

**ОТЗЫВ**  
**официального оппонента на диссертационную работу**  
**Горловой Ольги Евгеньевны**

**«РАЗВИТИЕ НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ**  
**ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ»,**

представленную на соискание ученой  
степени доктора технических наук по специальности  
25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых

На отзыв представлен автореферат на 38 стр. и диссертация, состоящая из введения, 6 глав и заключения, изложенных на 375 страницах машинописного текста, содержащая 75 таблиц, 78 рисунков, библиографический список из 387 наименований и 10 приложений.

**1. Актуальность выбранной темы исследования**

Актуальность темы диссертационного исследования сомнений не вызывает и определена тремя направлениями:

- во-первых, особенность техногенных месторождений, которая проявляется в том, что количество минералов значительно большее (более 30000), чем в природных месторождениях (около 3000), что предопределяет сложность выбора технологий переработки отходов, так как многообразие минеральных форм, требует нестандартный подход, основанный на необходимости многоуровневого анализа в принятии технических и технологических решений с учётом последних достижений науки и техники;
- во-вторых, отсутствие контроля над движением природного вещества на всех этапах жизненного цикла горного предприятия и методологии выбора оптимальных технологий из альтернативных вариантов, что является одной из главных причин возникновения проблем нехватки ресурсов и загрязнения окружающей среды;
- в-третьих, на территории бывшего СССР особенно выделяется Уральский экономический район с многовековой историей освоения и разработки месторождений черных и цветных металлов, переработки минерального сырья, который является идеальным урбанизированным характерным объектом исследований.

**2. Общая методология и методика исследования**

*В главе 1* сделан критический анализ современного состояния теории, практики и технологических перспектив переработки горнопромышленных отходов. Дана оценка ресурсного потенциала отходов добычи и переработки минерального сырья на предприятиях горно-металлургического комплекса России.

Сделан вывод о том, что управление горнопромышленными отходами в российской практике (образование, накопление, утилизация, переработка) является неудовлетворительным. Акцентируется внимание на то, что на современном этапе не выработаны единые подходы, механизмы и стандарты в данной области; отсутствует единый системный подход к техногенным минеральным ресурсам как к объектам вторичного минерального сырья с целью дальнейшей переработки. Техногенные объекты исключены из вторичного хозяйственного оборота, поэтому не являются



предметом товарно-денежных отношений. Продолжается деградация окружающей среды.

Следует отметить, что кроме анализа отечественного опыта обращения с отходами производства, автору следовало кратко изложить опыт управления промышленными отходами, получивший признание в Европе, США и др. странах. Например, на основе промышленных систем с замкнутыми циклическими процессами: Cradle-to-cradle (C2C, «от колыбели до колыбели»), Zero Waste (ZW, «ноль отходов»), Cleaner Production («более чистое производство»), Green Engineering («зеленая инженерия», «экоинженерия»), Cradle-to-Grave (C2G, «от колыбели до могилы»).

Выполненный аналитический обзор научно-технических публикаций по теме диссертационной работы, позволил автору в рамках концепции рационального недропользования, выявить перспективные направления развития научно-методологических основ технологий переработки горнопромышленных отходов и определить цель, задачи, разработать программу диссертационных исследований.

*Во 2 главе* в качестве общего универсального подхода к исследованию переработки минеральных отходов разработана модель социальных оснований научной инноватики в области переработки отходов. Сформулирована инновационная научно-методологическая парадигма исследования отходов. На основании анализа условий образования, как самих минеральных отходов, так и техногенных месторождений, как локальных скоплений этих отходов, изучены закономерности формирования и проведена систематизация факторов формирования вещественного состава и технологических свойств отходов добычи и переработки минерального сырья. Отмечен характер изменений свойств в природных и техногенных процессах. Универсальность новой парадигмы заключается в диалектическом единстве конкретно-научного уровня методологии и общих универсальных теоретических подходов, среди которых доминирующие позиции занимают структурно-генетический и абстрактно-логический.

