

Компонент ОПОП
04.03.01 Химия
Направленность (профиль): Аналитическая химия и химическая экспертиза
наименование ОПОП
Б1.В.03
шифр дисциплины

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Дисциплины
(модуля)

Электрохимические методы анализа

Разработчик (и):
Берестова Г.И.
ФИО
доцент каф. химии
должность

к.т.н.,
ДОЦЕНТ
ученая степень,
звание

Утверждено на заседании кафедры
химии
наименование кафедры
протокол № 6 «16» февраля 2024 г.

Заведующий кафедрой химии



Дякина Г.А.
ФИО

Мурманск
2024
Пояснительная записка

Объем дисциплины 4 з.е.

1. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с индикаторами достижения компетенций, установленными образовательной программой

Компетенции	Индикаторы достижения компетенций	Результаты обучения по дисциплине (модулю)
ПК 1. Способен применять систему фундаментальных химических понятий и законов в области аналитической химии и химической экспертизы	ИД-1пк ₁ Владеет понятийным аппаратом химической науки и её основными законами. ИД-2пк ₁ Знает условия и особенности проведения эксперимента при исследовании реальных объектов, включая требования к качеству химических реактивов, необходимых для работы на современном оборудовании. ИД-3пк ₁ Планирует химический эксперимент, связанный с обнаружением и количественным определением веществ в составе исследуемого сырья, материала, продукта. ИД-4пк ₁ Интерпретирует и оценивает результаты контроля качества объектов химического анализа в соответствии с установленными требованиями. ИД-5пк ₁ Анализирует и систематизирует результаты проведенного химического анализа.	Знать: основы электрохимических методов анализа. Уметь: использовать основные приемы обработки экспериментальных данных; решать типовые задачи электрохимических методов анализа. Владеть: электрохимическими методами экспериментального исследования материалов.
ПК 2. Способен владеть методологией химического анализа	ИД-1пк ₂ Знает и применяет современные методы анализа для исследования состава и свойств различных объектов аналитического контроля, а также использует соответствующую аппаратуру для проведения исследований и решений любых задач. ИД-2пк ₂ Настраивает, градуирует и выявляет неисправности в работе химического оборудования. ИД-3пк ₂ Знает и соблюдает технику безопасности при работе со сложным аналитическим оборудованием.	Знать: основные электрохимические методы исследования химического состава веществ; возможности современных электрохимических методов анализа. Уметь: применять электрохимические методы для качественного и количественного анализа веществ. Владеть: навыками электрохимических методов анализа.

2. Содержание дисциплины (модуля)

7 семестр:

Тема 1. Введение в электрохимические методы анализа (ЭХМА).

Место и роль ЭХМА среди других методов анализа. Классификация ЭХМА, их особенности, чувствительность, точность, разрешающая способность. Применение в практике анализа: научные исследования, промышленность, экология, медицина, решение современных проблем аналитической химии. Тенденции и перспективы развития ЭХМА. Пути по-

вышения чувствительности. Определяемые компоненты. Вещества, мешающие проведению анализа. Требования, предъявляемые к подготовке проб. Основные стадии электрохимического анализа.

Тема 2. Равновесные электрохимические методы

Кондуктометрические методы анализа. Принципы и классификация метода. Электропроводность растворов электролитов (удельная, эквивалентная, молекулярная). Зависимость электропроводности от экспериментальных параметров (природы ионов и растворителя, концентрации, температуры и др.). Применение прямой кондуктометрии. Определение электропроводности слабых электролитов, констант диссоциации слабых кислот и оснований, растворимости малорастворимых соединений, состава и константы устойчивости комплексных соединений. Аппаратура и техника кондуктометрических измерений. Кондуктометрическое титрование (КТ). Реакции, используемые в КТ. Кривые КТ по методу нейтрализации, осаждения, комплексообразования, окисления-восстановления. Титрование многокомпонентных смесей электролитов. Неводное титрование. Высокочастотное кондуктометрическое титрование (принцип метода, аппаратура, кривые титрования). Особенности кондуктометрического метода анализа, преимущества и недостатки.

