

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет»

ПРОГРАММА

вступительного испытания при поступлении в магистратуру
по направлению подготовки

22.04.02 Metallургия

программы обучения в магистратуре:

«Metallургия цветных металлов»

«Теплотехника metallургических процессов»

Санкт-Петербург
2017

Программа вступительного испытания в магистратуру по направлению 22.04.02 Metallургия разработана на основании Федеральных государственных образовательных стандартов подготовки магистратуры по направлению 22.04.02 Metallургия и утверждена на заседании кафедры Metallургии (протокол № 3 от 18.09.2017 г.)

I. Методические указания к программе вступительного испытания

Основной целью вступительного испытания при поступлении в магистратуру является выявление следующих компетенций:

- знание профессиональной терминологии, принципов организации металлургического производства, структуры металлургической отрасли и её значения для народного хозяйства;

- знание теоретических основ пиро-, гидро- и электрометаллургических процессов и методических основ проведения теоретических расчётов;

- знание принципов аппаратного оформления основных типов металлургических процессов, методов расчёта и выбора металлургического оборудования;

- знание теоретических и технологических основ переработки рудного сырья природного и техногенного происхождения с получением основных групп цветных металлов;

- знание методологических основ выполнения технологических и технико-экономических расчётов, организации и выполнения экспериментальных исследований применительно к процессам и системам металлургического производства.

II. Содержание, структура и форма проведения вступительного испытания

На вступительном испытании соискатель должен продемонстрировать основные компетенции, сформированные в результате освоения дисциплин:

«Основы производства и обработки металлов», «Теория пирометаллургических процессов», «Теория гидрометаллургических процессов», «Теория электрометаллургических процессов», «Металлургия лёгких металлов», «Металлургия тяжелых цветных металлов», «Металлургическая теплотехника», «Металлургические печи» и смежных с ними дисциплин в высшем учебном заведении по программам бакалавриата.

Вступительное испытание по направлению подготовки магистратуры **22.04.02 Metallургия** проводится в виде письменного экзамена, включающего в себя 50 (пятьдесят) тестовых заданий и 2 (два) вопроса, требующих развернутого ответа. Продолжительность вступительного испытания 2 (два) астрономических часа.

III. Разделы дисциплин по направлению 22.04.02 Metallургия, рассматриваемые в ходе вступительного испытания

Раздел 1 . Основы металлургии и производства конструкционных материалов

Физико-химические свойства металлов и их соединений. Структура потребления металлов и их сплавов. Природные минералы, руды и концентраты для производства металлов. Основные составляющие шихт и их назначение. Дробление, измельчение, грохочение, сушка, смешивание, окатывание, брикетирование. Основы обогащения и кондиционирования руд. Принципы разработки операционных технологических схем и аппаратурно-технологических решений производства цветных металлов. Классификация технологических процессов. Понятие ресурсосбережения и комплексного подхода к переработке полезных ископаемых, обеспечение экологической безопасности и основы утилизации отходов металлургического производства.

Сплавы и основы технологии их получения. Лигатуры и технологические основы легирования металлов. Химически разнородные материалы и основные группы композиционных материалов. Дисперсно-

упрочненные материалы и сплавы. Основы приготовления и обработки порошковой смеси. Системы металл – металл, как основа для производства металлургических сплавов: чугуны и стали, сплавы цветных металлов.

Раздел 2. Основы теории металлургических процессов

Значение высокотемпературной термодинамики физико-химических систем и кинетики химических взаимодействий для анализа пирометаллургических процессов. Термодинамика взаимодействия газовых реагентов с кислородом. Оценка состояния равновесия. Кинетика и механизм реакций горения водорода и окиси углерода. Термодинамический анализ горения углерода. Кинетика и механизм горения твердого углерода. Диссоциация соединений переменного состава при постоянной температуре. Диссоциация соединений с образованием конденсированных фаз постоянного состава. Механизм и кинетика диссоциации соединений. Газовое восстановление оксидов нелетучих металлов. Восстановление хлоридов металлов. Восстановление оксидов из расплавов. Раскисление металлов. Алюмотермия и силикотермия. Восстановление в условиях плазменных температур. Роль вакуума при восстановлении летучих металлов. Условия образования и диссоциации сульфидов. Механизм и кинетика окисления сульфидов. Взаимодействие между оксидами и сульфидами одного металла. Основы теории плавки сульфидов. Сходство и различие вещества в твердом и жидком состоянии. Современные теории строения жидкостей и расплавов. Микронеоднородность шлаковых систем. Диаграммы состояния основных шлаковых систем цветной металлургии. Физико-химические свойства и строение расплавленных сульфидов. Активность компонентов в оксидных и сульфидных системах. Скорость осаждения и всплывания дисперсной фазы в жидкой среде. Механизм перехода ценных компонентов через границу раздела. Потери металлов при плавках. Зависимость потерь металлов от вязкости, удельного веса, температуры, состава шлаков. Ликвация и ликвационное рафинирование

