

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

Структурное подразделение «Металлургии цветных металлов»

УТВЕРЖДЕНА:

на заседании кафедры металлургии цветных металлов

Протокол №9 от 14 февраля 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

«ХИМИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ»

Направление: 22.03.02 Металлургия

Металлургия цветных, редких и благородных металлов

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: заочная

Документ подписан простой электронной
подписью
Составитель программы: Бельский Сергей
Сергеевич
Дата подписания: 20.06.2025

Документ подписан простой электронной
подписью
Утвердил и согласовал: Немчинова Нина
Владимировна
Дата подписания: 20.06.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Дисциплина «Химия редкоземельных элементов» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ПКС-1 Готовность использовать основные понятия, законы и модели термодинамики, химической кинетики, электрохимии в профессиональной деятельности	ПКС-1.1

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ПКС-1.1	Использует основные понятия термодинамики и термодинамические модели применительно к области кремния и/или редкоземельных элементов	Знать основные законы термодинамики Уметь применять на практике знания законов термодинамики Владеть навыками построения электронного строения атомов редкоземельных элементов

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Химия редкоземельных элементов» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Химия», «Математика», «Физика»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Теория гидрометаллургических процессов», «Теория пирометаллургических процессов», «Теория электрометаллургических процессов»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 3 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)	
	Всего	Учебный год № 2
Общая трудоемкость дисциплины	108	108
Аудиторные занятия, в том числе:	14	14
лекции	8	8
лабораторные работы	0	0
практические/семинарские занятия	6	6
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	90	90
Трудоемкость промежуточной аттестации	4	4

Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Зачет	Зачет
--	-------	-------

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Учебный год № 2

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)				
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Место редкоземельных элементов в периодической системе элементов и их электронное строение	1	2					2, 3, 5	38	Контрольн ая работа
2	Свойства редкоземельных элементов и их соединений. Области применения редкоземельных элементов	2	3					1, 3, 5	20	Тест
3	Источники сырья редкоземельных элементов. Способы переработки редкометалльного сырья	3	3			1	6	1, 3, 4, 5	32	Тест
	Промежуточная аттестация								4	Зачет
	Всего		8				6		94	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Учебный год № 2

№	Тема	Краткое содержание
1	Место редкоземельных элементов в периодической системе элементов и их электронное строение	К группе РЗЭ относится семейство из 14 элементов с порядковыми но-мерами от 58 (церий Се) до 71 (лютеций Lu), расположенных в 6 периоде ПСЭ за лантаном и сходных с ним по свойствам. Поэтому обычно в эту группу включают и лантан, а элементы называют лантаноидами Ln (т.е. подобные лантану). Кроме того, к лантаноидам примыкают химические аналоги лантана - элементы 111 В группы скандий и иттрий.

2	Свойства редкоземельных элементов и их соединений. Области применения редкоземельных элементов	Лантаноиды - металлы серебристо- белого цвета, некоторые - желтоватого, например, празеодим и неодим. Температура плавления элементов подгруппы церия ниже, чем у элементов подгруппы иттрия. Примечательно, что у самария, европия и иттербия, проявляющих валентность 2, температуры кипения значительно ниже, чем у других лантаноидов. Все без исключения РЗЭ проявляют высокое химическое сродство к неметаллам (О, S, N, Р, Н), обычно присутствующим в черных металлах . В связи с этим возникает возможность применения РЗЭ в качестве эффективных раскислителей и десульфуризаторов различных сталей и сплавов. В этой области, главным образом, используют ферроцерий или сплав лантаноидов (мишметалл).
3	Источники сырья редкоземельных элементов. Способы переработки редкометалльного сырья	Суммарное содержание РЗЭ в земной коре довольно велико, их общий кларк равен 0,15-0,16 %, их больше, чем В, Сu, Со, Zn и Ni. Кларки же индивидуальных РЗЭ находятся в пределах $n \cdot 10^{-3}$ – $n \cdot 10^{-4}$ %, и только для Тm и Lu они, соответственно, равны $3 \cdot 10^{-5}$ и $7 \cdot 10^{-5}$ %. Но даже туллий распространен больше, чем Sb, Bi, I, Cd, Se и др.РЗЭ встречаются в виде следов в золе каменных углей, растений, костей, в кораллах, листьях, морской воде, глинистых сланцах, фосфорных рудах, известковых отложениях, метеоритах и на Солнце. Особенности технологии РЗЭ в значительной степени определяются комплексностью руд, разнообразием состава собственных минералов РЗЭ, многообразием минералов вмещающих горных пород, присутствующих в концентратах. Последние могут сильно влиять на процесс разложения концентратов вследствие протекания вторичных реакций