Разработана классификация отходов черной и цветной металлургии по степени измененности вещественного состава и контрастности технологических свойств. Предложена авторская дефиниция «минеральный отход». Разработаны методические рекомендации для прогнозной оценки качества техногенного сырья, определяющие виды, объемы, последовательность работ при минералогических и аналитических исследованиях, адаптированные для изучения текущих хвостов обогащения колчеданных руд.

Разработана методология формирования ресурсосберегающих технологий комплексной переработки горнопромышленных отходов. Методология построена по принципу последовательного решения промежуточных тактических задач на нескольких соподчиненно уровнях (информационно-аналитическом, адаптационном, организационно-технологическом, экономико-аналитическом) в итеративном порядке выполнения и анализа условий реализуемости. Представлена блок-схема этой методологии. Адаптационный механизм, разработанный автором, позволяет перевести исследуемый объект (технологическую систему) в требуемое (целевое) состояние путем целенаправленного воздействия для повышения эффективности ее функционирования.

Критериями результативности проведенной технологической адаптации вы-

ступают следующие показатели: качество продуктов разделения (металлсодержащие и нерудные); содержание основных и попутных компонентов, вредных примесей; технологические потери компонентов с хвостами вторичной переработки; коэффициент полноты извлечения ценных компонентов по ценности; извлекаемая ценность.

Для оценки эффективности переработки техногенного сырья в продукцию на адаптационном уровне автор предлагает использовать комплекс интегральных критериев. На данном уровне методологии в качестве дополнительных оценочных критериев приняты: критерий безотходности технологического процесса, критерий глубины переработки, критерий экологичности и интегральный критерий эффективности технологии. Научно обоснован принцип построения схем переработки техногенных отходов. Если при конструировании схем, возникает ситуация расхождения фактически достигнутых показателей с рациональными планируемыми, автор предлагает проводить итерацию цикла: «параметрическая адаптация-структурная адаптация» до тех пор, пока не будут достигнуты требуемые параметры процессов и разработана оптимальная схема переработки отходов.

Адаптационный уровень методологии позволяет обосновать рациональный комплекс процессов, аппаратов, их последовательность в технологической схеме и условия реализуемости (оптимальные параметры отдельных операций) для наиболее полного извлечения ценных компонентов из техногенного сырья. Адаптационный подход рассматривается как поэтапное, многоуровневое, продуманное движение от глубокого всестороннего изучения техногенного сырья с учетом его происхождения и выявления его технологических особенностей, до качественного изменения технологических решений по рудоподготовке, обогащению, металлургическому переделу, конструктивных параметров обогатительного оборудования и построению оптимальных топологий технологических схем переработки техногенного сырья. Предложены следующие принципы адаптации методов и технологий обогащения к техногенному минеральному сырью: материального баланса, баланса ценностей, технологической взаимосвязи рациональной эффективности и экологичности.

На организационно-технологическом уровне на основании результатов, полученных на инструментальном и адаптационном уровнях, принимается окончательный вариант ресурсосберегающей технологии переработки техногенного сырья. Далее принятая технологическая схема, проходит апробацию – исследование на обогатимость в ходе укрупнено-лабораторных и/или полупромышленных испытаний с оценкой качества получаемой продукции и достижения основных технологических показателей переработки. Делается вывод о технической возможности использования техногенного сырья в качестве вторичных ресурсов. Критерием технологичности разработанной схемы переработки на этом этапе служит степень рациональности использования техногенного сырья.

Полученные в ходе полупромышленных испытаний технологические показатели разделения, используются для расчета основных технико-экономических показателей технологии и оценки ее эффективности на экономико-аналитическом уровне. Экономическая оценка включает оценку рыночного спроса и уровня цен на продукцию, установление цен на техногенное сырье, расчет себестоимости продукции и инвестиционных затрат на переработку техногенного сырья, оценку интегральной эф-

фективности использования техногенного сырья и стратегической гибкости проекта. Интегральный экономический эффект устанавливается за год и за весь срок.

**В 3 главе** автором, в соответствии с разработанным алгоритмом формирования технологий, проводятся экспериментальные исследования, и осуществляется разработка технологии переработки горнопромышленных отходов. В процессе ревизионно-оценочных работ информационно-аналитического уровня на основании анализа геологической, маркшейдерской, горнотехнической документации в качестве объекта исследований переработки выбран отвал, сформированный при разработке медного месторождения Таскора Жаман-Айбатского (республика Казахстан).

