

**Программа кандидатского экзамена по научной специальности
05.17.02 Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов**

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

1. Общие сведения

Классификация редких элементов.

Роль редких и радиоактивных элементов в развитии важнейших направлений научно-технического прогресса. Области применения в народном хозяйстве. Задачи редкометалльной промышленности. Стоимость и объем производства редкометалльной продукции.

Редкометалльное сырье. Распространенность элементов в земной коре. Руды и минералы редких элементов. Рудные месторождения. Природные запасы и перспективы их увеличения. Вторичное сырье. Задачи комплексной переработки сырья. Стоимость и объем производства рудного сырья.

Краткая история промышленности редких и радиоактивных элементов России.

2. Химия редких элементов

Положение редких и радиоактивных элементов в периодической системе Д.И. Менделеева и их электронное строение.

Редкоземельные элементы, лантаноиды и актиноиды. Явление лантаноидного сжатия. Вторичная периодичность в группе лантаноидов.

Радиоактивные семейства.

Простые вещества. Основные и индивидуальные физические, физико-химические и химические свойства редких элементов.

Соединения. Строение, физико-химические и химические свойства важнейших бинарных соединений редких элементов – оксидов, фторидов, хлоридов, гидридов, сульфидов, карбидов и др., солей – сульфатов, нитратов, фосфатов и др., а также комплексных соединений.

Растворы соединений редких элементов. Комплексообразование в растворах. Константы устойчивости комплексных ионов. Ряды устойчивости комплексных соединений. Гидролиз и полимеризация. Окислительно-восстановительные реакции в растворах.

Физико-химические методы анализа редких и радиоактивных элементов.

3. Технология редких элементов

Специфика технологии редких и радиоактивных элементов. Принципы построения технологических схем. Основные переделы. Гидрометаллургия, пирометаллургия и сольвометаллургия. Требования к чистоте редких элементов. Ядерная чистота. Методы повышения прямого извлечения, снижения норм расхода сырья, энергии и воды при получении редкометаллической продукции. Пути интенсификации производств. Геотехнология и биотехнология металлов. Обеспечение ядерной безопасности.

Важнейшие технологические схемы производства редких и радиоактивных элементов. Основные натуральные показатели технологии. Химия процессов на отдельных стадиях. Поведение примесей. Аппаратурное оформление. Отходы и методы их обезвреживания. Пути интенсификации производства.

Измельчение и обогащение руд. Принципы организации дробления и измельчения. Дробилки. Мельницы и диспергаторы. Гравитационное, флотационное, магнитное, электростатическое и радиометрическое обогащение. Аппаратура для обогащения. Химическое обогащение руд. Состав и возможные пути использования хвостов.

Выщелачивание и растворение. Разновидности выщелачивания. Кинетика выщелачивания. Аппаратура для выщелачивания. Каскады выщелачивания. Механическая переработка выщелоченных пульп - сгущение, отстаивание, декантация, гидроциклонирование. Спекание концентратов как подготовительная операция к выщелачиванию.

Ионообменная сорбция. Основы и разновидности метода. Классификация ионов. Термодинамика ионного обмена. Кинетика ионообменной сорбции. Динамика сорбции. Фронтальная, вытеснительная и элюэнтная хроматография. Сорбционные фильтры, пачуки, колонны и контакторы. Организация непрерывного процесса. Примеры применения сорбционных процессов. Их возможности для решения проблем защиты окружающей среды и переработки бедного сырья.

Экстракция. Физико-химические характеристики процесса. Классификация и строение экстрагентов. Равновесие в экстракционных системах, влияние разбавителей на равновесие. Высаливание. Синергетный эффект. Расчет коэффициентов активности в водной фазе. Кинетика экстракционных процессов. Основные типы экстракторов: смесители-отстойники, колонны, виброэкстракторы, центробежные экстракторы. Примеры применения экстракционных процессов. Характеристики процесса с экологических позиций.

Осаждение, кристаллизация, перекристаллизация и сушка осадков. Закономерности процессов. Растворимость оксидов, гидроксидов и фторидов. Промышленные кристаллизаторы. Общие закономерности сушки. Непрерывно действующие сушилки. Сушка пастообразных веществ. Явление соосаждения. Сокристаллизация, адсорбция и окклюзия.

