



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Московский технологический университет»

**МИРЭА**



УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

  
В.Л. Панков

« 28 » марта 2018 г.

### Программа вступительного экзамена

Уровень высшего образования

**Подготовка кадров высшей квалификации**

Направление подготовки

**18.06.01 «Химическая технология»**

Направленность (научная специальность)

**05.17.02 «Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»**

Форма обучения – очная, заочная

Москва, 2018

## 1. Химия и технология редких элементов.

### 1.1. Редкие щелочные элементы.

Место редких щелочных элементов в периодической системе Д.И. Менделеева, электронное строение их атомов, общая характеристика.

Литий. Отличия лития от других щелочных элементов, обусловленные строением его атома, близость с магнием. Физические и химические свойства. Основные соединения лития (оксид, гидроксид, соли кислородсодержащих кислот, галогениды, соединения с неметаллами - водородом, углеродом и др.). Их термодинамические и другие свойства, сплавы с другими металлами.

Традиционные и перспективные области применения лития и его соединений. Основные природные источники получения лития, новые источники. Объемы производства.

Общая характеристика способов получения лития из минерального сырья. Химические и физико-химические основы сернокислотного и известкового способов переработки сподумена. Их сравнительная характеристика. Извлечение лития из подземных вод и рапы соляных озер.

Переработка карбоната лития на гидроксид и хлорид. Получение лития в виде металла электрохимическим и вакуумтермическим методами. Рафинирование лития. Получение лития прямым восстановлением руд. Техника безопасности при работе с литием.

Рубидий и цезий. Электронное строение атомов рубидия и цезия, сходство их между собой и отличие от других щелочных элементов. Физические и химические свойства. Основные соединения рубидия и цезия (оксиды, гидроксиды, соли кислородсодержащих кислот, галогениды, соединения с неметаллами). Рубидий и цезий в комплексных соединениях: галогенметаллатных, нитрометаллатных, анионгалогенатных. Взаимодействие со спиртами, эфирами, фенолами и др.

Основные области применения рубидия и цезия и их соединений. Сырьевые источники рубидия и цезия. Объемы производства.

Химические и физико-химические основы методов получения цезия и рубидия. Кислотные методы и методы спекания. Выбор метода выделения рубидия и цезия из реакционной массы.

Попутное извлечение цезия и рубидия при переработке лепидолита. Комплексная переработка карналлита.

Выделение рубидия и цезия из смесей солей щелочных элементов, очистка их от примесей. Сущность методов фракционной перекристаллизации и фракционного осаждения. Дробная кристаллизация квасцов, осаждение хлордистибатов. Их эффективность. Разделение рубидия и цезия экстракцией фенолами и олигомерами алкилфенолов.

Получение соединений рубидия и цезия ОСЧ. Выбор методов.

Получение металлических рубидия и цезия металлотермическим методом, метод термического разложения гидридов, нитридов, электролизом

расплавов. Рафинирование дистилляцией. Правила обращения и хранения металлов.

### **1.2. Элементы 2-ой группы периодической системы.**

**Бериллий.** Положение бериллия в периодической системе Д.И.Менделеева. Физические и химические свойства. Соединения бериллия, их близость к свойствам алюминия. Оксиды, гидроксид, бериллаты. Соли кислородсодержащих кислот. Галогениды, комплексные галогениды. Соединения с неметаллами. Сплавы.

Основные области применения бериллия. Сырьевые источники получения бериллия, объемы производства.

Физико-химические основы получения бериллиевых соединений из берилла. Сопоставление сернокислотного метода с методами, основанными на использовании фторирующих агентов.

Получение соединений бериллия - оксида, фторбериллата аммония и хлорида. Получение металлического бериллия металлотермическим и электрохимическим методами. Рафинирование бериллия. Получение компактного бериллия и его сплавов. Техника безопасности и охрана окружающей среды в бериллиевом производстве.

**Стронций.** Электронное строение атома стронция. Сходство и различия стронция и остальных щелочземельных элементов. Особенности химической связи в его соединениях.

Свойства соединений стронция (оксид, гидроксид, соли кислородсодержащих кислот, галогениды, соединения с неметаллами).

Основные области применения стронция и его соединений. Основные сырьевые источники стронция.

Получение соединений стронция из целестина и стронцианита. Объемы производства. Методы спекания и обжига, растворения в кислотах. Получение металлического стронция алюмотермическим методом.

