

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. декана химического факультета

А. С. Князев

Рабочая программа дисциплины

**Электрохимические методы анализа**

по направлению подготовки / специальности

**04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия**

Направленность (профиль) подготовки / специализация:

**Фундаментальная и прикладная химия**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**химик-специалист, преподаватель**

Год приема

**2023**

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

В.В. Шелковников

Председатель УМК

Л.Н. Мишенина

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1. Способен анализировать и интерпретировать результаты химических экспериментов, наблюдений и измерений в различных областях химии;

ОПК-2. Способен проводить синтез, анализ, изучение структуры и свойств веществ и материалов, исследовать процессы с их участием

ПК-1. Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках;

ПК-6. Способен осуществлять контроль качества сырья, компонентов и выпускаемой продукции химического назначения, проводить паспортизацию товарной продукции.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РООПК 1.1 Знает теоретические основы неорганической, органической, физической и аналитической химии, применяет их при решении профессиональных задач в других областях химии.

РООПК 1.2 Умеет систематизировать и интерпретировать результаты экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии

РООПК 1.3 Умеет грамотно формулировать заключения и выводы по результатам работы

РООПК 2.2 Знает теоретические основы методов изучения состава, структуры и свойств для грамотного выбора метода исследования

РООПК 2.3 Умеет проводить стандартные синтезы по готовым методикам, выполнять стандартные операции для определения химического и фазового состава веществ и материалов, а также использовать серийное научное оборудование для изучения их свойств

РОПК 1.1 Умеет разрабатывать стратегию научных исследований, составляет общий план и детальные планы отдельных стадий.

РОПК 1.2 Умеет выбирать экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи, используя достижения современной химической науки, и исходя из имеющихся, материальных, информационных и временных ресурсов.

РОПК 6.1 Умеет выполнять стандартные операции на высокотехнологическом оборудовании для характеристики сырья, промежуточной и конечной продукции химического производства

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– изучение электрохимических свойств системы, связанных с составом функциональной зависимостью;

– исследование факторов, влияющих на величину аналитического сигнала (устранение мешающих анализу параметров, оптимизация отношения сигнал/помеха);

– освоение основных методов электрохимического анализа и исследования;

– оценивание метрологических характеристик известных методик (чувствительность, точность, воспроизводимость, экспрессность и т.д.) и возможностей их улучшения.

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в Модуль Аналитическая химия.

#### **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Седьмой семестр, экзамен

#### **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: неорганическая химия, физическая химия, строение вещества, химическая технология, математический анализ, физика, информатика.

#### **6. Язык реализации**

Русский

#### **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 з.е., 180 часов, из которых:

-лекции: 32 ч.

-лабораторные: 36 ч.

в том числе практическая подготовка: 36 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

#### **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

##### **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 повышения 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. Хронокондуктометрия. 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, хлоридсеребряный, 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. Стеклообразные 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 капяющего 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 деполаризаторов 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) электроды. 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.

## **9. Текущий контроль по дисциплине**

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, экспресс-тестов и коллоквиумов по лекционному материалу, выполнения индивидуальных заданий, кейсов и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр. Для систематизации работы в течение семестра используется балльно-рейтинговая система. Для допуска к экзамену необходимо набрать не менее 60% баллов от максимально возможных.

**Примеры оценочных средств для текущего контроля успеваемости, промежуточной и итоговой аттестации освоения дисциплины:**

**Вопросы для подготовки к коллоквиуму 3 по теме «Вольтамперометрические методы анализа», проводимому в форме деловой игры**

1. Амперометрическое титрование с одним поляризованным электродом
2. Классическая полярография
3. Осциллографическая вольтамперометрия
4. Инверсионная вольтамперометрия на ртутных электродах
5. Переменнотоковая вольтамперометрия
6. Циклическая вольтамперометрия
7. Квадратно-волновая вольтамперометрия
8. Импульсная нормальная вольтамперометрия
9. Импульсная дифференциальная вольтамперометрия
10. Инверсионная вольтамперометрия на твердых электродах
11. Линейная диффузия к растущему капельному электроду
12. Следствия из уравнения Ильковича
13. Уравнение обратимой полярографической волны
14. Уравнение необратимой полярографической волны
15. Определение координационного числа и константы нестойкости комплексных ионов методом классической полярографии
16. Определение константы нестойкости комплексных ионов методом амперометрического титрования
17. Емкостный ток. Электрокапиллярная кривая
18. Миграционный ток. Причины возникновения. Способы устранения влияния миграции на величину предельного тока.
19. Полярографические максимумы, их типы. Причины возникновения и способы устранения
20. Уравнение диффузионного тока к сферическому электроду
21. Параметрическая теория метода инверсионной вольтамперометрии
22. Определение произведения растворимости по кривым амперометрического титрования

23. Влияние концентрации ионов, времени электролиза, объема анализируемого раствора и ртутной капли на величину анодного тока в методе инверсионной вольтамперометрии
24. Факторы, влияющие на разрешающую способность метода инверсионной вольтамперометрии
25. Факторы, влияющие на потенциал пика в методе инверсионной вольтамперометрии
26. С помощью поляризационных кривых объясните вид кривой амперометрического титрования

**Примеры билетов коллоквиума по теме «Электрохимические методы анализа, не связанные с поляризацией электродов»**

**БИЛЕТ 1**

1. Термодинамический вывод уравнения Нернста
2. Применение кондуктометрических методов для физико-химических методов исследования (на одном из методов остановиться подробнее).
3. Эквивалентная электропроводность  $1,03 \cdot 10^{-3}$  М раствора уксусной кислоты при  $25^\circ\text{C}$  равна  $48,15 \text{ Смг-экв}^{-1}\cdot\text{см}^2$ . Определить константу диссоциации уксусной кислоты, если электропроводность уксусной кислоты при бесконечном разбавлении равна  $390,6 \text{ Смг-экв}^{-1}\cdot\text{см}^2$ .
4. На сколько мВ изменится потенциал водородного электрода относительно насыщенного каломельного, если к 50 мл 0,1 М раствора HCl прилить 20 мл 0,2 М раствора аммиака. Температура опыта  $25^\circ\text{C}$ .