Потенциометрические методы анализа. Принцип и классификация методов потенциометрии. Преимущества и ограничения метода. Возникновение двойного электрического слоя (ДЭС) на границе металл – раствор. Равновесный потенциал. Термодинамический вывод уравнения Нернста. Классификация электродов. Электроды I рода (металлические, амальгамные, металлоидные, газовые). Электроды II рода (каломельный, хлорсеребряный, металлоокисные). Электроды III рода. Окислительно-восстановительные электроды (хингидронный, инертный металл в растворе, содержащем окислительно-восстановительную пару). Ионоселективные электроды. Измерение потенциалов в ионоселективных электродах. Определение коэффициента селективности ионоселективного электрода. Классификация ионоселективных электродов. Стекланные электроды. Электроды на основе жидких мембран. Твердые мембранные электроды (кристаллические и некристаллические мембраны). Ферментационные мембранные электроды. Способы определения концентраций с помощью ионоселективных электродов (уравнение Нернста, метод градуировочных прямых, метод стандартных добавок, титрование с ионселективными электродами). Электрохимические цепи (концентрационные цепи, химические цепи, гальванический элемент). Измерение потенциалов. Измерение pH электрохимическим методом. Общая техника и аппаратура потенциометрического анализа. Индикаторные электроды и электроды сравнения. Методы определения конечной точки потенциометрического титрования (ПТ). Компенсационные и некомпенсационные методы ПТ. Методы титрования до ЭДС, равной нулю и до тока, равного нулю (при потенциале конечной точки титрования). Биметаллические системы электродов в практике ПТ. Потенциометрическое титрование по методу нейтрализации, осаждения, комплексообразования и окисления-восстановления (типы индикаторных электродов, кривые титрования). Примеры определения веществ методами ПТ. Обработка кривых титрования (метод Грана, метод Б. М. Марьянова).

Тема 3. Основные закономерности электрохимической кинетики.

Электрохимические методы, основанные на поляризации электродов. Электрохимические методы, основанные на поляризации электродов и протекании тока через электроды. Основные закономерности электрохимической кинетики. Основные понятия электрохимической кинетики (ток, перенапряжение, обратимые и необратимые процессы). Стадии электрохимического процесса. Диффузионно-концентрационная поляризация. Закономерности диффузии. 1-ый и 2-ой законы Фика. Уравнения концентрационной поляризации (теория Нернста-Левича). Критика теории Нернста. Электрохимическая поляризация. Теория замедленного разряда-ионизации. Потенциальные кривые. Ток обмена. Кинетический вывод уравнения Нернста. Вывод уравнений для общей и частных поляризационных кривых. Поляризационные кривые при малых и больших перенапряжениях и токах. Уравнение Тафеля. Строение двойного электрического слоя (ДЭС) и его влияние на кинетику

электрохимических процессов. Причины образования ДЭС. Потенциал нулевого заряда. Распределение зарядов в ДЭС. Факторы, влияющие на потенциал. Учет потенциала при выводе уравнения электрохимической кинетики. Методы изучения ДЭС. Электрокапиллярные кривые. Фазовая поляризация. Факторы, влияющие на перенапряжение и структуру осадка. Перенапряжение при выделении водорода, стадии выделения водорода. Электролиз. Электрохимическое выделение металлов. Устойчивость водных растворов при электролизе. Диаграмма устойчивости воды при равновесных потенциалах. Напряжение разложения. Влияние природы металла на перенапряжение. Влияние плотности тока, состава раствора, поверхностно-активных веществ (ПАВ) на перенапряжение. Раздельное выделение металлов при электролизе. Подготовка поверхностей перед нанесением электрохимических покрытий. Законы Фарадея. Выход по току. Аппаратура и общая техника электрохимических определений. Методы электроанализа. Выделение на катоде, на аноде. Осаждение на ртутном электроде. Электролиз при контролируемом токе и электролиз при контролируемом потенциале. Примеры определения веществ методами электролиза. Метод внутреннего электролиза. Механизм электродных процессов на катоде и аноде.

Кулонометрия. Принцип метода, классификация. Условия, определяющие 100 % выход по току при электродных процессах. Кулонометрия при контролируемом потенциале. Аппаратура. Методы измерения количества электричества. Кулонометрия при постоянном токе. Аппаратура, техника выполнения. Кулонометрическое титрование. Внутренняя и внешняя генерация реагента. Методы фиксирования конца реакции (оптические, электрохимические). Метрологические характеристики метода. Преимущества. Примеры определений. Методы потенциометрии в условиях поляризации электродов. Потенциометрическое титрование с одним поляризованным электродом. Потенциометрическое титрование с двумя поляризованными электродами. Виды кривых ПТ для обратимых и необратимых систем.