### **1.3. Редкоземельные элементы и скандий.**

Электронное строение атомов лантаноидов, лантана, иттрия и скандия. Место их в периодической системе Д.И. Менделеева. Лантаноидное сжатие, вторичная периодичность, степени окисления. Ядерные свойства, магнитные свойства. Химические свойства.

Соединения РЗЭ с кислородом. Оксиды РЗЭ в степенях окисления +3, +4, +2, их структура, свойства, получение. Сложные оксиды - ферриты и гранаты, условия их образования, структура. Купраты лантана, меди и бария, обладающие высокотемпературной сверхпроводимостью. Взаимосвязь между характеристиками ВТСП - критической температурой, напряженностью магнитного поля и критической плотностью тока.

Гидроксиды РЗЭ. Соли кислородсодержащих кислот - сульфаты, нитраты, фосфаты, оксалаты, карбонаты и др. Закономерности изменения их свойств в ряду лантаноидов от лантана до лютеция.

Галогениды РЗЭ, их свойства, термодинамические характеристики. Методы синтеза безводных галогенидов. Соединения с халькогенами. Особенности этого класса соединений, характер химической связи, свойства,

методы синтеза. Соединения с неметаллами - водородом, бором, углеродом, кремнием, азотом. Общая характеристика этого класса соединений, характер химической связи, свойства, синтез.

Комплексообразование РЗЭ. Общие закономерности, координационное число. Комплексы с оксикарбоновыми кислотами,  $\beta$ -дикетонами, комплексонами.

Важнейшие области применения РЗЭ и их соединений. Перспективы. Структура потребления и объем производства. Природные ресурсы РЗЭ. Новые виды минерального сырья.

Общая характеристика методов извлечения РЗЭ из различных видов минерального сырья. Основные этапы производства. Обоснование выбора способа разложения минерального сырья. Сопоставление различных способов перевода РЗЭ в раствор. Методы выделения РЗЭ из растворов и отделения от основных примесей, в том числе радиоактивных - ступенчатая нейтрализация, осаждение двойных сульфатов и др.

Попутное извлечение РЗЭ из лопарита сернокислотным способом и методом хлорирования. Получение концентрата РЗЭ при переработке лопарита.

Разделение РЗЭ методами селективного окисления - восстановления. Выделение церия, сопоставление различных методов его окисления. Отделение самария и европия восстановлением, сравнение различных методов.

Разделение РЗЭ методами ионообменной хроматографии. Общие закономерности ионообменного способа извлечения и разделения элементов. Применение различных видов динамических ионообменных процессов для разделения РЗЭ. Их эффективность.

Общие закономерности экстракции, как метода извлечения и разделения близких по свойствам элементов. Классификация экстрагентов. Термодинамика распределения вещества между двумя несмешивающимися жидкими фазами. Константы экстракции, коэффициент распределения, высаливатели, изотерма экстракции. Коэффициент разделения.

Разделение РЗЭ экстракцией. Использование НФОС, кислых фосфорорганических соединений, версатовых кислот. Выбор экстрагентов. Основные закономерности экстракции различными типами экстрагентов, использование высаливателей. Реэкстракция. Эффективность.

Принципиальные схемы разделения РЗЭ из различных по содержанию смесей. Хлоридные и нитратные растворы. Получение оксидов РЗЭ квалификации ОСЧ.

Металлотермическое получение различных металлов. Общие закономерности. Термодинамика процесса восстановления, выбор металла восстановителя и исходных соединений получаемого металла. Области карботермии и металлотермии. Классификация металлотермических процессов (печные и внепечные). Энтальпия процесса восстановления. Разделение продуктов восстановления.

Металлотермическое получение РЗМ. Восстановление оксидов самария и европия. Получение металлов из фторидов и хлоридов. Электрохимическое получение легких лантаноидов. Рафинирование РЗМ.

Техника безопасности и охрана окружающей среды при работе с материалами, содержащими торий, уран и продукты их радиоактивного распада.

Скандий. Электронное строение его атома и иона. Сопоставление его свойств со свойствами иттрия и лантаноидов, а также алюминия. Физические и химические свойства.

Свойства и синтез соединений скандия. Оксид, гидроксид, соли кислородсодержащих кислот (сульфат, карбонат, фосфат, молибдаты и др.). Соединения с галогенами, термодинамические свойства, синтез. Соединения с органическими кислотами. Соединения с неметаллами. Сплавы.

