

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
АПАТИТСКИЙ ФИЛИАЛ

**Методические указания к самостоятельной работе студентов**

По дисциплине: Б1.В.03.02 Гидрометаллургические процессы  
указывается цикл (раздел) ОП, к которому относится дисциплина, название дисциплины

для направления подготовки (специальности) 04.03.01 Химия  
код и наименование направления подготовки (специальности)

Неорганическая химия и химия координационных соединений  
наименование профиля /специализаций/образовательной программы

Квалификация выпускника, уровень подготовки бакалавр  
(указывается квалификация (степень) выпускника в соответствии с ФГОС ВО)

Кафедра - разработчик: геоэкологии  
название кафедры - разработчика рабочей программы

Разработчик(и) В.А. Маслобоев, профессор, д.т.н.,  
(ФИО, должность, ученая степень, (звание)

## Пояснительная записка

1. **Методические указания** составлены на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 04.03.01 Химия, утвержденного приказом Минобрнауки РФ от 17 июля 2017 года, № 671, учебного плана в составе ОП по направлению подготовки 04.03.01 Химия, профилю «Неорганическая химия и химия координационных соединений».

### 2. Цели и задачи учебной дисциплины (модуля).

**Целью дисциплины** (модуля) «Гидрометаллургические процессы» является подготовка обучающегося в соответствии с квалификационной характеристикой бакалавра и рабочим учебным планом направления 04.03.01 Химия, что предполагает ознакомление обучающихся с самыми современными гидрометаллургическими производствами важнейших цветных, редких и благородных металлов.

**Задачи дисциплины** (модуля):

- усвоение студентами теоретических основ гидрометаллургических процессов;
- практическое ознакомление с современными гидрометаллургическими производствами.

### 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине «Гидрометаллургические процессы»

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 04.03.01 Химия профиль «Неорганическая химия и химия комплексных соединений»:

**ПК-1-н.** Способен выбирать и использовать технические средства и методы испытаний для решения исследовательских задач химической направленности, поставленных специалистом более высокой квалификации

Результаты формирования компетенций и планируемые результаты обучения представлены в таблице 1.

Таблица 1– Результаты обучения

№ п/п	Код компетенции	Компоненты компетенции, степень их реализации	Результаты обучения
1.	<b>ПК-1-н.</b> Способен выбирать и использовать технические средства и методы испытаний для решения исследовательских задач химической направленности, поставленных специалистом более высокой квалификации	Компоненты компетенции соотносятся с содержанием дисциплины и компетенция реализуется полностью	<b>Знать:</b> - основы гидрометаллургических процессов <b>Уметь:</b> - обрабатывать полученные в ходе эксперимента данные <b>Владеть:</b> -навыками практического применения знаний о гидрометаллургических процессах  <b>Индикаторы сформированности компетенций в реализуемой части:</b> <b>ПК-1-н-1.</b> Планирует отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР в части гидрометаллургии <b>ПК-1-н-2.</b> Готовит элементы документации, проекты планов и

		<p>программ отдельных этапов НИР <i>в части гидрометаллургии..</i></p> <p><b>ПК-1-н-3.</b> Выбирает технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для решения поставленных задач НИР</p> <p><b>ПК-1-н-4.</b> Готовит объекты исследования <i>в части гидрометаллургии..</i></p>
--	--	---

**Таблица 2 – Тематический план**

№ раздела	Содержание самостоятельной работы	Количество часов
1	2	3
1.	Классификация металлургических процессов. Задачи гидрометаллургии	2
2.	Методы достижения равновесия в гидрометаллургических процессах. Основы организации гидрометаллургических процессов	2
3.	Термодинамика растворения солей	2
4.	Термодинамика выщелачивания с химической реакцией	4
5.	Кинетика выщелачивания. Методы изучения кинетики процессов выщелачивания. Закономерности внешней и внутренней диффузии при выщелачивании. Расчет процессов выщелачивания.	4
6.	Сорбционные механизмы выщелачивания	2
7.	Аппараты выщелачивания. Методы интенсификации процессов выщелачивания. Расчет процессов выщелачивания. Построение диаграмм Пурбэ для систем алюминий-вода, медь-вода, цинк-вода.	4
8.	Массообмен. Массообменные процессы: дистилляция и ректификация, сорбция, кристаллизация	2
9.	Кристаллизация в технологических процессах гидрометаллургии. Расчет процессов кристаллизации	4
10.	Сорбционные процессы. Сорбенты. Методы расчета	2
	<b><u>Всего часов:</u></b>	<b>28</b>