металлов. Направленная кристаллизация. Равновесный и эффективный коэффициенты распределения примесей при кристаллизации. Зонная плавка. Выращивание монокристаллов. Термодинамика испарения простых веществ и растворов. Механизм и кинетика процесса испарения. Факторы, влияющие на скорость процесса испарения. Зародышеобразование новой фазы. Кипение расплавов. Молекулярный режим испарения. Потери металлов в виде паров при восстановительном процессе. Отгонка металла из шлака при фьюминговании. Теория процессов конденсации чистых паров и смеси паров с неконденсируемыми газами. Конденсация в жидкость и в кристаллическую фазу.

Основные процессы гидрометаллургии и их место в технологии производства цветных металлов. Химизм процессов выщелачивания. Технологические аспекты выщелачивания. Подготовка сырья к процессам выщелачивания. Методы выщелачивания. Прямоточный и противоточный процессы. Термодинамика простого растворения. Характеристика воды как растворителя. Термодинамика процессов выщелачивания, сопровождающегося обменными химическими реакциями. Методы расчета констант равновесия. Влияние температуры и давления на равновесный состав систем. Понятие о термодинамике дефектных кристаллов. Термодинамика процессов выщелачивания, сопровождающихся окислительно-восстановительными реакциями. Окислительно-восстановительное равновесие воды и водных растворов. Диаграммы Eh–pH (Пурбе), их построение и анализ. Общая характеристика выщелачивания как гетерогенного процесса, протекающего с участием двух и более фаз. Общее уравнение кинетики процесса выщелачивания и его анализ. Особенности процесса выщелачивания при участии газовой фазы. Закономерности внешней и внутренней диффузии. Правило Пиллинга-Бедвордса. Закономерности протекания процесса в области химической кинетики. Определение природы лимитирующей стадии. Общие сведения о сорбентах и ионообменных материалах. Неорганические ионообменники,

активированные угли, синтетические смолы и их характеристика. Равновесие ионного обмена. Селективность ионного обмена. Изотермы сорбции. Влияние состава и pH раствора на коэффициенты распределения и разделения. Кинетика ионного обмена. Ионный обмен в колонках. Сорбционное извлечение металлов из пульпы. Общие сведения о методах жидкостной экстракции. Типы экстрагентов и их характеристика. Растворители и их влияние на процесс экстракции. Особенности равновесия реакций в процессах экстракции нейтральными, катионообменными и анионообменными экстрагентами. Кинетика процессов экстракции и разделения органической и водной фаз. Принципы аппаратного осуществления процессов экстракции. Экстракторы типа смеситель–отстойник, колонные и центробежные экстракторы. Примеры использования процессов экстракции в цветной металлургии. Цементация металлов как процесс внутреннего электролиза. Теоретический и реальный пределы цементации. Механизм и кинетика процесса. Побочные процессы и их подавление. Принципы аппаратного оформления процесса цементации и формы цементирующего металла. Кристаллизация солей. Истинное и метастабильное равновесие в водных растворах. Методы кристаллизации солей. Изотермическая и изогидрическая кристаллизация. Механизм и кинетика процессов кристаллизации солей. Понятие о гомогенном и гетерогенном зародышеобразовании. Роль затравки в процессе кристаллизации и перекристаллизация осадков. Общие закономерности осаждения труднорастворимых соединений. Растворимость и произведение растворимости труднорастворимых соединений. Влияние температуры, избытка одноименных ионов, ионной силы раствора, процессов комплексообразования и pH раствора на растворимость малорастворимых соединений. Закономерности гидратообразования: pH начала осаждения как функция ПР и активности ионов в растворе. Влияние степени окисления иона на эту функцию. Разделение металлов методом гидролиза.