Основные области применения скандия и его соединений. Перспективы. Основные сырьевые источники скандия.

Методы извлечения скандия и очистки от примесей. Сопоставление их и оценка целесообразности применения для различных видов сырья (промпродукты производства титана, отходы уранового, вольфрамового и оловянного производств и др.).

Получение металлического скандия электрохимическим и металлотермическим способами.

#### **1.4. Элементы подгруппы титана.**

Общая характеристика элементов 4-ой Б подгруппы (титана, циркония и гафния). Электронное строение их атомов, характер химической связи в соединениях, степени окисления, координационные числа. Физические и химические свойства металлов.

Титан. Химия титана. Соединения с кислородом, как азы переменного состава, взаимосвязь их состава, структуры и свойств. Титанаты, как представители класса сложных оксидов  $ABO_3$ , состав, структура, свойства. Оксид - гидроксиды титана, гидролитическая полимеризация соединений титана в растворах. Сульфаты титана, основные сульфаты и сульфатотитанаты.

Галогениды титана. Получение, свойства. Галогениды низших степеней окисления. Комплексные галогениды.

Общая характеристика фаз внедрения, характерных для переходных элементов. Критерии их образования. Закономерности изменения характера химической связи при переходе от элементов 4-ой группы к элементам 8-ой группы и в ряду неметаллов - водород, бор, углерод, кремний, азот, кислород. Фазы внедрения титана с указанными элементами и их свойства. Сплавы титана с другими металлами.

Важнейшие области применения титана и его соединений. Минералы титана, месторождения, уровень добычи.

Методы предварительной подготовки титановых концентратов к химической переработке: руднотермическая плавка, искусственный рutil, плазменный метод.

Сернокислотный метод переработки титановых шлаков и ильменита.

Хлорный метод переработки титановых концентратов. Теоретические основы хлорного метода. Термодинамика и кинетика процесса хлорирования. Практика хлорирования. Физико-химические основы конденсации многокомпонентной парогазовой смеси. Методы конденсации ПГС, их сравнение. Методы очистки тетрахлорида титана.

Получение металлического титана. Термодинамика восстановления тетрахлорида титана магнием, натрием. Адиабатическая температура восстановления. Установление режима восстановления. Методы переработки реакционной массы. Получение слитков титана. Электрохимическое получение титана и рафинирование. Иодидное рафинирование. Переработка отходов металлического титана.

Цирконий и гафний. Оксиды циркония и гафния. Полиморфизм, структура и свойства, стабилизация диоксида циркония, фианиты. Частичная стабилизация диоксида циркония. Сложные оксиды с перовскитоподобной структурой. Оксид - гидроксиды циркония и гафния.

Соли кислородсодержащих кислот - сульфаты, нитраты, фосфаты и др. Особенности поведения их в водных растворах.

Проблемы комплексообразования циркония и гафния. Общие закономерности комплексообразования переходных элементов (теория валентных связей, кристаллического поля и молекулярных орбиталей). Спектрохимический ряд и отличия его от аналогичного ряда лигандов для циркония и гафния.

Галогениды циркония и гафния, их термодинамическая устойчивость. Свойства и получение. Галогениды низших степеней окисления. Комплексные галогениды. Поведение галогенидов в водных растворах.

Фазы внедрения циркония и гафния, отличие их от аналогичных фаз титана. Сплавы циркония и гафния.

Важнейшие области применения циркония и гафния и их соединений. Минералы циркония и гафния. Ресурсы, объемы производства.

Обзор методов получения циркония и его соединений из циркона. Твердофазные реакции, общие закономерности, термодинамика и кинетика. Активирование твердых веществ. Управление твердофазными процессами.

Физико-химическая сущность процессов разложения циркона методами спекания с содой, мелом и комплексными фторидами. Роль плавней. Разложение спеков, выделение циркония из растворов, очистка от примесей.

Хлорирование цирконийсодержащих материалов: диоксида, циркона, карбонитрида. Термодинамика соответствующих реакций. Практика хлорирования. Конденсация ПГС и очистка тетрахлорида циркония.

Методы разделения циркония и гафния: дробная кристаллизация комплексных фторидов, ионный обмен, экстракция. Неводные методы: ректификация, селективное восстановление. Перспективные методы.

Получение металлических циркония и гафния. Металлотермическое восстановление оксидов, комплексных фторидов и хлоридов.