Тема 4. Вольтамперометрические методы анализа.

Полярографический метод анализа. Сущность метода, история возникновения и развития. Области применения полярографии. Принцип полярографических измерений. Особенности ртутного каплющего электрода. Требования к составу полярографируемого раствора. Теория полярографических методов анализа. Диффузионный ток. Вывод уравнений для диффузионного тока на плоском и сферическом электродах. Линейная диффузия к растущему капельному электроду. Уравнение Ильковича. Факторы, влияющие на величину диффузионного тока. Миграционный ток в полярографии. Влияние миграции на величину предельного тока в случаях окисления и восстановления катионов и анионов. Емкостный ток. Влияние адсорбции катионов, анионов и поверхностно-активных веществ на вид электрокапиллярной кривой. Полярографические волны. Уравнение обратимых полярографических волн при восстановлении аква-ионов до амальгамы, комплексных ионов, для восстановления ионов, не образующих амальгамы. Обратимая анодная и анодно-катодная волна. Исследование обратимости полярографических волн. Полярографический метод определения координационного числа и константы нестойкости комплексных ионов. Уравнение необратимой полярографической волны. Полярографические максимумы; причины их возникновения. Влияние растворенного кислорода на вид полярографической волны. Максимумы I и II рода. Подавление максимумов. Использование максимумов I и II рода для аналитических целей. Способы определения концентрации депольяризаторов в полярографии (метод калибровочных прямых, метод стандартных добавок, логарифмический анализ). Каталитические токи.

Инверсионная вольтамперометрия (ИВ). Сущность метода, классификация. Теоретические основы метода. Параметрическая теория метода ИВ на ртутном сферическом электроде. Влияние факторов на глубину анодного пика (концентрация ионов, время электролиза, объем раствора, объем ртутной капли, потенциал электролиза). Факторы, влияющие на разрешающую способность метода. Чувствительность метода ИВ. Электроды, используемые в методе ИВ (ртутные и ртутно-графитовые электроды). Твердые (инертные) элект-

троды. Инверсионная вольтамперометрия твердых фаз. Теория электрохимического растворения металлов с поверхности твердого индифферентного электрода. Определяемые вещества. Методика определения предела обнаружения в методе ИВ. Возможности метода ИВ и перспективы развития.

Методы вольтамперометрического анализа (общая характеристика). Вольтамперометрия с быстрой (линейной) разверткой потенциала (осциллографическая полярография). Циклическая вольтамперометрия. Переменнотоковая вольтамперометрия. Нормальная и дифференциальная импульсная полярография. Квадратно-волновая полярография. Амперометрия и амперометрическое титрование. Сущность метода. Кривые амперометрического титрования (АТ) при постоянном и изменяющемся объеме титруемого раствора. Амперометрическое титрование с одним и двумя поляризованными электродами. Приложение амперометрического метода для определения физико-химических характеристик (определение произведения растворимости и константы нестойкости комплексных ионов). Преимущества метода.

3. Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины (модуля)

- методические указания к выполнению лабораторных работ представлены в электронном курсе в ЭИОС МАУ;
- методические указания к выполнению практических работ представлены в электронном курсе в ЭИОС МАУ;
- методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины (модуля) представлены на официальном сайте МАУ в разделе «Информация по образовательным программам, в том числе адаптированным».

4. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Является отдельным компонентом образовательной программы, разработан в форме отдельного документа, представлен на официальном сайте МАУ в разделе «Информация по образовательным программам, в том числе адаптированным». ФОС включает в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения дисциплины (модуля);
- задания текущего контроля;
- задания промежуточной аттестации;
- задания внутренней оценки качества образования.

5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы (печатные издания, электронные учебные издания и (или) ресурсы электронно-библиотечных систем)

Основная литература:

1. Будников Г. К. Основы современного электрохимического анализа / Г. К. Будников, В. Н. Майстренко, М. Р. Вяселев. – М. : Мир : Бинум ЛЗ, 2003. – 592 с.
2. Миомандр Ф. Электрохимия / Ф. Миомандр, С. Садки, П. Одебер, Р. Меалле-Рено; пер. с фр. В. Н. Грасевича; пор ред. Ю. Д. Гамбурга, В. А. Сафонова. М. : Техносфера, 2008. – 359 с.