Изучен вещественный состав представительной пробы с использованием методов количественного химического анализа по МВИ НСАМ 372-Ф (минеральный состав фаз меди), элементного анализа методом атомно-эмиссионного спектрального анализа на спектрометре ISP-OES Agilent 725, рентгеноструктурного анализа на рентгеновском дифрактометре D2 PHASER, оптико-микроскопического анализа на анализаторе Минерал-С7 с управляющей программой «SIAMS Photolab». Установлено, что главным минералогическим критерием пригодности для переработки является степень окисленности рудных минералов.

Рассмотрены следующие альтернативные варианты методов переработки забалансовой медной руды: флотационное обогащение и серноокислотное выщелачивание, сульфатно-аммонийное выщелачивание флотационного концентрата, агитационное серноокислотное выщелачивание руды и хвостов флотации, агитационное выщелачивание аммонием серноокислотным, аммиачно-аммонийное выщелачивание. Представлены результаты исследований.

По принятому алгоритму, разработана технологическая схема флотационного обогащения в замкнутом цикле и схема выщелачивания. Приведены результаты экспериментальных исследований. Получены следующие результаты серноокислотного выщелачивания: извлечение меди в концентрат не более 50% при массовой доле меди в черновом концентрате 3,63%, извлечение меди в раствор не превысило 65% при большом расходе серной кислоты (~ 200 кг/т руды). По заключению автора, результаты являются неприемлемыми, в связи с тем, что технология не отвечает требованиям максимально полного использования георесурсного потенциала и технология не является экологически безопасной.

Последовательное проведение исследований на информационно-аналитическом, инструментальном, адаптационном, технологическом уровнях, позволило автору разработать инновационную комбинированную флотационно-гидрометаллургическую технологию переработки.

Методология построения экологически ориентированной комбинированной флотационно-гидрометаллургической технологии переработки забалансовых медных руд, которая обеспечивает оптимальную глубину обогащения и выщелачивания, научно обоснована следующими факторами: сложным минеральным составом, степенью окисленности руд, содержанием меди в руде, составом и природой породообразующих минералов, активацией сульфидов; тонкой структурой; значительной каолинизацией и серитизацией вмещающих пород; большим содержанием шламов; различием механизмов взаимодействия сульфидов и оксидов меди с реагентами, различной растворимостью минералов.

Новое технологическое решение – выщелачивание окисленных минералов меди эффективным, селективно действующим, неокислительным растворителем – аммонием сернокислым, что обеспечивает экологоэкономичное направление технологии, значительно упрощает технологическую схему и ее аппаратное оформление. Выбраны и обоснованы параметры комбинированной технологии переработки и приведены результаты экспериментальных исследований и опытно-промышленной апробации.

Выполнен расчет изобарно-изотермического потенциала взаимодействия основных окисленных и сульфидных минералов меди с аммонием сернокислым (энергия Гиббса). Предложен механизм выщелачивания окисленной части медной минерализации при введении избытка комплексообразующего реагента аммония сернокислого в процесс измельчения руды.

В составе катодной меди (массовая доля Cu 99,99 %) присутствует Ag, Co, Ni, Sb, Bi, Se, Te и др., которые дополнительно извлекаются при последующем рафинировании. Проект переработки отвала забалансовых медных руд является инвестиционно привлекательным: внутренняя норма доходности 70,3 %; индекс доходности 1,83, срок окупаемости 1 год.

**В 4 главе** рассмотрены специфические особенности геологического строения, вещественного состава и технологических свойств золотосодержащего техногенных месторождений золота. Установлены закономерности накопления, перераспределения, преобразования минерального состава и технологических свойств золота и минеральных ассоциаций в хвостохранилищах. Приведены условия формирования и закономерности концентрирования золота в техногенных золотосодержащих объектах.