Электрохимическое получение и рафинирование. Иодидное рафинирование. Электроннолучевая плавка. Техника безопасности в производстве циркония и охрана окружающей среды.

### **1.5. Элементы подгруппы ванадия.**

Общая характеристика элементов 5-ой Б подгруппы (ванадия, ниобия и тантала). Электронное строение атомов, характер связи в соединениях, координационные числа, степени окисления. Физические и химические свойства металлов.

Ванадий. Химия ванадия. Оксиды - фазы переменного состава. Поведение ванадия в водных растворах щелочей и кислот. Ванадаты и поливанадаты, области их существования. Соединения низших степеней окисления. Галогениды ванадия, состав, свойства, получение.

Важнейшие области применения ванадия и его соединений. Минеральное сырье, минералы, материалы для попутного извлечения.

Физико-химические основы получения ванадия из передельных шлаков методами спекания с содой и известью. Выделение ванадия из зол ТЭЦ, отход цветной и черной металлургии. Перспективные способы извлечения ванадия. Охрана окружающей среды и техника безопасности.

Получение металлического ванадия. Термодинамика процессов восстановления. Получение исходных соединений для восстановления (выплавка феррованадия, его хлорирование, очистка хлоридов, получение низших хлоридов). Электрохимическое получение ванадия и рафинирование.

Ниобий и тантал. Химия ниобия и тантала. Оксиды, нестехиометрия, свойства, получение. Сложные оксиды - ниобаты и танталаты, структура, свойства. Поведение соединений ниобия и тантала в водных растворах.

Галогениды ниобия и тантала. Фториды, комплексные фториды. Хлориды, бромиды, иодиды разных степеней окисления. Нестехиометрия иодидов низших степеней окисления ниобия и тантала.

Фазы внедрения ниобия и тантала. Особенности химической связи в них, состав, структура и свойства. Сложные фазы внедрения. Сплавы ниобия и тантала с другими металлами.

Области применения ниобия и тантала и их соединений. Минералы и руды, источники попутного получения ниобия и тантала.

Физико-химические основы извлечения ниобия и тантала из танталато-колумбитовых концентратов. Разложение их плавиковой кислотой и спеканием (сплавлением) с едким натром.

Переработка титано-тантало-ниобиевых концентратов серноокислотным методом и методом хлорирования. Переработка лопарита как пример комплексного использования минерального сырья.

Методы разделения ниобия и тантала: дробная кристаллизация комплексных фторидов, экстракция и ректификация. Эффективность методов разделения и принципы их выбора.

Получение металлических ниобия и тантала. Металлотермическое восстановление простых и комплексных галогенидов, карботермическое получение ниобия из оксида. Электролитическое получение и

рафинирование ниобия и тантала. Получение компактных ниобия и тантала методами порошковой металлургии и электроннолучевой плавки. Техника безопасности и охрана окружающей среды в технологии ниобия и тантала.

### **1.6. Элементы 6-ой Б подгруппы.**

Общая характеристика молибдена и вольфрама. Электронное строение атомов, степени окисления, особенности химической связи в соединениях. Физические и химические свойства.

Молибден. Химия молибдена. Оксиды, состав, структура, свойства, взаимодействие с водой. Молибдаты простые и комплексные. Изополи- и гетерополикислоты и соединения, их структура и свойства.

Галогениды разных степеней окисления, свойства и получение. Соединения с неметаллами (фазы внедрения). Соединения с халькогенами, состав и свойства.

Применение молибдена и его соединений. Минералы, руды. Обзор методов переработки молибденовых концентратов.

Физико-химические основы обжига молибденитовых концентратов. Практика обжига. Переработка огарка гидromеталлургическими методами и методом возгонки триоксида молибдена. Выделение молибдена из растворов, очистка от примесей. Выделение молибдена из хвостов аммиачного выщелачивания. Переработка молибденита кислотным способом.

Извлечение молибдена из бедного сырья. Экстракционный метод извлечения молибдена из растворов и пульп.

Получение металлического молибдена восстановлением триоксида водородом. Термодинамика процесса восстановления. Получение компактного металла методами порошковой металлургии и электроннолучевой плавки.