Электрохимические процессы. Основные электрохимические и

электрометаллургические производства. Скачок потенциала на границе электрод – электролит. Ток обмена. Двойной электрический слой (Д.Э.С.). Равновесные электродные потенциалы. Стандартный потенциал. Формула Нернста. Использование стандартных потенциалов для описания химического равновесия в растворе. Классификация электродов. Электроды первого и второго рода. Электроды сравнения и измерение рН. Гальванический элемент и его электродвижущая сила. Методы и аппаратура для измерения электродвижущих сил. Прохождение электрического тока через электрохимическую систему. Катодные и анодные процессы, активные и пассивные электроды. Законы электролиза. Электрохимический эквивалент. Выход по току. Понятие о гальваностегии и гальванопластике. Электроанализ и кулонометрия. Напряжение разложения и обратная электродвижущая сила. Удельный расход энергии при электролизе, выход по энергии. Понятие об электродной поляризации. Влияние плотности тока на поляризацию электрода. Предельная плотность тока и уравнение концентрационной поляризации. Электрохимическая поляризация (перенапряжение) и уравнение Тафеля. Закономерности электрокристаллизации осадков. Факторы, влияющие на структуру осадка. Условия и особенности образования компактных и порошкообразных катодных осадков. Анодные процессы. Анодное растворение металлов с образованием хорошо растворимых соединений. Анодная пассивация и нерастворимые аноды. Электродное равновесие в расплавах. Определение электродных потенциалов и электродвижущих сил в расплавленных солях. Напряжение разложения расплавленных солей. Особенности поляризации в расплавах. Взаимодействие электродных продуктов между собой и с расплавом электролита. Влияние свойств электролита (плотности, вязкости, поверхностного натяжения, давления пара и др.) на показатели процесса.

Раздел 3. Процессы и аппараты металлургического производства

Цель и назначение печной обработки материалов в металлургии,

машиностроении, химико-технологических производствах, производстве строительных материалов. Классификация и общая характеристика печных процессов и оборудования для тепловой обработки различных материалов. Источники энергии для тепловой обработки материалов и их сравнительная характеристика. Аппаратурно-технологическое оформление процесса сушки дисперсных материалов. Схемы устройства и принцип действия сушилок. Природные энергоносители и основы их подготовки к металлургическим процессам. Пиролиз и полукоксование углей (цель процесса, схема устройства агрегатов для полукоксования, характеристика продуктов). Технология коксования каменных углей, устройство и работа коксовых печей. Назначение нагрева слитков металлов. Методы и средства нагрева. Технология нагрева и ее особенности, связанные с последующей обработкой слитка. Схема устройства и тепловая работа нагревательных печей. Обжиговые печи и печи для осуществления процесса спекания. Плавильные печи их классификация и назначение. Принцип генерации тепла и его влияние на конструкции металлургических печей. Основы теплообменных процессов в металлургических печах. Структура и методы расчёта материального и теплового балансов металлургических печей. Автогенные процессы в металлургии цветных металлов и конструкции агрегатов для их осуществления. Принципы моделирования гидродинамических, массообменных и тепловых процессов в металлургических печах. Схемы очистки запылённых газов, оборудование для очистки газов и газоходные системы. Принципы организации экологически безопасных условий работы металлургических печей.

Основные принципы выбора и конструирования гидрметаллургической аппаратуры. Проточное (перколяционное) и агитационное выщелачивание. Основные аппараты и аппаратурно-технологические схемы процесса выщелачивания. Принцип расчета и выбора аппаратов различного типа. Принцип организации процесса выщелачивания в реакторах различного типа. Типы механических мешалок, их