Используя методологию технологии переработки отходов, обоснована целесообразность комбинирования различных технологических процессов для доизвлечения золота по типам участков. Основаниями для выбора гравитационного извлечения золота из лежалых хвостов законсервированного хвостохранилища Семеновской золотоизвлекательной фабрики на центробежных концентраторах послужили следующие основания: установленные закономерности перераспределения и аккумуляции недоизвлеченного золота в местах сосредоточенного сброса пульпы и на участках пляжной зоны хвостохранилища; небольшая толщина песков в пляжной зоне и возможность разработки их наиболее простым способом экскавации; повышенные содержания золота в пробе песков пляжной зоны, преимущественно в крупных классах  $-0,5+0,040$  мм; благоприятные для гравитации формы нахождения и морфология золота; положительные результаты концентрирования золота в тяжелой фракции при проведении лабораторного теста на обогатимость хвостов центробежной сепарацией; высокая производительность, простота конструкций центробежных концентраторов, их компактность, легкая компоновка с другим оборудованием и возможность установки в любой точке технологической цепочки.

Проведенные лабораторные исследования и опытно-промышленные испытания разработанной технологии гравитационного обогащения золотосодержащих песков из участков пляжной зоны хвостохранилища, показали ее техническую состоятельность и возможность получения гравитационных концентратов с приемлемыми технологическими показателями. Адаптация гравитационного обогащения лежалых хвостов применительно к морфометрическим параметрам мелкого и тонкого золота

на этих участках хвостохранилища, претерпевшим изменения как в технологических процессах первичной переработки на фабрике, так и при гидравлическом складировании и долговременном хранении хвостов, была обеспечена изменением профиля рифлей типовой конструкции чаши центробежного концентратора.

Проведена оценка пригодности хвостохранилища ЗИФ к отработке методом скважинного выщелачивания хлорсодержащими растворителями на основе горно-технических, технологических и гидрологических факторов по степени благоприятности условий: весьма благоприятные, благоприятные, неблагоприятные.

Разработана инновационная технология скважинного гидрохлоридного подземного выщелачивания золота на месте залегания лежалых хвостов в хвостохранилище и определены ее параметры (условия – благоприятные). Физико-химическая геотехнология хлоридного подземного выщелачивания является экологоэкономичной безлюдной технологией XXI века, с высоким уровнем автоматизации, низкой себестоимостью получения товарной продукции за счёт снижения капитальных и эксплуатационных затрат.

Оригинальна идея изображения графической объемной модели распределения золота в толще хвостохранилища, построенная по данным буровых проб хвостов и топографического плана местности расположения хвостохранилища, что обеспечивает объективность оценки. Показан схематический план и разрез технологического участка со скважинами подземного выщелачивания. Приведены результаты замеров в скважинах на опытной ячейке: изменения уровня подземных вод в скважинах, производительность работы закачных скважин и откачной скважины, водные параметры закачных скважин. Проведена адаптация технологии подземного выщелачивания золота к специфично измененным технологическим свойствам минерального сырья. Чистый дисконтированный доход составляет 570,27 млн руб.

**В 5 главе** представлены результаты исследования процессов образования отходов чёрной металлургии, изучения вещественного состава шламов металлургических производств и минеральных форм вредных примесей. Исследован минеральный состав железосодержащих шламов и доменных шламов, распределение цинка в шламах металлургического производства по минералам, распределение цинка и железа в доменных шламах по классам крупности. Представлены результаты анализов элементного и химического составов. Изучен химический состав шламов газоочисток доменных печей Магнитогорского металлургического комбината. Приведена статистическая информация по обезвоживанию шламов газоочисток доменных печей ММК за период 1990-2018 гг. Представлены данные по магнитным характеристикам доменных шламов, определённые методом Гюи.

Установлено, что шламы, образующиеся в газоочистных системах доменных печей Магнитогорского металлургического комбината, характеризуются высокой массовой долей в них железа (48-50%) и повышенной массовой долей цинка (0,93-2,73%).

Разработана комбинированная флотационно-магнитная технология комплексной переработки доменных шламов и обоснованы ее параметры. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния напряженности магнитного поля на показатели мокрой магнитной сепарации, обогащения шламов на концентрационном столе, обогащения шламов на центробежном концентраторе, прямой анион-

ной флотации шламов, флотационного обогащения доменного шлама по схеме обратной анионной и катионной флотации.

