологию переработки забалансовых медных руд с уверенностью можно отнести к комплексной, поскольку в акте полупромышленных испытаний отражено получение не только медного концентрата с содержанием меди 29,6% при извлечении меди 48,93%, но и продукта серебра 306 г/т в количестве 40,5 кг при извлечении серебра 55,08%. К сожалению, в диссертационной работе не отражены минералогические особенности серебросодержащих минералов и не раскрыто их поведение в гидрометаллургическом и флотационном процессах. Приведены только факты наличия серебра и количества получаемого продукта серебра.

8. В сформулированных соискателем рекомендациях по построению технологических линий переработки бедного природного и техногенного сырья с использованием центробежно-ударной техники предложены технологические решения, апробированные на конкретных объектах. К сожалению, не учтены минералогические разновидности природных и техногенных минеральных ресурсов. Например, на способ обогащения хромовых руд (магнитная или гравитационная сепарация) оказывают существенное влияние минеральные виды хромшпинелидов и интенсивность изменения руды. Так, существенно преобразованные руды обогащаются методами гравитации.

9. В автореферате не достаточно полно раскрыт вопрос разработки рекомендаций по построению модульных технологических линий с использованием центробежно-ударного способа разрушения (глава 6, с. 30), хотя об этом написано в заключении п. 9 выводов по результатам работы.

Указанные замечания и недостатки работы, не дают оснований сомневаться в принципиальных положениях диссертационной работы, не снижают ее значимости для науки и производства и не влияют на общую положительную оценку работы.

8. Заключение

Диссертационная работа Горловой Ольги Евгеньевны «Развитие научно-методических основ технологии переработки горнопромышленных отходов» является законченной научно-квалифицированной работой, выполненной на актуальную тему, обладает новизной и практической значимостью. В ней на основании новой научно обоснованной концептуально-технологической методологии решается крупная проблема, имеющая важное хозяйственное значение – на новом уровне знания разработаны научно-методические основы создания ресурсосберегающих экологически ориентированных технологий переработки горнопромышленных отходов с целью повышения полноты и комплексности использования запасов техногенного минерального сырья. Структура и содержание диссертации соответствует

целям и задачам исследования. Выводы аргументированы, полученные результаты соответствуют целям исследования. Автореферат соответствует содержанию диссертации и отражает ее содержание. Основные результаты, положения и рекомендации диссертации, докладывались и обсуждались на международных, всероссийских и региональных конференциях и симпозиумах, раскрыты в 74 опубликованных работах, в том числе 21 статье в изданиях из перечня, рекомендованного ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, 5 статьях в журналах, индексируемых в наукометрических базах WebofScience и Scopus; изданы 5 монографий, 1 учебное пособие, 1 методические рекомендации.

Диссертационное исследование выполнено в рамках паспорта научной специальности 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых, соответствует пунктам: п. 1. Технологическая минералогия. Изучение взаимосвязи состава, структуры, физических свойств и генетических особенностей минерального вещества с его технологическими свойствами. Технологическая оценка минерального сырья; п. 2. Дезинтеграция и подготовка минерального сырья к обогащению. Раскрытие минералов в процессах дробления и измельчения. Направленное изменение физических свойств минеральных компонентов. Управление качеством сырья, материалов, реагентов; п. 6. Моделирование, контроль, автоматизация технологических процессов обогащения, их оптимизация; п. 7. Технологии и аппараты физико-механической, физико-химической, химической, биохимической, химико-металлургической переработки и обогащения полезных ископаемых.

Представленная работа «Развитие научно-методических основ технологии переработки горнопромышленных отходов» соответствует требованиям п.9 «Положение о присуждении ученых степеней» ВАК при Минобрнауки России №842 от 24.09.2013, а ее автор, Горлова Ольга Евгеньевна, заслуживает присуждения степени доктора технических наук по специальности 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых.

Диссертация Горловой О.Е. рассмотрена и обсуждена, отзыв на нее утвержден на расширенном заседании минералогического и технологического отделов ФГБУ «ВИМС». Протокол №4 от 22.06.2020 г.

Председательствующий на расширенном заседании минералогического и технологического отделов ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского» ведущий научный сотрудник, доктор технических наук

Якушина
Ольга Александровна

Отзыв составил главный научный сотрудник минералогического отдела, профессор, доктор геолого-минералогических наук

Пирогов
Борис Иванович

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского»
Адрес: 119017, Москва, Старомонетный пер., д.31. ФГБУ «ВИМС»
Тел./факс: (495) 951-50-43, 951-50-43
Эл. почта: vims@vims-geo.ru

Собственноручно подписан руководителем ФГБУ «ВИМС»
Якушиной О.А.
удостоверяю:
Помощник генерального директора
ФГБУ «ВИМС»
30 06 2020 г.