конструкционные особенности и области применения (лопастные мешалки, пропеллерные, турбинные, цепные, специальные). Моделирование и принцип расчёта механических мешалок. Критерии гидродинамического подобия для процесса перемешивания. Мешалки с пневматическим перемешиванием. Расчет потребного количества и давления воздуха (газа), необходимого для пневматического перемешивания. Автоклавы и их расчет. Способы разделения пульп и суспензий. Разделение пульп гравитационным способом, путем фильтрации и за счет центробежных сил. Отстойники, их расчет и принцип выбора конструкции и типоразмера. Схемы непрерывной противоточной промывки. Классификация фильтрующих перегородок и факторы, влияющие на выбор фильтров. Фильтры периодического и непрерывного действия. Центрифугирование. Классификация центрифуг по фактору разделения. Устройство центрифуг. Теплообменная аппаратура. Способы нагрева и охлаждения. Выбор теплоносителя или охлаждающего агента. Типовые группы теплообменных устройств: нагрев паром, жидкостями, газами и электрическим током. Охлаждающие агенты. Принцип расчета поверхностных теплообменников. Выпаривание. Аппаратура для выпаривания. Выпаривание при различных давлениях. Факторы, влияющие на производительность и интенсивность работы выпарных аппаратов. Устройство выпарных аппаратов. Аппаратура для кристаллизации. Типы и основы конструкций кристаллизаторов. Принцип выбора аппаратов для кристаллизации. Уравнение для определения количества образовавшихся кристаллов. Аппаратура для процессов сорбции, экстракции и ректификации. Основные виды аппаратов, их устройство, конструктивные особенности и принцип работы. Основы технологического расчета и выбор аппаратов для процессов массопередачи.

Раздел 4. Основы металлургии цветных металлов

Физико-химические свойства алюминия и его соединений.

Применение, масштабы производства и потребления алюминия. Минералы, руды и концентраты алюминия. Краткая характеристика промышленных методов переработки алюминийсодержащего сырья. Теория, технология и практика производства глинозёма: способ Байера; способ спекания; комбинированный способ Байер-спекание; способы комплексной переработки нефелинов и алунитов; гидрохимический способ Пономарева-Сажина. Получение первичного алюминия: производство фтористых солей; производство углеграфитовых изделий; теория, технология и практика электролиза криолит-глиноземных расплавов; рафинирование алюминия; металлургия вторичного алюминия; проблемы защиты окружающей среды.

Металлургия магния: сырьё и его подготовка к переработке; электролитическое получение магния; получение магния металлотермическим способом; технология совместной переработки титанового и магниевого сырья.

Характеристика медных руд как комплексного сырья. Принципиальные технологические схемы комплексного использования медных руд. Штейновые плавки медных руд и концентратов. Сущность и общая характеристика конвертирования медных штейнов в горизонтальных конвертерах. Теория и практика огневого рафинирования конвертерной меди. Теория и технология электролитического рафинирования меди. Технико-экономические показатели процесса. Факторы, определяющие режим и технологические показатели основных приемов гидрометаллургической технологии переработки медного сырья.

Главные свойства никеля, его соединений и минералов. Методы подготовки никелевых руд и концентратов к металлургической переработке. Восстановительно-сульфидирующая плавка окисленных никелевых руд. Восстановительная плавка окисленных никелевых руд на ферроникель. Комбинированные пиро-, гидрометаллургические способы переработки окисленных никелевых руд. Электроплавка сульфидных медно-никелевых руд и концентратов на штейн. Автогенные технологии переработки медно-

никелевых руд и концентратов. Конвертирование никелевых и медно-никелевых штейнов. Промышленные способы разделения медно-никелевых файнштейнов. Окислительный обжиг никелевого концентрата от флотационного разделения файнштейна. Восстановительный обжиг технической закиси никеля и восстановительная электроплавка на черновой никель. Электрохимическое рафинирование черного никеля.

Физико-химические свойства цинка и его соединений. Применение, масштабы производства и потребления цинка. Цинковые минералы, руды и концентраты. Вторичное цинкосодержащее сырье. Краткая характеристика методов переработки цинкосодержащего сырья. Обжиг цинковых концентратов. Общая характеристика пирометаллургического (дистилляционного) метода получения цинка. Теоретические основы и практика рафинирования цинка ликвацией и ректификацией. Общая характеристика гидроэлектрметаллургического метода получения цинка. Технологические схемы получения цинка гидрометаллургическим методом.