Изучен минеральный состав исходных доменных шламов и продуктов флотации. Установлены закономерности влияния расхода ксантогената на показатели флотационного обогащения доменных шламов. Приведены результаты экспериментальных исследований: по фазам в исходных шламах и продуктах флотации, показатели флотационного обогащения доменного шлама по схеме обратной катионной флотации, показатели мокрой магнитной сепарации камерного продукта основной флотации при различной напряженности магнитного поля.

Разработанная автором инновационная, экологически безопасная, низкзатратная комбинированная флотационно-магнитная технология утилизации железцинксодержащих шламов и пылей, позволяет комплексно перерабатывать техногенное сырьё: получение кондиционных продуктов для черной металлургии и продуктов цветных металлов, пригодных для дальнейшего использования на предприятиях цветной металлургии.

Реализация технологии обесцинкования доменных шламов в условиях вакуум-фильтрационной установки ММК обеспечит увеличение стоимости товарной продукции на 79,7 млн руб. в год.

*В 6 главе* изучен фазовый состав и физико-механические свойства некоторых видов шлаков черной и цветной металлургии и некондиционных металлсодержащих концентратов, получаемых из шлаков. Установлено, что эти геоматериалы имеют поликомпонентный состав, неоднородное строение, существенные различия форм и размеров зерен рудных минералов и силикатной матрицы. Обосновано, что селективность процесса дезинтеграции металлургических шлаков в дробилках ударного действия позволяет раскрывать металлические включения на стадии дробления при более низких значениях ускорений и меньших энергетических затратах.

Внесено дополнительное уточнение в математическую модель, характеризующую зависимость динамической силы отбойной плиты центробежно-ударной дробилки от размера дробимого материала и скорости вращения ускорителя.

Разработана двухстадиальная технология переработки ванадиевого шлака с получением обезжелезненного ванадиевого порошка с массовой долей железа 0,57%, используемого для производства пентаоксида ванадия. Технологические операции дробления, измельчения, магнитной сепарации и воздушной классификации, включённые в сему переработки, обеспечивают необходимую степень обезжелезнения ванадиевого шлака. Обоснованы рациональные параметры технологических операций раскрытия и обогащения шлака.

Разработана универсальная технологическая линия и схема цепи аппаратов переработки некондиционной металлсодержащей продукции различных фракций крупности отвальных металлургических шлаков.

На основании проведенных теоретических, экспериментальных и технологических исследований, сложившейся практики применения центробежно-ударной техники, разработаны технологические рекомендации по адаптации рудоподготовительных процессов с использованием центробежно-ударного способа дезинтеграции и построению модульных технологических линий переработки для различных видов бедного природного и техногенного металлсодержащего сырья: марганцевые (окси-

дные), хромовые, золотосодержащие руды; шлаки черной металлургии и некондиционные продукты их переработки; шлаки цветной металлургии; хвосты обогащения марганцевых руд; плавленный периклаз некондиционный.

Экономический эффект от реализации технологии обогащения некондиционных металлоконцентратов, полученных из металлургических шлаков, для фракции 0-65 мм составит свыше 54 млн руб. в год.

**3. Степень обоснованности, достоверности, новизны научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в автореферате и диссертации** обеспечивается: надежностью и представительным объемом исходных данных, представительностью проб, использованием комплекса современных физико-химических методов исследований в аттестованных лабораториях, применением аттестованных методик измерений параметров и сертифицированного оборудования, проведением достаточного количества экспериментов и получением большого объема данных; подтверждается: согласованностью данных экспериментов и научных выводов, сопоставимостью результатов лабораторных технологических исследований, укрупненных лабораторных и опытно-полупромышленных испытаний, экономической рентабельностью новых технологических решений; удовлетворительной сходимостью результатов теоретических гипотез автора с данными экспериментальных исследований, применением методов математической статистики для обработки экспериментальных данных.