Получение оксидов и галогенидов. Термическое разложение гидроксидов и солей. Принципы газовой металлургии. Реагенты для хлорирования и фторирования. Диффузионно-кинетическая теория гетерогенного реагирования. Основные аппараты для высокотемпературных процессов – трубчатые и шахтные печи, реакторы кипящего слоя. Процессы в солевых расплавах.

Вспомогательные процессы – пылеулавливание, конденсация и десублимация. Возможности применения плазмотронов. Примеры технологических схем производства оксидов, фторидов и хлоридов редких металлов. Улавливание галогенов и галогенидов из отходящих газов.

Получение и рафинирование металлов. Общая характеристика методов получения редких металлов. Металлотермия, силикотермия и карботермия. Восстановление газами. Тепловой расчет процессов. Аппаратура для металлотермии. Примеры металлотермических процессов. Электролитическое восстановление. Кинетика процессов. Требования к электролитам. Конструкции электролизеров. Примеры применения в технологии. Химическое осаждение из газовой фазы. Равновесие и кинетика восстановления летучих галогенидов из газовой фазы. Порошковая металлургия. Прессование и спекание штабиков металлов. Электродуговая и электронно-лучевая плавка. Электролитическое рафинирование. Иодидное рафинирование циркония, транспортные реакции. Принципы утилизации металлургических отходов. Пути интенсификации процессов получения металлов.

Экологические аспекты производства. Законодательные акты в области охраны природы. Поведение сопутствующих радиоактивных элементов при переработке рудных концентратов. Виды отходов, методы утилизации ценных компонентов и обезвреживания. Пути снижения расхода свежей воды в гидрometаллургических производствах. Понятие о малоотходном производстве и принципах его организации. Воздействие предприятий ядерного топливного цикла на окружающую среду. Способы его снижения.

Редкие металлы в ядерной энергетике. Ядерный топливный цикл. Ядерное топливо на основе обогащенного урана и смеси оксидов урана и плутония (MOX- топливо). Изменение изотопного состава урана, плутония при их рецикле. Переработка отработавшего ядерного топлива. Низко-, средне- и высокоактивные отходы. Кондиционирование отходов. Имобилизация высокоактивных отходов, их хранение и захоронение. Производство радиоактивных изотопов. Реакторные материалы. Понятие о ядерной чистоте. Радиохимия, ее особенности. Аналитические методы с использованием изотопов.

Химия и технология получения геохимических спутников редких металлов, наиболее широко представленных в технологии их получения. Комплексное использование сырья.

Технология функциональных и конструкционных материалов на основе редких металлов. Наноматериалы.

4. Радиохимическая технология

Радиоактивные семейства. Правила смещения и расчет числа альфа- и бета-распадов в определенном ряду. Радиоактивные нуклиды, не входящие в семейства. Три вида бета-распада и расчет энергии распада. Термоядерные реакции на изотопах водорода. Радиоактивное равновесие. Расчет активности дочернего радионуклида по активности материнского на примере. Воздействие атомных электростанций на окружающую среду. Применение радионуклидов в научных исследованиях и в народном хозяйстве. Сорбция как метод концентрирования радионуклидов. Основные понятия сорбции. Типы применяемых сорбентов. Понятие о хроматографии. Фронтальный, элюентный и вытеснительный методы хроматографии. Водно-химический режим АЭС.

Вопросы для кандидатского экзамена по специальности
05.17.02 Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов

Блок I

1. ПУРЭКС-процесс для переработки отработавшего ядерного топлива: описание, варианты, преимущества и недостатки.
2. КАРБЭКС-процесс и другие методы переработки отработавшего ядерного топлива в карбонатно-щелочных водных средах, как альтернатива ПУРЭКС-процессу.
3. Газофторидная переработка ОЯТ: описание, перспективы применения к оксидному, урановому и уран-плутониевому отработавшим топливам.
4. Химия нитратных и карбонатных растворов U(VI), Pu(IV) и Pu(VI), Np(IV), Np(V) и Np(VI) в процессах переработки отработавшего ядерного топлива.
5. Основное оборудование водно-химических методов переработки ОЯТ (аппараты растворители, сорбционное и экстракционное оборудование, фильтровальное оборудование, печи для получения конечных продуктов).
6. Производство редкоземельных элементов. Технологические схемы извлечения РЗЭ при переработке апатита, фосфоритов, лопарита, монацитов.
7. Разделение РЗЭ. Технологические схемы разделения коллективных концентратов РЗЭ, выделенных из минерального сырья, на групповые концентраты и индивидуальные элементы.
8. Химия экстракции РЗЭ из нитратных и хлоридных растворов основными типами экстрагентов: ТБФ, Д2ЭГФК, карбоновые кислоты, соли аминов и ЧАО.
9. Применение сорбционных процессов в технологии индивидуальных РЗЭ.
10. Оборудование сорбционных и экстракционных процессов в технологии РЗЭ.
11. Производство молибдена и вольфрама. Технологические схемы извлечения молибдена и вольфрама из минеральных и техногенных сырьевых источников.