Физико-химические свойства свинца и его соединений. Применение, масштабы производства и потребления свинца. Свинцовые минералы, руды и концентраты. Краткая характеристика промышленных методов переработки свинцового сырья. Двухступенчатый (универсальный) метод переработки свинцовых концентратов. Реакционная плавка: теория, практика и технико-экономические показатели получения свинца реакционным способом в горнах, барабанных и электрических печах. Автогенные процессы переработки свинцовых концентратов. Общая технологическая схема рафинирования свинца огневым способом. Переработка полупродуктов и отходов свинцового производства. Основы гидрометаллургии свинца.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. Атлас минерального сырья, технологических промышленных продуктов и товарной продукции ЗФ ОАО ГМК «Норильский Никель». Л.Ш. Цемехман [и др.]. М.: ИД «Руда и металлы», 2010. 336 с.
2. Дубовиков О.А. Эффективные технологии переработки низкокачественных бокситов / О.А. Дубовиков, В.М. Сизяков // Горный университет. СПб, 2012. 113 с.
3. Литвинова Т.Е. Metallургия иттрия и лантаноидов / Т.Е. Литвинова. Санкт-Петербургский государственный горный университет. СПб, 2012. 272 с.
4. Логинова, И.В. Технология производства глинозема : учебное пособие / И. В. Логинова, А. В. Кырчиков, Н. П. Пенюгалова; под общ. ред. проф. И. В. Логиновой. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 336 с.
5. Львов В.В., Николаева Н.В. Теплотехника: Учебное пособие / В.В. Львов, Н.В. Николаева: СПб, 2016. 198 с.
6. Марченко, Н. В. Metallургия тяжелых цветных металлов [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / Н. В. Марченко, Е. П. Вершинина, Э. М. Гильдебрандт. – Электрон. дан. (6 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2009. 394 с.
7. Мастюгин С.А., Набойченко С.С., Волкова Н.А. Типовое оборудование для гидрометаллургических процессов. Екатеринбург 2010. 229 с.
8. Мастюгин С.А., Волкова, Н.А., Набойченко С.С., Ласточкина М.А. Шламы электролитического рафинирования меди и никеля. Екатеринбург: УрФУ, 2013.-258 с.
9. Набойченко С.С., Шнеерсон Я.М., Калашникова М.И., Чугаев Л.В. Автоклавная гидрометаллургия цветных металлов. Екатеринбург. ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. 2008 г. т. 2. 612 с.
10. Романтеев Ю.П., Быстров В.П. Metallургия тяжелых цветных металлов. Свинец. Цинк. Кадмий. М.: Издательский дом МИСиС, 2010. – 575 с.
11. Сизяков В.М. Технологические и методологические основы получения алюминия на мощных алюминиевых электролизёрах / В.М. Сизяков, В.Ю. Бажин. Санкт-Петербургский государственный горный университет. СПб, 2011. 130 с
12. Сизяков В.М. Получение порошков алюминия, магния и титана с использованием методов нанометаллургии /. В.М. Сизяков, В.Г. Гопиенко, С.В. Александровский. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб., 2008. 95 с.
13. Технологические расчеты и задачи по металлургии тяжелых цветных металлов. Учеб. пособие / А.К.Орлов, Г.В.Коновалов. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический

университет). СПб, 2009. 105 с.

14. Черемисина О.В. Теория и практика извлечения цветных, чёрных и редкоземельных металлов из промышленных растворов, стоков, природных вод и грунтов. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, 2008. 148 с.

15. Дополнительная литература

1. Абрамов В.Я. Физико-химические основы комплексной переработки алюминиевого сырья (щелочные способы) / В.Я.Абрамов, Г.Д. Стельмакова, И.В. Николаев. М.: Metallurgy, 1985. 288 с.

2. Анодная и катодная медь / Вольхин А.И., Елисеев Е.И., Жуков В.П. и др. Челябинск: Производственное объединение «Книга», 2001. 433 с.

3. Беляев А.И. Metallurgy легких металлов. М.: Metallurgy, 1970. 367 с.

4. Борисоглебский Ю.В. и др. Теория и технология электрометаллургических процессов. Лабораторный практикум. М., Metallurgy, 1994. 237 с.

5. Бричкин В.Н. Metallurgy лёгких металлов. Производство алюминия и магния: Лабораторный практикум / В.Н. Бричкин, В.М. Сизяков. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб., 2005. 88 с.

6. Бричкин В.Н. Процессы массовой кристаллизации из растворов в производстве глинозёма / В.Н. Бричкин, В.М. Сизяков. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб., 2005. 134 с.

7. Ванюков А.В., Зайцев В.Я. Теория пирометаллургических процессов. М.: Metallurgy, 1993. 384с.

8. Ванюков А.В., Уткин Н.И. Комплексная переработка медного и никелевого сырья: Учебник для вузов. Челябинск: Metallurgy, 1988. 432 с.

9. Ветюков М.М. Электрометаллургия алюминия и магния / М.М. Ветюков, А.М. Цыплаков, С.Н. Школьников. М.: Metallurgy, 1987. 320 с.