Вольфрам. Химия вольфрама. Оксиды вольфрама, как фазы переменного состава. Взаимодействие оксидов вольфрама с водой, кислотами, растворами щелочей и аммиака. Вольфраматы простые и сложные. Изополи- и гетерополисоединения и кислоты. Соединения с галогенами, неметаллами (Углеродом, азотом и др.), халькогенами. Их свойства и получение.

Важнейшие области применения вольфрама и его соединений. Минералы, руды. Производство. Обзор методов извлечения вольфрама из минерального сырья.

Физико-химические основы извлечения вольфрама из концентратов щелочными методами. Практика разложения вольфрамовых концентратов спеканием с содой, растворами соды в автоклавах и др. Очистка щелочных растворов от примесей, выделение вольфрама из растворов осаждением искусственного шеелита, получение паравольфрамата аммония.

Разложение вольфрамовых концентратов кислотами. Экстракционные и ионообменные методы извлечения вольфрама из растворов и очистки от примесей. Сопоставление щелочных и кислотных методов переработки вольфрамовых концентратов, пути их совершенствования.



Получение металлического вольфрама. Теория и практика восстановления триоксида вольфрама водородом. Восстановление галогенидов вольфрама водородом. Получение компактного вольфрама методами порошковой металлургии и электроннолучевой плавки.

## **2. Химия и технология рассеянных и малых металлов.**

### **2.1. Рений.**

Положение рения в периодической системе, его химические свойства и свойства важнейших соединений. Области применения. Геохимия. Поведение рения при переработке медных и молибденовых руд. Методы разделения рения и молибдена и выделение рения из растворов. Получение металлического рения и его рафинирование. Переработка рениевых отходов.

### **2.2. Кобальт.**

Положение кобальта в периодической системе, его химические свойства и свойства важнейших соединений. Области применения кобальта и его геохимия. Обогащение кобальтовых руд. Переработка медно-кобальтовых руд. Поведение кобальта при пирометаллургической переработке окисленных никелевых руд методами восстановительной и сульфидирующей плавки. Переработка конверторных шлаков. Поведение кобальта при плавке сульфидных медно-никелевых концентратов на штейн и конвертировании штейнов. Система медь - никель (кобальт) - сера и разделительная флотация фанштейнов. Поведение кобальта при электролитическом рафинировании никеля, в карбонильном процессе. Гидрометаллургические методы переработки окисленных и сульфидных никелевых руд. Получение кобальтовых концентратов при гидрометаллургической переработке окисленных никелевых руд. Автоклавная переработка никелевых и пирротинных концентратов и пути выделения кобальта. Переработка мышьяковистых кобальтовых руд методами пиро- и гидрометаллургии. Способы перевода кобальта в раствор. Очистка кобальтовых растворов от меди, железа, марганца и других примесей. Отделение кобальта от никеля и осаждение его из растворов. Очистка сточных вод от кобальта. Получение металлического кобальта и его рафинирование. Получение кобальта высокой чистоты. Переработка вторичного сырья. Охрана труда в кобальтовом производстве.

### **2.3. Селен и теллур.**

Положение селена и теллура в периодической системе, их химические свойства и свойства важнейших соединений. Области их применения. Геохимия. Поведение селена и теллура при переработке медных, никелевых и свинцовых руд, в сернокислотном производстве. Методы выделения селена и теллура из шламов и отделения их от сопутствующих элементов. Рафинирование селена и теллура, получение селена и теллура высокой чистоты. Охрана труда и очистка сточных вод на селеновом и теллуриновом производствах.

### **2.4. Кадмий и ртуть.**

Положение кадмия в периодической системе, его химические свойства и свойства важнейших соединений. Области применения. Геохимия. Поведение кадмия при переработке цинковых и свинцовых руд. Методы отделения кадмия от цинка, меди и других металлов. Извлечение кадмия из медно-кадмиевых кеков и из возгонов. Рафинирование кадмия. Меры по охране труда. Очистка стоков и газовых выбросов от кадмия. Положение ртути в периодической системе, ее химические свойства и свойства важнейших соединений. Области применения. Геохимия. Обжиг ртутных руд и улавливание ртути. Переработка ступпы. Гидрометаллургия ртутных руд. Поведение ртути при переработке полиметаллических руд и возможности ее извлечения. Очистка ртути. Охрана труда, очистка стоков и газовых выбросов.