**Таблица 3– Перечень рекомендуемой литературы**

№ п\п	Название учебников, учебных пособий и других источников	Авторы (под ред.)	Издательство	Год издания
1	2	3	4	5
Основная:				
1.	Электрохимия	Дамаскин Б.Б., Петрий О.А.	М.: Высш. шк	2008
2.	Свойства электролитов	под ред. Максимовой И.Н.	Старый Оскол «ТНТ»	2010
3.	Сборник задач по электрохимии	под ред. Колпаковой Н.А.	М.: Высш. шк	2010
4.	Физическая химия	Артемов А.В.	М. «Академия»	2013
Дополнительная:				
1.	Физическая химия	Стромберг А.Г., Семченко Д.П.	М. «Высшая школа»	2001
2.	Электрохимия расплавленных солей : учебное пособие <a href="https://e.lanbook.com/reader/book/93700/#1">https://e.lanbook.com/reader/book/93700/#1</a>	Морачевский А.Г.	Санкт-Петербург : Лань	2017
3.	Термодинамика жидких металлов и сплавов : учебное пособие <a href="https://e.lanbook.com/reader/book/94210/#1">https://e.lanbook.com/reader/book/94210/#1</a>	Морачевский А.Г.	Санкт-Петербург : Лань	2017

## **СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

### **ТЕМЫ:**

- 1 Классификация металлургических процессов. Задач гидрометаллургии.
- 2 Методы достижения равновесия в гидрометаллургических процессах. Основы организации гидрометаллургических процессов.

История развития гидрометаллургических процессов и возрастание их роли в связи с повышением требований к комплексному использованию сырья, качеству продукции, защите окружающей среды. Роль гидрометаллургии в современном металлургическом производстве.

Основные процессы гидрометаллургии. Задачи теории гидрометаллургических процессов. Понятие о технологических схемах.

Гидрометаллургия, извлечение металлов из сырья с *использованием химической реакций в водных растворах*. Сырьем м. б. руды, рудные или химические концентраты (продукты механического обогащения или химической переработки руд), отходы др. производств или самих гидрометаллургических процессов.

Гидрометаллургические методы пригодны для извлечения металлов из сырья с низкими концентрациями металла и не поддающегося переработке традиционными методами, поэтому роль этих методов в условиях происходящего обеднения и ухудшения качества рудного сырья постоянно возрастает. К достоинствам гидрометаллургии относится также возможность разделения близких по свойствам металлов (Zn и Hf, Ni и Ta, смесей РЗЭ и др.), упрощение переработки по сравнению с пирометаллургией. Применение гидрометаллургических методов во многих случаях существенно снижает загрязнение окружающей среды вредными отходами. Так, все большее значение приобретает прямая переработка сульфидных концентратов Си, Ni, Zn, Рb и др. металлов без их обжига (обжиг приводит к выделению SO<sub>2</sub>, который при выбросе в атмосферу загрязняет окружающую среду, а при улавливании приводит к заметному удорожанию переработки).

#### **Дополнительные литературные источники:**

1. Вольдман Г.М., Зеликман А.Н. Теория гидрометаллургических процессов. М.: Metallurgy, 1993.
2. Медведев А.С., Богатырева Е.В. Теория гидрометаллургических процессов. Теория и практика гидрометаллургических процессов, лежащих в основе производства цветных и редких металлов Учебное пособие. М.:Изд. Дом МИСиС, 2009.
3. Медведев А.С., Богатырева Е.В. Теория гидрометаллургических процессов: Сб. тестов по процессам выделения металлов и их соединений из водных растворов. М.:МИСиС-72 с., 2009.
4. Стехиометрия, термодинамика и кинетика в расчете химических процессов. Учебное пособие. Под редакцией А.М.Чекмарева. М.: Изд-во РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2003.
5. Аксельруд Г.А., Молчанов А.Д. Растворение твердых веществ. М.: Химия., 1977, 274 с.

#### **ТЕМЫ:**

- 3 Термодинамика растворения солей.

4 Термодинамика выщелачивания с химической реакцией.

5 Кинетика выщелачивания. Методы изучения кинетики процессов выщелачивания. Закономерности внешней и внутренней диффузии при выщелачивании. Расчет процессов выщелачивания.