10. Грейвер Т.Н. Основы методов постановки и решения технологических задач. М.: Издательский дом "Руда и металлы", 1999. 147 с.

11. Дэвенпорт У.Г.; Джоунс Д.М.; Кинг М.Дж.. Взвешенная плавка: контроль, анализ и оптимизация. Под редакцией Старых Р.В. - Москва, МИСиС.- 2006.- 399с.

12. Зеликман А.Н. и др. Теория гидрометаллургических процессов. М, Metallurgy. 1985. 504 с.

13. Еремин Н.И. Процессы и аппараты глиноземного производства / Н.И.Еремин, А.Н.Наумчик, В.Г.Казаков. М.: Metallurgy, 1980. 360 с

14. Зайцев В.Я., Маргулис Е.В. Metallurgy свинца и цинка. М.: Metallurgy, 1985. 261 с.

15. Коротич В.И. Начала металлургии: учебник / В.И. Коротич, С.С. Набойченко, А.И. Сотников и др. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2000. – 392 с.
16. Левин А.И. Электрохимия цветных металлов. М.: Металлургия, 1982, 255с.
17. Кобахидзе В.В. Тепловая работа и конструкции печей цветной металлургии. – М.: МИСИС, 1994. – 356 с.
18. Лайнер А.И. Производство глинозема / А.И. Лайнер, Н.И. Еремин, Ю.А. Лайнер, И.З. Певзнер. М.: Металлургия, 1978. 344 с.
19. Набойченко С.С. Процессы и аппараты цветной металлургии / Набойченко С.С., Агеев Н.Г., Дорошкевич А.П., Жуков В.П. и др. – Екатеринбург, 2005. – 699с.
20. Набойченко С.С., Юнь А.А. Расчеты гидрометаллургических процессов. М.: МИСИС, 1995, 428 с.
21. Орлов А.К., Коновалов Г.В. Основы производства и обработки металлов. СПб. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), 2006. 115 с.
22. Погодаев А.М. Основы теории пирометаллургических процессов: Учебное пособие / А.М. Погодаев, И.А. Погодаева. – Красноярск: ГУЦМиЗ, 2004. – 136 с.
23. Погодаев, А.М. Применение диаграмм плавкости оксидных систем для технологических процессов плавки металлургического сырья / А.М. Погодаев, И.А. Погодаева. – Красноярск: ГАЦМиЗ, 1989. - 36 с.
24. Погодаев А.М. Теория пирометаллургических процессов: сборник задач / А.М. Погодаев, И.А. Погодаева. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т; Ин-т цв. металлов и золота, 2007. – 68 с.
25. Позин М.Е. Физико-химические основы неорганической технологии: Учеб. пособие для вузов / М.Е. Позин, Р.Ю. Зинюк. СПб.: Химия, 1993. 440 с.
26. Сизяков В.М. Современное состояние и проблемы развития алюминиевой промышленности России. СПб., Записки Горного института. Т.165. 2005. С. 163-169.
27. Сизяков В.М. Металлургия лёгких металлов. Производство глинозёма. Лабораторный практикум / В.М. Сизяков, В.Н. Бричкин. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб., 2004. 90 с.
28. Теория металлургических процессов: учебное пособие для вузов / Д.И. Рыжонков, П.П. Арсентьев, В.В. Яковлев и др. – М.: Металлургия, 1989. – 392 с.
29. Уткин Н.И. Цветная металлургия. Технология отрасли. М., Металлургия, 1990. с.448.
30. Худяков И.Ф., Кляйн С.Э., Агеев Н.Г. Металлургия меди, никеля, сопутствующих элементов и проектирование цехов: Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1993. 432 с.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

Библиотеки

1. Российская государственная библиотека www.rsl.ru
2. Российская национальная библиотека www.nlr.ru
3. Библиотека Академии наук www.ras.ru
4. Библиотека по естественным наукам РАН www.benran.ru
5. Всероссийский институт научной и технической информации (ВИНИТИ) www.viniti.ru
6. Государственная публичная научно-техническая библиотека www.gpntb.ru
7. Научная библиотека Санкт-Петербургского государственного университета www.geology.pu.ru/library/
8. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU elibrary.ru

Специальные интернет-сайты

1. Поисковые системы Yandex, Google, Rambler, Yahoo и др.
2. Термодинамические базы данных - <http://www.factsage.com/>, <http://www.chem.msu.su/rus/handbook/ivtan/> и др.