4.3 Перечень лабораторных работ

Лабораторных работ не предусмотрено

4.4 Перечень практических занятий

Учебный год № 2

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Переработка монацитового концентрата серной кислотой	6

4.5 Самостоятельная работа

Учебный год № 2

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Выполнение тренировочных и обучающих тестов	8
2	Контрольная работа для студентов заочной формы обучения	22
3	Подготовка к зачёту	18
4	Подготовка к практическим занятиям	12
5	Проработка разделов теоретического материала	30

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: Дискуссия

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

Практические занятия предназначены для закрепления навыков решения практических технологических задач при рассмотрении наилучших доступных технологий в области металлургии.

За время, отведенное на подготовку к практическим занятиям, студент должен изучить материал по теме практического занятия и предварительно к нему подготовиться. При подготовке к практическим занятиям студентам необходимо работать с источниками, указанными в списке рекомендуемой литературы, интернет-ресурсами, презентациями. План занятий

1. Ознакомление с теоретическими аспектами темы, вынесенной на занятие.
2. Разбор конкретных примеров решения задач, обсуждение, выявление положительных и отрицательных аспектов обсуждаемой проблемы; решение задач по вариантам (по списку группы).
3. Формулировка предложений и рекомендаций.

При подготовке к практическому (семинарскому) занятию следует в первую очередь рассмотреть вопросы по теме занятия. При подготовке к практическим занятиям необходимо проработать литературу, указанную преподавателем, в объеме изучаемой темы. Самостоятельное изучение разделов курса производится с использованием литературных источников и интернет-ресурсов.

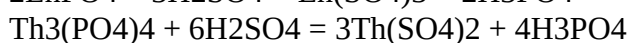
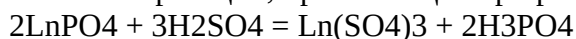
Пример практического занятия на тему: "Переработка монацитового концентрата серной кислотой"

Краткие теоретические сведения

Способ переработки монацита состоит в разложении концентрата концентрированной серной кислотой с последующим выщелачиванием во-дой сульфатов РЗЭ.

Разложение. Измельченный монацитовый концентрат разлагают кон-центрированной серной кислотой при 180-200°C (избыток кислоты 250-300% от стехиометрически необходимого количества) в течение 2 - 4 ч. Разложение ведут в стальных или чугунных аппаратах периодического действия с мешалкой или в барабанных вращающихся сульфатизаторах с автоматической подачей серной кислоты и концентрата и непрерывной вы-грузкой получаемого продукта.

Основные реакции, протекающие при разложении:



Минералы титана - ильменит и рутил - также разлагаются серной кислотой с образованием сульфатов титана.

После окончания разложения пастообразную реакционную массу выщелачивают в стальных освинцованных аппаратах холодной водой (1 л на 100 г разлагаемого концентрата). Такое разбавление необходимо для обес-печения перевода в раствор сульфатов РЗЭ и тория. К концу выщелачива-ния температура раствора должна быть не выше 20 - 25 °С, так как раство-римость сульфатов РЗЭ сильно понижается с повышением температуры.

Растворы содержат редкие земли, торий, фосфорную кислоту, избы-точную серную кислоту, примеси титана, железа, а также один из продук-тов распада тория - мезоторий (изотоп радия). Для его выделения в раствор добавляют хлорид бария. Образующийся сульфат бария служит носителем, с которым соосаждается изоморфный с ним сульфат радия.