**Химизм и термодинамика процессов выщелачивания.** Химизм процессов выщелачивания, не сопровождающихся изменением степени окисления компонентов. Простое растворение. Реакции нейтрализации. Обменные реакции, сопровождающиеся образованием малорастворимых соединений или газообразных веществ.

Химизм окислительно-восстановительных процессов выщелачивания. Выщелачивание, сопровождающееся окислением катиона, аниона или как катиона, так и аниона. Выщелачивание, сопровождающееся восстановлением катиона или аниона. Окислители и восстановители, применяемые в гидрометаллургии.

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 и кинетика процесса выщелачивания. Классификация процессов выщелачивания. Термодинамика растворения ионных кристаллов в воде. Особенности воды, как растворителя. Термодинамика выщелачивания с химической реакцией. Методы расчёта и экспериментального определения констант равновесия. Определение термодинамически необходимого расхода реагента, обеспечивающего требуемую степень превращения.

Уравнение потока выщелачивания и его анализ. Признаки протекания процесса при внешнедиффузионном, внутридиффузионном и химическом торможении.

Формальная кинетика гетерогенных процессов твёрдое тело-жидкость. Способы определения энергии активации процесса и порядка процесса по реагенту.

Особенности выщелачивания с участием газообразных реагентов.

Способы обработки кинетических данных при наличии индукционного периода химических реакций. Примеры различных механизмов выщелачивания.

Диаграммы фазовых равновесий и их применение в металлургии. Основные бинарные и тройные диаграммы состояния оксидных и сульфидных систем

Расчеты термодинамики процессов диссоциации, окисления металлов и сульфидов, восстановления чистых оксидов и в растворах, восстановление оксидов твердым углеродом.

Кинетика гомогенных и гетерогенных процессов. Анализ кинетических кривых. Определение лимитирующих стадий.

### **ТЕМЫ:**

6 Сорбционные механизмы выщелачивания.

7 Аппараты выщелачивания. Методы интенсификации процессов выщелачивания. Расчет процессов выщелачивания. Построение диаграмм Пурбэ для систем алюминий-вода, медь-вода, цинк-вода.

Теоретические основы диаграмм Пурбэ «Окислительно-восстановительный потенциал – рН среды». Расчет процессов выщелачивания. Построение диаграмм Пурбэ для систем алюминий-вода, медь-вода, цинк-вода, железо-вода. Нахождение термодинамических данных для простых веществ и соединений, участвующих в реакциях обменного взаимодействия в термодинамических системах в базах данных и справочной литературе. Прогностическое значение диаграмм Пурбэ для определения преимущественных полей существования различных форм металлов и их использование при планировании экспериментов по вскрытию минеральных концентратов.

*Получение алюминия. Свойства алюминия и сплавов на его основе, масштабы производства и области применения. Основные руды алюминия.*

Переработка бокситов гидрохимический способом. Основная реакция Байера. Строение алюминатных растворов. Равновесие в системе  $Al_2O_3$ - $Na_2O$ - $H_2O$ . Принципиальная технологическая схема способа Байера. Технологические параметры основных переделов и характеристика оборудования.

Получение глинозема способом спекания из бокситов. Основные химические реакции при спекании и выщелачивании спеков. Принципиальная технологическая схема способа спекания. Комбинированные способы: гидрохимический и спекания - параллельный и последовательный варианты. Их преимущества перед отдельной переработкой.

Комплексная переработка нефелинов. Характеристика нефелинов и нефелино-сиенитовых руд. Основные реакции при спекании нефелина с известняком и выщелачивании. Принципиальная технологическая схема способа спекания. Основная аппаратура.

Характеристика алунитовых руд. Основные реакции при переработке алунитовых руд восстановительным обжигом с ветвью спекания.

Принципиальная технологическая схема этого способа. Новые направления в получении глинозема. Физико-химические основы переработки высококремнистых видов алюминиевого сырья гидрохимическим методом. Основная технологическая схема этого метода. Сравнение технико-экономических показателей различных способов переработки глинозем-содержащего сырья.

#### **Дополнительные литературные источники:**

1. Вольдман Г.М., Зеликман А.Н. Теория гидрометаллургических процессов. М.: Металлургия, 1993 г.
2. Медведев А.С., Богатырева Е.В. Теория гидрометаллургических процессов. Теория и практика гидрометаллургических процессов, лежащих в основе производства цветных и редких металлов Учебное пособие. М.:Изд. Дом МИСиС, 2009.
3. Сажин В.С. Новые гидрохимические способы получения глинозема, Киев, "Наукова думка", 1979.
4. Редкие и рассеянные элементы. Химия и технология. В трех книгах под общей редакцией С.С.Коровина. М.: МИСИС, 1996.
5. Лайнер Ю.А. Комплексная переработка алюминийсодержащего сырья кислотными способами. М.: Наука, 1982.