Дополнительная литература:

1. Электроаналитические методы в контроле окружающей среды / под ред. Е. Я. Неймана ; пер. с англ. В. И. Игнатова. - Москва : Химия, 1990. - 238 с. (3 экз.)
2. Шелковников В. В., Анищенко М. В. Электрохимические методы анализа (мультимедийное учебное пособие). Томск. ИДО ТГУ, 2007. http://ido.tsu.ru/iop_res1/electrohimmetod
3. Конюхов, В. Ю. Методы исследования материалов и процессов : учебное пособие для вузов / В. Ю. Конюхов, И. А. Гоголадзе, З. В. Мурга. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2023. – 177 с. (1 экз.).

6. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

- 1) Государственная система правовой информации - официальный интернет-портал правовой информации- URL: <http://pravo.gov.ru>
- 2) Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» - URL: <http://window.edu.ru>
- 3) Справочно-правовая система. Консультант Плюс - URL: <http://www.consultant.ru/>
- 4) Национальная электронная библиотека (НЭБ) <http://нэб.рф/>
- 5) Электронно-библиотечная система ЭБС - <http://www.rucont.ru/>
- 6) ЭБС «Издательства «ЛАНЬ» <http://e.lanbook.com/>
- 7) ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <http://biblioclub.ru/>

7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства

- 1) *Офисный пакет Microsoft Office 2007*
- 2) *Система оптического распознавания текста ABBYY FineReader*
- 3) *Офисный пакет Microsoft Office 2010 Russian Academic OPEN*

8. Обеспечение освоения дисциплины лиц с инвалидностью и ОВЗ

Обучающиеся из числа инвалидов и лиц с ОВЗ обеспечиваются печатными и (или) электронными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) представлено в приложении к ОПОП «Материально-технические условия реализации образовательной программы» и включает:

- учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой бакалавриата, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения;
- помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде МАУ;
- лаборатория аналитической химии (ауд. 509Л).

Допускается замена оборудования его виртуальными аналогами.

10. Распределение трудоемкости по видам учебной деятельности

Таблица 1 - Распределение трудоемкости

Вид учебной деятельности	Распределение трудоемкости дисциплины (модуля) по формам обучения									
	Очная				Очно-заочная			Заочная		
	Семестр			Всего часов	Семестр		Всего часов	Сместр/Курс		Всего часов
	7									
Лекции	36			36						
Практические занятия	18			18						
Лабораторные работы	54			54						
Самостоятельная работа	36			36						
Подготовка к промежуточной аттестации	-			-						

Всего часов по дисциплине	144			144								
/ из них в форме практической подготовки												

Формы промежуточной аттестации и текущего контроля

Экзамен	-											
Зачет/зачет с оценкой	-/+											
Курсовая работа (проект)	-											
Количество расчетно-графических работ	-											
Количество контрольных работ	-											
Количество рефератов	-											
Количество эссе	-											

Перечень лабораторных работ по формам обучения

№ п/п	Темы лабораторных работ
1	2
	7 семестр
1	Определение содержания кобальта (II) в растворе методом окислительно-восстановительного потенциометрического титрования. (6 ч.)
2	Определение содержания железа в растворе в присутствии хрома и никеля. (6 ч.)
3	Определение констант диссоциации фосфорной кислоты. (6 ч.)
4	Определение содержания хлороводородной и уксусной кислот в растворе при их совместном присутствии (6 ч.)
5	Комплексометрическое определение железа (III) в растворе с потенциометрической индикацией к. т. т. (6 ч.)
6	Определение ионов цинка (II) методом амперометрического титрования. (6 ч.)
7	Кулонометрическое определение меди (II). (6 ч.)
8	Определение серной кислоты в присутствии перманганата калия кондуктометрическим титрованием. (6 ч.)
9	Определение ионов свинца (II). (6 ч.)
	Итого: 54 ч.

Перечень практических работ по формам обучения

№ п/п	Темы практических работ
1	2
	7 семестр
1	Кондуктометрия. (2 ч.)
2	Потенциометрия. (4 ч.)
3	Кулонометрия. (4 ч.)
4	Полярографический метод анализа. (4 ч.)
5	Вольтамперометрия. (4 ч.)
	Итого: 18 ч.