12. Современные требования к технологическим схемам переработки минерального и техногенного редкометалльного сырья.
13. Особенности химической технологии переработки редкометалльного сырья. Современное состояние химической технологии переработки редкометалльного сырья, перспективы ее совершенствования. Роль химии в создании общих принципов построения технологических схем и алгоритм переработки минерального и техногенного сырья редких элементов.
14. Общая характеристика РЗЭ: положение в Периодической системе; краткая историческая справка об индивидуальных элементах; важнейшие области применения редкоземельных металлов (РЗМ) и соединений РЗЭ. Физико-химические свойства РЗМ. Важнейшие для технологии соединения РЗЭ.
15. Минералы и руды редких элементов и методы их обогащения.
16. Кондиции на руды и концентраты редких элементов.
17. Применение магнитного и электростатического обогащения при переработке руд редких элементов.
18. Методы получения редкоземельных металлов.
19. Производство металлического тантала и ниобия.
20. Применение электролиза для получения редких металлов.
21. Индукционная плавка редких элементов.
22. Йодидное рафинирование циркония. Химические основы процесса.
23. Переработка циркона спеканием с K_2SiF_6 . Кристаллизационная схема разделения циркония и гафния.
24. Технология получения металлического циркония.
25. Оборудование для получения концентратов минералов РЗЭ
26. Технологические основы комплексной переработки традиционного ренийевого сырья (молибденитов, сульфидных медных руд). Операции, лимитирующие выход и качество товарных продуктов рения; критерии оптимизации их режимов.

27. Технологические основы комплексной переработки нетрадиционного ренийевого сырья (горючих сланцев, вулканических газов, растворов подземного выщелачивания урановых руд) с извлечением редких элементов, органических продуктов, получением строительных материалов. Используемые процессы концентрирования рения. Критерии экономической целесообразности попутного извлечения рения.
28. Физико-химические основы сорбционных процессов в технологии рения. Области применения активированных углей, сильно- и слабоосновных анионитов, катионитов, ТВЭКСов и импрегнатов. Основные требования, предъявляемые к функционализации и структуре сорбентов, применительно к переработке конкретного вида сырья.
29. Методы синтеза наноструктурированных функциональных материалов на основе редких элементов.
30. Золь-гель синтез наночастиц TiO_2 и их применение.
31. Плазмохимический синтез наночастиц ZrO_2 и их применение.
32. Получение и применение наночастиц CeO_2 .
33. Оптически прозрачная нанокерамика, содержащая оксиды РЗМ.

Блок II

1. Термоядерные реакции на изотопах водорода
2. Радиоактивное равновесие. Расчет активности дочернего радионуклида по активности материнского на примере радия.
3. Применение радионуклидов в научных исследованиях и в народном хозяйстве.
4. Сорбция как метод концентрирования радионуклидов. Основные понятия сорбции. Типы применяемых сорбентов. Понятие о хроматографии. Фронтальный, элюентный и вытеснительный методы хроматографии.
5. Водно-химический режим I и II контуров реакторов ВВЭР.
6. Очистка газовых выбросов на АЭС от летучих радионуклидов.
7. Теплоносители для ядерных реакторов. Вода как теплоноситель.

8. Воздействие начального этапа ядерного топливного цикла на окружающую среду. Сравнение с добычей органического топлива.
9. Методы концентрирования радионуклидов. Соосаждение радионуклидов. Понятие об изотопных, специфических и неспецифических носителях.
10. Отверждение ЖРО на АЭС. Сравнительная характеристика методов битумирования, цементирования и остекловывания
11. Получение искусственных радионуклидов облучением нейтронами. Источники нейтронов.