#### **ТЕМЫ:**

- 8 Массообмен. Массообменные процессы: дистилляция и ректификация, сорбция, кристаллизация.
- 9 Кристаллизация в технологических процессах гидрометаллургии. Расчет процессов кристаллизации.

**Закономерности осаждения труднорастворимых соединений и кристаллизации солей.** Закономерности осаждения труднорастворимых соединений и кристаллизации солей.

Кристаллизация солей. Равновесие в системах соль-вода. Двойные системы. Методы кристаллизации солей. Изотермическая и изогидрическая



кристаллизация. Расчет выхода продуктов при кристаллизации по диаграмме состояния.

Тройные системы. Изображение изотермических сечений тройных систем с помощью треугольника Гиббса и диаграммы Шрейнемакера. Анализ процессов кристаллизации солей в тройных системах.

Механизм и кинетика процессов кристаллизации солей. Понятие о гомогенном и гетерогенном зародышеобразовании. Роль затравки. Перекристаллизация.

Общие закономерности осаждения труднорастворимых соединений. Растворимость и произведение растворимости труднорастворимых соединений. Влияние температуры, избытка одноименных ионов, ионной силы раствора, процессов комплексообразования и рН раствора (в случае осаждения солей слабых кислот и слабых оснований) на растворимость малорастворимых соединений.

Явление изоморфизма при осаждении труднорастворимых соединений. Закон Хлопина. Другие причины загрязнения осадков. Влияние затравки на скорость формирования и качество осадка. Процессы промывки, репульпации и переосаждения.

Закономерности гидратообразования. рН начала осаждения как функция рР и активности ионов в растворе. Влияние степени окисления иона на эту функцию.

Разделение металлов методом гидролиза. Соосаждение гидроксидов.

Осаждение основных солей. Диаграмма Громова – Доброхотова. Осаждение халькогенидов металлов. Влияние рН раствора на растворимость халькогенидов. Возможность образования халькогеносолей при избытке осадителя. Влияние комплексообразователей.

Кинетика массовой кристаллизации. Использование кристаллизации для очистки солей и разделения близких по свойствам элементов на примере цирконий/гафний.

#### **Дополнительные литературные источники:**

1. Вольдман Г.М., Зеликман А.Н. Теория гидрометаллургических процессов. М.: Металлургия, 1993 г.
2. Химия и технология редких и рассеянных элементов. Ч. I-III. Под редакцией К.А.Большакова. Изд.2.  
Изд. Высшая школа, М.: 1976 г., Часть I – 369 с., Часть II – 360 с., Часть III – 320 с.
3. Процессы и аппараты цветной металлургии, учебник для вузов под редакцией проф. С.С.Набойченко. Екатеринбург, УГТУ, 1997.

4. Процессы и аппараты химической технологии /Основы инженерной химии/. Учебник для вузов под редакцией проф. Н.Н.Смирнова. СПб: Химия, 1996.
5. Баймаков Ю.М. Metallургия редких металлов. Ленинград. Изд. ЛПИ, 1969 г.

**ТЕМА:**

10 Сорбционные процессы. Сорбенты. Методы расчета.

**Процессы сорбции.** Номенклатура сорбентов. Адсорбция и абсорбция. Основные положения. Термодинамика адсорбции. Изотермы сорбции. Модель Ленгмюра для описания процесса адсорбции. Применение сорбционных процессов в гидрометаллургии.

**Теория ионообменных процессов.** Основные характеристики ионообменных смол. Равновесие ионного обмена. Селективность ионообменных смол. Кинетика ионного обмена. Динамика ионного обмена в колоннах. Теория ионообменной хроматографии. Ионный обмен как мембранной равновесие. Использование ионитовых мембран в электродиализе.

**Дополнительные литературные источники:**

1. Процессы экстракции и сорбции в химической технологии галлия./Резник А.М. и др. – Алма-Ата: Наука, 1985. – 184 с.
2. Кокотов Ю. А. Иониты и ионный обмен. — Л.: Химия, 1980. — 152 с.
3. Иониты в цветной металлургии. Лебедев К.Б. и др.М.: Metallургия, 1975. 352 с.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ**

Программой дисциплины предусмотрено проведение 2 контрольных работ.