Раздельное выделение тория и РЗЭ из сульфатных растворов. Различ-ные технологические схемы сернокислотного способа переработки мона-цитовых концентратов отличаются одна от другой вариантами выделения из сернокислых растворов ториевого концентрата и концентрата РЗЭ.

Наиболее распространен способ ступенчатой нейтрализации растворов с осаждением фосфатов тория и РЗЭ, основанный на различии рН вы-деления фосфата тория и фосфатов лантаноидов: фосфат тория выделяется из сернокислых растворов при рН = 1,0, в то время как фосфаты РЗЭ оса-ждаются при рН ~ 2,3.

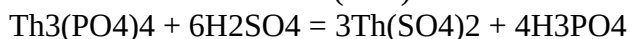
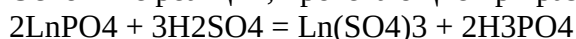
Нейтрализацию обычно ведут разбавленными растворами аммиака. После нейтрализации раствора до рН = 1 и нагревания до кипения около 99 % тория выделяется в составе малорастворимого пирофосфата тория $\text{Th}_2\text{P}_2\text{O}_7$. Вместе с торием соосаждается 5-8% лантаноидов (по отношению к их содержанию в растворе).

Задание:

Рассчитать количество серной кислоты для разложения монацита.

Дано:

Основные реакции, протекающие при разложении:



Расход H_2SO_4 : 250-300% от теоретически необходимого

Решение:

Возьмём 100 кг монацитового концентрата с содержанием:

- LnPO_4 - 60% (60 кг)
- $\text{Th}_3(\text{PO}_4)_4$ - 40% (40 кг)
- 1. Расчёт для LnPO_4 :
 - Молярная масса $\text{LnPO}_4 \approx 380$ г/моль
 - Количество молей LnPO_4 : $38060000=157.9$ моль
 - По реакции нужно 1.5 моль H_2SO_4 на 1 моль LnPO_4
 - Теоретически требуется: $157.9 \times 1.5 = 236.85$ моль H_2SO_4
 - С учётом 300% расхода: $236.85 \times 3 = 710.55$ моль
 - Масса H_2SO_4 : $710.55 \times 98 = 69634$ г = 69.6 кг
- 2. Расчёт для $\text{Th}_3(\text{PO}_4)_4$:
 - Молярная масса $\text{Th}_3(\text{PO}_4)_4 \approx 1520$ г/моль
 - Количество молей $\text{Th}_3(\text{PO}_4)_4$: $152040000=26.3$ моль
 - По реакции нужно 6 моль H_2SO_4 на 1 моль $\text{Th}_3(\text{PO}_4)_4$
 - Теоретически требуется: $26.3 \times 6 = 157.8$ моль
 - С учётом 300% расхода: $157.8 \times 3 = 473.4$ моль
 - Масса H_2SO_4 : $473.4 \times 98 = 46393$ г = 46.4 кг

Итого:

Общий расход H_2SO_4 : 69.6 кг + 46.4 кг = 116 кг

5.1.2 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

1) Химия редкоземельных элементов : методические указания для самостоятельной работы (заочная форма обучения): по направлению подготовки "Металлургия": по дисциплине "Химия редкоземельных элементов" / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2017. - 17.

2) Выполнение контрольной работы

Цель работы

Приобрести опыт самостоятельной творческой деятельности, продемонстрировать способность к использованию творческого потенциала, повысить общекультурный уровень.

Задание на СРС

Данный вид СРС предполагает индивидуальное самостоятельное выполнение контрольной работы (теоретический вопрос и задача) по предложенной тематике с использованием перечня рекомендуемых литературы и информационных ресурсов.

Требования к форме и содержанию отчетных материалов

После самостоятельного изучения рекомендуемой литературы обучающийся должен предоставить преподавателю отчетный документ по данному виду СРС в электронном виде. Объем – 12-15 стр.