Основные положения и результаты исследований, представленные в диссертационной работе, докладывались на различных конференциях, симпозиумах, конгрессах, в том числе: на ежегодных научно-технических конференциях МГГУ им. Г.И. Носова (Магнитогорск, 2000 – 2019 гг.); на международных совещаниях «Плаксинские чтения» (2006 - 2019 гг.); Конгрессах обогатителей стран СНГ (Москва, МИ-СиС, 2007, 2009, 2011, 2013, 2015, 2019 гг.); научном симпозиуме «Неделя горняка» (Москва, МГГУ, 2012-2017 гг.); международном конгрессе по обогащению полезных ископаемых XXIX IMPC 2018, научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья» (Екатеринбург, 2007, 2008, 2011, 2019 гг.); конгрессах «Техноген-2012», «Техноген-2014» (Екатеринбург); международной научно-технической конференции «Технологическая платформа «Твердые полезные ископаемые»: технологические и экологические проблемы отработки природных и техногенных месторождений» (Екатеринбург, 2017 г.); международной научно-практической конференции «Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов» (Алматы, 2018); X международной научно-технической конференции «Комбинированная геотехнология» (Магнитогорск, 2019); научно-практической конференции «Золото. Полиметаллы. XXI век» (Челябинск, 2019 г.).

#### **4. Научная новизна полученных результатов**

Соискателем выдвинуты шесть научных положения. Наиболее существенными научными результатами, полученными лично соискателем, считаю следующими:

- введён новый термин (авторская дефиниция) – «минеральный отход», имеющий эксплицирующее значение и, который следует рассматривать как многоэлементную структуру, сформированную под влиянием множественных факторов тех-



ногенного и последующего гипергенного воздействия, и как открытую систему, обладающую внутренней нелинейностью;

- предложена оригинальная гипотеза, обогащающая научную концепцию рационального природопользования, сущность которой заключается в том, что при разработке и обосновании параметров технологических схем комплексной переработки горнопромышленных отходов, их специфические минеральный состав и технологические свойства, формирующиеся под влиянием природных и техногенных факторов, выступают критериями выбора способа селективной дезинтеграции и комбинации процессов извлечения ценных компонентов;

- изложена новая научно-методологическая парадигма исследования минеральных отходов в рамках междисциплинарного синергетического подхода, универсальность которой состоит в диалектическом единстве конкретно-научного уровня методологии и общих универсальных теоретических подходов, среди которых доминирующие позиции занимают структурно-генетический и абстрактно-логический;

- раскрыт новый принцип научного подхода к разработке оптимальной технологии переработки горнопромышленных отходов, заключающийся в том, что химическая целостность минерального отхода включает в себе совокупность природных свойств генетически связанного минерального сырья и приобретенных свойств отхода, которые выступают критериями выбора разделительных процессов;

- разработана классификация отходов черной и цветной металлургии по степени измененности вещественного состава и контрастности технологических свойств, позволяющая производить прогнозную оценку 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;

- предложен нетрадиционный подход в развитии научно-методологических основ технологии переработки горнопромышленных отходов: разработана новая методология формирования ресурсосберегающих, экологощадящих технологий переработки минерального отхода, построенная на последовательном осуществлении комплекса теоретических и экспериментальных исследований соподчиненных информационно-аналитическом, инструментальном, адаптационном, организационно-технологическом и экономико-аналитическом уровнях в итерационном порядке выполнения и анализа условий реализуемости при сопоставлении с вводимыми оценочными критериями (технологическими, экономическими, интегральными);

- теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что эффективная переработка забалансовых медных руд, обусловленная особенностями их вещественного состава и технологических свойств, обеспечивается созданием оптимальных условий извлечения сульфидных и окисленных минералов меди в разных технологических процессах при определенной их последовательности в технологической схеме и при достижении рациональных параметров технологических процессов;

- научно обоснован механизм и разработан новый способ аммонийно-сульфатного выщелачивания окисленных минералов меди при интенсифицирующих механическом и термическом воздействиях;

- теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что для наиболее полного освоения запасов золота законсервированного хвостохранилища золотоизвлекательной фабрики, обеспечения технологической эффективности, экономической рентабельности и экологической безопасности переработки, целесообразно комбинирование гравитационного доизвлечения золота из участков пляжной зоны и скважинного подземного хлоридного выщелачивания золота в центральной части техногенного массива;