### **2.5. Галлий, индий и таллий.**

Положение галлия в периодической системе, его химические свойства и свойства важнейших соединений. Области применения галлия. Геохимия. Поведение галлия при переработке алюминиевых руд. Методы отделения галлия от алюминия. Извлечение галлия из продуктов алюминиевого производства. Получение металлического галлия, его рафинирование, получение галлия высокой степени чистоты. Положение индия в периодической системе, его химические свойства и свойства важнейших соединений. Области применения индия. Геохимия. Поведение индия при переработке цинковых, свинцовых и других руд. Извлечение индия из возгонов. Методы выделения индия из растворов и отделения его от сопутствующих элементов. Извлечение индия из свинцовых сплавов. Получение металлического индия и индия высокой степени чистоты. Положение таллия в периодической системе, его химические свойства и свойства важнейших соединений. Области применения таллия. Геохимия. Поведение таллия при переработке свинцово-цинковых и медных руд. Получение таллиевых концентратов и отделение таллия от сопутствующих элементов. Получение металлического таллия и его рафинирование. Охрана труда в таллиевом производстве.

### **2.6. Германий и олово.**

Положение германия в периодической системе, его химические свойства и свойства важнейших соединений. Области применения. Геохимия. Поведение германия при переработке руд цветных металлов и углей. Переработка германиевых концентратов. Методы выделения германия из пылей, возгонов и золы углей. Получение тетрахлорида германия и его очистка. Получение элементарного германия и методы его очистки. Положение олова в периодической системе, его химические свойства и свойства важнейших соединений. Области применения. Геохимия. Типы оловянных руд и их обогащение. Восстановительная плавка олова. Выделение олова из шлаков. Получение железистого олова. Переработка оловянных концентратов методом хлорирования. Получение вторичного олова. Рафинирование олова, получение олова высокой чистоты.

### **2.7. Сурьма и висмут.**

Положение сурьмы в периодической системе, ее химические свойства и свойства важнейших соединений. Области применения сурьмы. Геохимия. Типы сурьмяных руд и их обогащение. Обжиг сурьмяных руд и улавливание оксида сурьмы. Восстановительная и осадительная плавки. Система сурьма - железо - сера. Гидрометаллургия сурьмы. Извлечение сурьмы из комплексных руд (медно-сурьмяных, золото-сурьмяных, ртутно-сурьмяных), из щелочных плавок рафинирования свинца. Получение металлической сурьмы, ее рафинирование, получение сурьмы высокой степени чистоты. Положение висмута в периодической системе, его химические свойства и свойства важнейших соединений. Области применения. Геохимия. Поведение висмута при переработке свинцовых, медных и оловянных руд. Переработка висмутовых руд методами восстановительной и осадительной плавки. Система висмут - железо - сера. Гидрометаллургия висмута. Методы обезвисмучивания свинца, переработка висмутовых процессов и шламов. Извлечение висмута из продуктов оловянного производства. Рафинирование висмута, получение висмута высокой чистоты.

### Литература

1. Никишина Е.Е., Дробот Д.В., Лебедева Е.Н. Избранные главы ХиТРРЭ. Оксиды ниобия и тантала. Учебное пособие ИПЦ МИТХИ им. М.В.Ломоносова, 2012.
2. В.И.Букин, Е.И. Лысакова, А.М.Резник, М.В.Цыганкова Химическая технология ванадия. - М.: Издательство МИТХТ, 2012.
3. Ю.Д.Третьяков, В.И.Путляев Введение в химию твердофазных материалов М., Издательство Московского Университета, Издательство «Наука» (Классический университетский учебник), 2006.
4. Ярославцев А.Б. Химия твердого тела - М.: Научный мир, 2009.
5. Лукомский Ю.Я., Гамбург Ю.Д. «Физико-химические основы электрохимии», ИД «Интеллект», 2008.- 415с.
6. Минеральное сырье редких и рассеянных элементов и малых металлов, П.И.Федоров, Й.А. Димитрова, П.П. Федоров: Учебное пособие. – М., МИТХТ., 2003.
7. Курс лекций: Букин В.И. Химия и технология прекурсоров на основе малых металлов и рассеянных элементов. Учебное пособие в 3-х частях – М.: МИТХТ, 2012.
8. Д.В. Дробот, Е.И. Лысакова, А.М. Резник. Избранные главы ХиТРРЭ. Химия и технология циркония и гафния. Учебное пособие ИПЦ МИТХИ им. М.В. Ломоносова, 2013

Директор Института тонких  
химических технологий



М.А. Маслов