Рекомендации по выполнению задания

Обучающийся при выполнении данного вида СРС может пользоваться как рекомендуемыми основной и дополнительной литературой и информационными ресурсами, так и подбирать и использовать новые информационные источники по тематике теоретического вопроса (публикации в научных журналах "Цветные металлы", «Металлург», «Известия вузов. Цветная металлургия» и др.), в материалах международных и всероссийских конференций, конгрессов (например, материалы Конгресса «Цветные металлы и минералы», г. Красноярск).

Рекомендуемый график выполнения отдельных этапов СРС

Во время установочной сессии обучающийся выбирает одну из предложенных тем для выполнения контрольной работы. Обучающийся выбирает теоретический вопрос, связанный с физико-химическими свойствами редкоземельного элемента и выполняет электронное строение данного элемента.

Критерии оценки качества выполнения данного вида СРС

Полнота раскрытия темы теоретического вопроса и правильность построения электронного строения заданного элемента;

перечень используемых источников и уровень компилятивности по тематике; качество оформления.

6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

6.1.1 учебный год 2 | Контрольная работа

Описание процедуры.

Раздел № 1. Место редкоземельных элементов в периодической системе элементов и их электронное строение

Обучающиеся самостоятельно выполняют контрольную работу, которую сдают в начале

сессии.

Контрольная работа состоит из 2-х частей (по вариантам согласно порядковому номеру в списке группы):

1 часть – теоретический вопрос.

2 часть - электронное строение элемента.

Перечень теоретических вопросов:

1. Физико-химические свойства лантана
2. Физико-химические свойства скандия
3. Физико-химические свойства иттрия
4. Физико-химические свойства церия
5. Физико-химические свойства празеодима
6. Физико-химические свойства неодима
7. Физико-химические свойства прометия
8. Физико-химические свойства самария
9. Физико-химические свойства европия
10. Физико-химические свойства гадолиния
11. Физико-химические свойства тербия
12. Физико-химические свойства гольмия
13. Физико-химические свойства эрбия
14. Физико-химические свойства тулия
15. Физико-химические свойства иттербия
16. Физико-химические свойства лютеция

Электронное строение элемента:

Представить электронное строение одного из редкоземельных элементов (по вариантам).

Критерии оценивания.

Полнота раскрытия темы теоретического вопроса и правильность построения электронного строения заданного элемента;
перечень используемых источников и уровень компилятивности по тематике; качество оформления.

6.1.2 учебный год 2 | Тест

Описание процедуры.

При подготовке к тестированию самостоятельно изучить теоретический материал с помощью основной и дополнительной литературы и информационных ресурсов и прочитать конспект лекционного материала.

Пример теста (по теме «Источники сырья редкоземельных элементов»):

Вариант

1. Какой из перечисленных ниже минералов носит название «монацит»:
А) $(\text{Ce, Ln...})\text{PO}_4$;
Б) $(\text{Ce, Ln...})\text{FCO}_3$;
В) $\text{Ca}(\text{Ce, Ln...})_2(\text{CO}_3)_3\text{F}_2$.
2. Сколько известно минералов, содержащих редкоземельные элементы:
А) более 50;
Б) более 150;
В) более 250.
3. После гравитационных и магнитных способов обогащения, получают монацитовые концентраты с содержанием:
А) 45-55% Ln_2O_3 ;
Б) 55-65% Ln_2O_3 ;

- В) 65-75% Ln_2O_3 .
4. Какой из перечисленных ниже минералов носит название «бастнезит»:
- А) $(\text{Ce}, \text{Ln} \dots)\text{PO}_4$;
 Б) $(\text{Ce}, \text{Ln} \dots)\text{FCO}_3$;
 В) $\text{Ca}(\text{Ce}, \text{Ln} \dots)_2(\text{CO}_3)_3\text{F}_2$.
5. Какой из перечисленных способов разложения не используется в промышленной практике разложения монацитовых концентратов:
- А) азотной кислотой;
 Б) серной кислотой;
 В) растворами гидроксида натрия.
6. Какое название имеет минерал, описываемый формулой $(\text{Ce}, \text{Ln} \dots)\text{PO}_4$:
- А) монацит;
 Б) лопарит;
 В) бастнезит.