- разработана технология скважинного выщелачивания золота в хлоридных системах в центральной обводненной части хвостохранилища, с неравномерным распределением мелкого и тонкого золота по глубине и по простиранию, при рациональной геометрии и размерах геотехнологических ячеек выщелачивания;

- экспериментально 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%;

- экспериментально установлено, что наиболее характерные особенности фазового состава, структуры и физико-механических свойств металлургических шлаков чёрной металлургии, обусловленные неравновесными условиями их образования в высокотемпературных металлургических процессах, позволяют рационально сочетать технологические операции селективного вскрытия металлических включений и рудных фаз при применении центробежно-ударного способа разрушения и операции грохочения и магнитной сепарации;

- впервые экспериментально доказано наличие следующих аналитических зависимостей при переработке различных видов техногенных отходов характерных исследуемых объектов: выхода классов крупности от времени измельчения руды; показателей флотации (извлечение меди, максимальная доля меди в концентрате, выход концентрата) от времени измельчения руды; показателей флотации (извлечение меди, максимальная доля меди в концентрате, выход концентрата) от параметров флотации: расхода собирателя, расхода вспенивателя, рН пульпы; извлечения меди в раствор при агитационном выщелачивании от концентрации аммония сернокислотного; извлечения меди в раствор от времени измельчения руды; извлечения золота от параметров работы модифицированного центробежного концентратора (скорость вращения чаши, время накопления концентрата, содержание твёрдого в пульпе);

- впервые на основе методологии создания ресурсосберегающих технологий комплексной переработки горнопромышленных отходов, построенной по принципу последовательного решения промежуточных тактических задач на информационно-аналитическом, инструментальном, адаптационном, организационно-технологическом и экономико-аналитическом уровнях, научно обоснованы и разра-

ботаны технологии эффективной рентабельной переработки железо-, медь-, золото-содержащих отходов, образовавшихся в различных технологических процессах добычи и переработки руд (забалансовые руды из отвала, лежалые хвосты обогатительной фабрики, доменные шламы, шлаки металлургии);

- экспериментально подтверждено, 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 и разделению на минеральные агрегаты с разным содержанием полезных компонентов;

Следует отметить следующие особенности: солидный уровень теоретического (аналитического) исследования в рамках метода восхождения от абстрактного к конкретному, системность методологического подхода к комплексному освоению минерального сырья техногенного происхождения, большой объём экспериментальных исследований и высокий научный потенциал соискателя, логическую чёткость изложения результатов исследований. Автор достаточно корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций.

На основании полученных результатов, можно констатировать, что основные этапы научных теоретических и экспериментальных исследований (лабораторные исследования, опытно-промышленные испытания), реализованы в полном объёме.

### **5. Практическая значимость работы**

Практическая значимость результатов исследования состоит:

1. В апробации авторской методологии формирования следующих технологий переработки горнопромышленных отходов:

- комбинированной флотационно-гидрометаллургической – для переработки забалансовых медных руд из отвала;

- гравитационной и геотехнологической – для извлечения золота из лежалых хвостов золотоизвлекательной фабрики при комбинировании технологий по типам геолого-минералогических зон в хвостохранилище;

- комбинированной флотационно-магнитной – для переработки железозинксо-держащих шламов доменного производства;

- технологии магнитной сепарации ванадиевого шлака с получением обезжелезненного ванадиевого порошка;

- технологии первичной переработки отвальных доменных и мартеновских шлаков с использованием интергранулярного центробежно-ударного способа разрушения.

2. В разработке рекомендаций по построению модульных технологических линий с использованием центробежно-ударного способа разрушения и по адаптации рудоподготовительных процессов в схемах переработки бедного природного и техногенного сырья.

### **6. Оценка содержания диссертации**

Диссертация имеет внутреннее единство всех глав. Автореферат отражает содержание диссертации. Содержание диссертации соответствует содержанию 74 науч-

ным работам, из них: 21 статье в рецензируемых научных изданиях из Перечня журналов и изданий, утверждённых Высшей аттестационной комиссией Минобрнауки РФ, 5 – в изданиях, рецензируемых в базе данных Scopus, 42 – в прочих изданиях, 5 монографиям, 1 методическим рекомендациям.

Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований, соответствуют поставленной цели, задачам и являются новыми научными знаниями горной отрасли знаний по обогащению полезных ископаемых. Автор умело показал результативность проведённого исследования.

Оформление, форматирование текста автореферата и диссертации отвечают требованиям нормативных документов («Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления»).

### **7. Личный вклад автора**

Личное участие автора заключается в постановке цели и задач исследования, проведении теоретического анализа и разработке классификации техногенного сырья по степени измененности вещественного состава и контрастности технологических свойств, в обосновании авторской дефиниции «минеральный отход», теоретическом обосновании методологических принципов конструирования технологических схем комплексной и глубокой переработки горнопромышленных отходов и их практической реализации в виде разработанных и апробированных технологий переработки забалансовых руд из отвала, хвостов обогащения, шламов и шлаков черной металлургии, в организации и непосредственном участии в экспериментальных исследованиях и опытно-промышленных испытаниях, анализе и обобщении полученных результатов, обосновании выводов, подготовке публикаций.

### **8. Замечания и рекомендации по автореферату и диссертации:**

1. В главе 1, кроме отечественной практики переработки горнопромышленных отходов следовало кратко изложить суть концепций управления горными отходами, получившими признание в Европе, США и др. странах, поддерживающих внедрение промышленных систем с замкнутыми циклическими процессами.

2. В главе 2 при изложении парадигмы экологически ориентированных ресурсосберегающих технологий не отмечено новое направление, развиваемое в России (№488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации» от 31.12.2014): разработка информационно-технологических справочников «Наилучшие доступные технологии» (НДТ, Best Available Technologies).

3. В соответствии с авторской классификацией отходов черной и цветной металлургии по степени измененности вещественного состава и контрастности технологических свойств (табл.2.2, стр.114), требуется внесение уточнений (использование техногенных отходов в качестве стройматериалов) на следующих технологических схемах, разработанных автором: рис.3.8 (стр.163); рис.4.10 (стр.206); рис.4.13 (стр. 216); рис.5.19 (стр.264).

4. В связи с обострившейся проблемой сверхлимитных накоплений ртутисодержащих отходов на золотодобывающих предприятиях, использовавших в прошлом ртуть, по данным табл. 4.1 (стр.175-176) не отмечено в резюме (глава 4, стр. 177), что основными экологическими аспектами переработки лежалых хвостов после амальгамации: являются демеркуризация с использованием гравитационного оборот-

дования для извлечения металлической ртути; обезвреживание ртути, находящейся в пептизированном состоянии; утилизация ртутьсодержащих отходов.

Указанные замечания, рекомендации и уточнения не снижают высокого качества, представленной диссертационной работы.

### 9. Заключение

Диссертация Горловой Ольги Евгеньевны является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований, разработаны теоретические положения научно-методологических основ технологии переработки горнопромышленных отходов, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, а также изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения научной проблемы – вовлечение в рентабельную переработку сырья техногенного происхождения, повышение экологичности, полноты и комплексности использования отходов, позволяющее сохранить истощающиеся минеральные ресурсы чёрных и цветных металлов в недрах, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

Диссертация по своему содержанию соответствует паспорту специальности 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых (п.п.1-4, п.7); профилю диссертационного совета Д 212.111.02; требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертационным работам на соискания учёной степени доктора технических наук.

Горлова Ольга Евгеньевна заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых.

Доктор технических наук по специальности  
25.00.13 «Обогащение полезных ископаемых»,  
профессор по кафедре химии,  
проректор по научной и инновационной работе  
Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Забайкальский государственный университет»

Алиса Николаевна Хатькова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Забайкальский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЗабГУ»)  
672039 Россия, г. Чита, ул. Александро-Заводская, дом 30  
Тел./факс: (302-2) 41-64-44  
E-mail: mail@zabgu.ru  
Тел:89242713080, e-mail: alisa1965.65@mail.ru

Подпись Хатьковой А.Н. заверяю  
Начальник Управления кадров  
*Хатькова А.Н.*  
Заверяю:  
Начальник отдела кадров ЗабГУ  
*Евтушок*  
О.В. Евтушок  
07. 09 2020 г.



О.В. Евтушок  
09 2020 г.