**Контрольная работа №1.**

Решение задач по основным разделам химической термодинамики, расчету энергий кристаллических решеток, энтальпии и энтропии простого растворения.

Решение задач по составлению материальных балансов процессов простого растворения.

### **Дополнительные литературные источники:**

1. Вольдман Г.М., Зеликман А.Н. Теория гидрометаллургических процессов. М.: Metallurgy, 1993 г.
2. Процессы и аппараты цветной металлургии, учебник для вузов под редакцией проф. С.С.Набойченко. Екатеринбург, УГТУ, 1997.
3. *Грейвер Т.Н.* Основы методов постановки и решения технологических задач. М.: Издательский дом "Руда и металлы", 1999.
4. Процессы и аппараты химической технологии /Основы инженерной химии/. Учебник для вузов под редакцией проф. Н.Н.Смирнова. СПб: Химия, 1996.

### **Контрольная работа №2.**

Написание реферата по одной из ниже перечисленных тем:

1. Синтез, свойства, применение и производство материалов на основе шпинелей (включая радиоматериалы)
2. Электродиализные методы в получении высокочистых оксидов редких металлов
3. Технологии производства сварочных материалов на основе минерального сырья
4. Применение активационных методов для интенсификации процессов в химической технологии
5. Катализаторы для производства серной кислоты. Получение, свойства, применение, утилизация
6. Солянокислотная технология эвдиалита. Методы разделения Zr, Nb(Ta), Ln"
7. Методы производства магнезия и его соединений из различных видов минерального сырья
8. Гидрометаллургические схемы переработки сульфидных медно-никелевых руд. Российский и зарубежный опыт
9. Применение метода ионной флотации в гидрометаллургии редких, цветных и благородных металлов
10. Направленный синтез соединений тугоплавких металлов в электрохимии ионных расплавов
11. Методы концентрирования тяжелых и цветных металлов при анализе природных и сточных вод (сорбция, ионный обмен, экстракция).

12. Электролитические методы получения тугоплавких редких металлов и интерметаллидов
13. Методы выделения редких элементов из нефелина в различных технологиях его переработки
14. Сернокислотные технологии переработки титансодержащего сырья (ильменита, сфена, перовскита, лопарита)
15. Нейтронно-активационный анализ высокочистых соединений редких металлов
16. Кристаллизационные методы выделения и очистки соединений редких элементов
17. Методы выделения и концентрирования редких и цветных металлов в анализе природных и сточных вод
18. Модифицированные природные и синтетические материалы для геохимических барьеров в процессах обогащения и переработки медно-никелевых сульфидных руд
19. Твердофазные реакции в технологии минерального сырья Кольского полуострова
20. Электрохимические методы получения наноразмерных материалов
21. Методы выделения германия и других редких металлов из углей и продуктов их переработки
22. Применение методов жидкостной экстракции и ионного обмена для получения цветных металлов
23. Извлечение металлов платиновой группы при переработке медно-никелевых сульфидных руд
24. Сорбенты для очистки жидких радиоактивных отходов (ЖРО) от радионуклидов. Сравнительный анализ
25. Комплексная переработка апатито-нефелиновых руд хибинских месторождений
26. Сравнительный анализ методов получения высокочистых металлических циркония и гафния
27. Распределение радионуклидов при гидрометаллургической переработке редкометаллического минерального сырья Кольского полуострова
28. Применение мембранного электродиализа для регенерации кислот и щелочей в гидрометаллургии редких металлов
29. Методы получения наноразмерных материалов для каталитических процессов

***Объем реферата 20-30 страниц печатного текста, 12 шрифт, 1.5 интервала.***

**Должен содержать:**

*Введение (постановка задачи)*

*Критический анализ литературных источников (несколько глав)*

*Заключение*

*Полный список литературы (авторы, название статьи/монографии, название журнала/издательство, № стр. и т.д.)*

Необходимо также подготовить 10-минутную презентацию в PowerPoint (10-15 слайдов).

## ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ

1. Терминология жидкостной экстракции. Основные типы экстрагентов и классификация экстракционных процессов.
2. Классификация процессов производства цветных металлов.
3. Термодинамика простого растворения солей.
4. Термодинамика процессов выщелачивания, сопровождающихся химическими реакциями.
5. Классификация задач разделения элементов в гетерогенных системах.
6. Основные типы экстракционных процессов.
7. Пути приближения составов фаз к равновесным при разделении элементов в металлургических процессах.
8. Основы кинетики выщелачивания.
9. Характеристики ионнообменных смол. Равновесие ионного обмена.
10. Термохимический цикл Борна-Габера.
11. Кинетика ионного обмена.
12. Основные типы экстракционных процессов.
13. Механическое активирование твердых тел в процессах выщелачивания.
14. Методы исследования механизмов экстракции.
15. Термодинамические свойства идеальных и реальных растворов.
16. Закономерности внешней диффузии в процессах выщелачивания.
17. Селективность ионного обмена.
18. Комплексное использование титанового и циркониевого сырья Кольского полуострова.
19. Кинетика процессов экстракции.
20. Диаграммы Пурбе.
21. Ионнообменная хроматография.
22. Динамические методы экстракционного разделения.
23. Диффузионная кинетика с участием двух или более растворенных реагентов в процессах выщелачивания.
24. Ионный обмен в колоннах и из пульп.
25. Равновесие анионообменной экстракции.
26. Общее уравнение процесса выщелачивания.

27. Тантал и ниобий. Сопоставление хлорной и сульфатной технологии комплексной переработки лопарита.
28. Кинетика процессов экстракции.
29. Энергия кристаллической решетки и гидратация ионов.
30. Равновесие ионного обмена.
31. Основные типы гидрометаллургических процессов разделения редких элементов.
32. Методы расчета экстракционных процессов.
33. Теория процессов выщелачивания: Термодинамические функции и расчет констант равновесия химических реакции. Фазовые равновесия.
34. Диаграммы рН-потенциал (диаграммы Пурбе) и их использование для оценки стабильных состояний системы.
35. Титан, цирконий и гафний. Гидрометаллургические технологии их производства.
36. Равновесие ионного обмена.
37. Сорбционные процессы в гидрометаллургии.
38. Кинетика простого растворения
39. Комплексная переработка нефелинов. Основные реакции при спекании нефелина с известняком и выщелачивании.
40. Технологии переработки редкометаллического сырья Кольского полуострова (лопарит, перовскит, эвдиалит).
41. Термодинамика гидрометаллургических процессов.
42. Кинетика выщелачивания с химической реакцией.
43. Переработка редкоземельного сырья. Основы способов разделения редкоземельных элементов.
44. Терминология жидкостной экстракции. Основные типы экстрагентов и классификация экстракционных процессов.
45. Ионный обмен как мембранное равновесие. Использование ионитовых мембран в электродиализе.
46. Гидрометаллургические и комбинированные способы комплексной переработки сульфидных руд и концентратов. Методы получения никеля и кобальта из растворов. Карбонильный процесс получения никеля.
47. Пути активирования твердых тел. Использование кинетических закономерностей для расчетов аппаратов для выщелачивания.
48. Кинетика экстракционных процессов. Динамические методы экстракционного разделения элементов.
49. Закономерности и признаки протекания процесса во внешнедиффузионной, внутренней диффузионной и кинетической областях. Пути интенсификации процесса в зависимости от лимитирующей стадии.
50. Основные типы диаграмм, описывающих кристаллизацию солей.
51. Реакторы идеального смешения. Каскады реакторов. Тепловой баланс реакторов различного типа.

52. Классификация химико-технологических процессов. Основные модели химических реакторов.
53. Гидрометаллургические и комбинированные способы комплексной переработки сульфидных руд и концентратов. Методы получения никеля из растворов. Зародышеобразование.
54. Массовая кристаллизация из растворов. Разделение редких элементов.
55. Кинетика выщелачивания дисперсных твердых веществ, роль геометрии зерна. Влияние дефектов кристаллической решетки на кинетику реакций твердое-жидкость.
56. Равновесие катионообменной, анионообменной экстракции и экстракции нейтральными экстрагентами.
57. Сопоставление хлорной и сульфатной технологии комплексной переработки лопарита. Основы способов разделения тантала и ниобия.
58. Титан, цирконий и гафний. Гидрометаллургические технологии их производства. Применение жидкостной экстракции для разделения циркония и гафния.
59. Особенности выщелачивания соединений металлов с участием газообразного реагента. Диффузионная кинетика с участием двух или более реагентов.
60. Основные типы диаграмм, описывающих кристаллизацию солей. Зародышеобразование.