Критерии оценивания.

Тест считается успешно пройденным при правильных ответах на вопросы теста более 50%

6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

Индикатор достижения компетенции	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
ПКС-1.1	Демонстрирует знания основных понятий термодинамики и термодинамических моделей применительно к области редкоземельных элементов	Тестирование

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Учебный год 2, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Зачет проводится в форме тестирования.

Перечень вопросов к зачету:

1. Как термодинамические свойства электронных оболочек группы лантаноидов обосновывают их место в Периодической системе элементов?
2. Основные понятия термодинамики.
3. Что такое термодинамические модели?
4. Каковы термодинамические аспекты современных технологий получения РЗЭ?
5. Современное состояние технологии получения РЗЭ.
6. Назовите основные физические свойства РЗЭ. Температуры плавления и кипения, некоторые механические свойства.

7. Какие термодинамические свойства наиболее важных химических соединений РЗЭ следует учитывать?
8. Каковы термодинамические характеристики оксидов РЗЭ и их влияние на химические свойства?
9. Термодинамика основных реакций, протекающих при сернокислотном способе разложения монацитовых концентратов?
10. Термодинамика основных реакций, протекающих при щелочном способе разложения монацитовых концентратов?
11. Из каких исходных соединений с точки зрения термодинамики наиболее целесообразно получать редкоземельные элементы?
12. Строение редкоземельных элементов.

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Зачтено	Не зачтено
Демонстрирует знания основных понятий термодинамики и термодинамических моделей применительно к области редкоземельных элементов	Не демонстрирует знания основных понятий термодинамики и термодинамических моделей применительно к области редкоземельных элементов

7 Основная учебная литература

1. Анфилогова Л. А. Химия редкоземельных элементов : конспект лекций / Л. А. Анфилогова, 2007. - 40.
2. Зеликман Абрам Наумович. Металлургия редких металлов : учеб. для вузов по спец. "Металлургия цв. металлов" / Абрам Наумович Зеликман, Борис Георгиевич Коршунов, 1991. - 431.
3. Глинка Н. Л. Общая химия : учеб. пособие для вузов / Н. Л. Глинка, 2007. - 727.
4. Ахметов Н. С. Общая и неорганическая химия : учебник для химико-технологических специальностей вузов / Н. С. Ахметов, 2008. - 742.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Химия редкоземельных элементов : методические указания для самостоятельной работы (заочная форма обучения): по направлению подготовки "Металлургия": по дисциплине "Химия редкоземельных элементов" / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2017. - 17.
2. Химия и технология редких и рассеянных элементов : учебное пособие для химико-технологических вузов: в 2 т. / ред. К. А. Большаков. Т. 1 : Химия редких и рассеянных элементов / П. С. Киндяков [и др.], 1965. - 349.
3. Карапетьянц Михаил Христофорович. Общая и неорганическая химия : учеб. для вузов / Михаил Христофорович Карапетьянц, Сергей Иванович Дракин, 1994. - 592.
4. Редкие и рассеянные элементы: Химия и технология : учеб. для вузов по специальности "Хим. технология ред. и рассеян. элементов и материалов на их основе" направления подгот. диплом. специалистов "Хим. технология материалов соврем. энергетики". Кн. 3. /С. С. Коровин, В. И. Букин, П. И. Федоров, А. М. Резник / под общ. ред. С. С. Коровина, 2003. - 438.

9 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. Microsoft Windows (XP Prof + Vista Bussines) rus VLK поставка 08_2007
2. Microsoft Office 2003 VLK (поставки 2007 и 2008)

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Экран Projecta SlimScreen настенный
2. Проектор "Epson EB-S18"
3. Ноутбук Dell Inspiron N5110