

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

Методические указания к выполнению практических работ

По дисциплине: Б.1.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 выбрать 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.	ПК-1-н. 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	Знать: - основы гидрометаллургических процессов Уметь: - обрабатывать полученные в ходе эксперимента данные Владеть: -навыками практического применения знаний о гидрометаллургических процессах Индикаторы сформированности компетенций в реализуемой части: ПК-1-н-1. Планирует отдельные стадии исследования при наличии

			<p>общего плана НИР в части гидрометаллургии</p> <p>ПК-1-н-2. Готовит элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в части гидрометаллургии..</p> <p>ПК-1-н-3. Выбирает технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для решения поставленных задач НИР</p> <p>ПК-1-н-4. Готовит объекты исследования в части гидрометаллургии..</p>
--	--	--	---

Таблица 2 - Перечень практических работ

№ ПЗ	Наименование тем, их содержание	Кол-во часов	№ темы по табл.4 РП
1	2	3	4
1	Методы изучения кинетики процессов выщелачивания. Расчет процессов выщелачивания.	4	5
2	Контрольная работа №1	4	1-5
3	Расчет процессов выщелачивания. Построение диаграмм Пурбэ для систем алюминий-вода, медь-вода, цинк-вода.	16	7
4	Расчет процессов кристаллизации	6	9
5	Сорбционные процессы. Методы расчета.	6	10
6	Контрольная работа №2.	4	1-10
	<u>Всего часов:</u>	40	

Аннотация к курсу «Гидрометаллургические процессы».

Содержание курса можно разделить на три основных раздела:

1. Теоретические основы гидрометаллургия

2. Основные переделы гидрометаллургии

3. Применение гидрометаллургии

Гидрометаллургия, извлечение металлов из сырья с *использованием химической реакции 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, Pb и др. металлов без их обжига (обжиг приводит к выделению SO₂, который при выбросе в атмосферу загрязняет окружающую среду, а при улавливании приводит к заметному удорожанию переработки).

Собственно гидрометаллургическим процессам обычно предшествует механический передел включающий операции дробления, измельчения, классификации, механические обогащения - флотации, гравитационным обогащения, отсадки, разделения в тяжелых суспензиях (см. Обогащение полезных ископаемых), а для некоторых руд - радиометрическое обогащение и др. Задача этого передела - удаление как можно большей массы минералов пустой породы.

Гидрометаллургия включает также три следующих основных передела: перевод ценных металлов в раствор, переработку растворов и выделение из очищенных растворов металлов или нерастворимых соединений. Вначале из сырья селективно извлекают в раствор ценные металлы (см. Выщелачивание). Для очистки и концентрирования растворов применяют жидкостную экстракцию и ионообменную сорбцию, реже - мембранные методы, ионную флотацию и др.

Для выделения металлов из растворов применяют восстановление (напримен, водородом) при обычном давлении или в автоклаве, цементацию с использованием более активных металлов и электролитическое восстановление.

Металлы, которые не могут быть выделены из водных растворов (например, Al, Mo, W, U), осаждают в виде оксидов, гидроксидов, фторидов хлоридов, комплексных фторидов и др. Далее эти соединения восстанавливают до металлов различными методами, включая пирометаллургические (см. Металлотермия) и электрохимические

В гидрометаллургических технологических схемах используют также такие механические процессы, как декантация, фильтрация, гидроциклонирование и центрифугирование. Для интенсификации разделения жидкой и твердой фаз применяют синтетические флокулянты. Гидрометаллургия часто связана также с применением термических процессов: сушки, прокаливания осадков, обжига концентратов и др. Все более широкое применение находят совмещенные операции, например, измельчения и выщелачивания, выщелачивания и ионообменной сорбции.

Гидрометаллургические операции могут сочетаться также с процессами газовой металлургии, например получением хлоридов или фторидов. Так, образовавшиеся при переработке рудных концентратов хлориды Zr и Hf могут растворяться в воде и перерабатываться далее гидрометаллургическими методами. Полученные по обычной гидрометаллургической технологии соединения W м. б. превращены в WF_6 , используемый далее для получения металла.

Один из недостатков гидрометаллургии - относительно большой расход воды на единицу продукции. Например, на 1 т урановой руды только при получении химического концентрата образуется 0,3-5,0 т сбросных растворов. Важное значение в преодолении этого недостатка имеют разработка и внедрение процессов водооборота и в конечном итоге переход на полностью бессточную технологическую схему.

Гидрометаллургию применяют для получения цветных (Al, Cu, Ni, Co, Zn и др.), редких (Be, PЗЭ, Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, Mo, W и др.), природных радиоактивных (U, Th), искусственных радиоактивных (Np, Pu и др.), благородных (Ag, Au, Pt и платиновые металлы) металлов.

Биогидрометаллургия основана на применении автотрофных бактерий (гл. обр. тионовых) для выщелачивания U, Си и др. металлов из сульфидных минералов или в присутствии сульфидных минералов, а также для удаления примесей сульфидных минералов (пирита, арсенопирита и др.) из серебряных и золотых руд или из каменного угля и др. материалов.

Рекомендации к выполнению практических работ

Практическое задание №1

Тема: «Методы изучения кинетики процессов выщелачивания. Расчет процессов выщелачивания».

Введение. 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.

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.

Практическое задание №2

Тема: «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.

Практическое задание №3

Тема: «Расчет процессов выщелачивания. Построение диаграмм Пурбэ для систем алюминий-вода, медь-вода, цинк-вода».

Теоретические основы диаграмм Пурбэ «Окислительно-восстановительный потенциал – pH 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 -

H₂O. 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.

Практическое задание №4

Тема: «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 ПР 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.

Практическое задание №5

Тема: «Сорбционные процессы. 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.

Практическое задание №6

Тема: «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. Сравнительных 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).

Рекомендуемая литература

№ 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 https://e.lanbook.com/reader/book/93700/#1	Морачевский А.Г.	Санкт-Петербург : Лань	2017
3.	Термодинамика жидких металлов и сплавов : учебное пособие https://e.lanbook.com/reader/book/94210/#1	Морачевский А.Г.	Санкт-Петербург : Лань	2017