**Примеры кейсов**

Предложите и дайте теоретическое обоснование методик определения ионов  $\text{Fe}^{2+}$  методами потенциометрического, амперометрического с двумя и с одним поляризованными электродами, кондуктометрического и кулонометрического титрования. При обосновании методик:

- методом потенциометрического титрования проведите расчет потенциала в точке эквивалентности и величины скачка на кривой титрования;
- методом амперометрического титрования вид кривой объясните на основании поляризационных кривых;
- методом кондуктометрического титрования вид кривых объясните на сопоставлении подвижностей ионов;
- методом кулонометрического титрования предложите методы фиксирования конечной точки титрования.

**Примеры тестовых заданий для лекционного экспресс-контроля**

Укажите правильный ответ

1. Для кислородного электрода уравнение Нернста при стандартных условиях имеет вид:
  - А)  $E = E^0 - 0,059 \lg a_{\text{OH}^-}$
  - Б)  $E = E^0 + \frac{0,059}{2} \lg \frac{a_{\text{O}_2}}{a_{\text{OH}^-}^4}$

$$B) E = E^0 + \frac{0,059}{4} \lg \frac{a_{OH^-}^4}{a_{O_2} a_{H_2O}}$$

$$Г) E = E^0 - 0,059 pH$$

2. При потенциометрическом титровании ионов  $Fe^{2+}$  раствором  $K_2Cr_2O_7$  в качестве индикаторного электрода следует использовать:

- А) хлоридсеребряный электрод
- Б) платиновый электрод
- В) ртутный пленочный электрод
- Г) каломельный электрод

### Примеры индивидуальных заданий

Объясните вид кривых титрования для следующих систем

Вариант	Определяемое вещество	Титрант
1	$H_3PO_4$	NaOH
2	NaOH+ $NH_4OH$	HCl
3	$Cu(NO_3)_2$	KOH
4	$K_4[Fe(CN)_6]$	$Pb(NO_3)_2$
5	$Ca(NO_3)_2$	$Na_2Y$ (ЭДТА)
6	$Zn(NO_3)_2$	NaOH
7	$Na_2CO_3$	HCl
8	$CH_3COOH$	NaOH
9	$AlCl_3$	NaOH
10	$HCOOH+NH_4Cl$	NaOH
11	$HCl+FeCl_3$	KOH
12	$NiCl_2$	$NH_4OH$

Вычислить потенциал металлического электрода относительно электрода сравнения при условиях, приведенных

Вариант	Электроды	Объем электролита, мл	Растворенное вещество и его количество	Температура, °С	Электрод сравнения
1	Медный	1000	$CuSO_4$ , 16 г	18	водородный
2	Цинковый	500	$ZnSO_4$ , 0.1 г-экв	18	Каломельный, 0.1 Н
3	Никелевый	1000	$NiCl_2$ , 0.5 г-экв	30	Каломельный насыщ.
4	Алюминиевый	200	$AlCl_3$ , 27 г	30	Каломельный насыщ.
5	Серебряный	400	$AgNO_3$ , 0.2 г-экв	25	Каломельный 1 Н
6	Кадмиевый	1000	$Cd(NO_3)_2$ , 18.8 г	25	водородный
7	Железный	100	$FeSO_4 \times 7H_2O$ , 20.5 г	30	Каломельный, 0.1 Н



8	Кобальтовый	200	CoCl <sub>2</sub> , 0.5 г-экв	25	Хлоридсеребряный 1Н КСl
9	Ртутный	500	Hg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , 46 г	20	водородный
10	Свинцовый	250	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , 0.2 М	25	Каломельный насыщ.
11	Оловянный	1000	SnCl <sub>2</sub> , 59 г	30	Хлоридсеребряный 0.1 Н
12	Хромовый	300	Cr(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> , 1 М	20	водородный

Определите содержание указанного иона (в мг) методом кулонометрического титрования при постоянной силе тока.

Таблица 3.2.

Вариант	Определяемый ион или вещество	Генерируемый ион или вещество	Сила тока, мА	Время, мин
1	Fe <sup>2+</sup>	Br <sub>2</sub>	100	3,5
2	H <sup>+</sup>	ОН <sup>-</sup>	300	5
3	Se(IV)	Г	200	7
4	Mo(V)	Fe <sup>2+</sup>	150	15
5	BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	ОН <sup>-</sup>	100	10
6	Пиридин	H <sup>+</sup>	120	5,5
7	Теобромин	Г	250	3
8	Zn <sup>2+</sup>	K <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	300	4,1
9	CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cu <sup>+</sup>	250	2
10	Г	Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup>	180	3,5
11	AsO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	Br <sub>2</sub>	240	4
12	[Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sup>4-</sup>	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	300	2

### 10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен в седьмом семестре проводится в устной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из трех частей. Продолжительность экзамена 2 часа.

Структура экзамена соответствует компетентностной структуре дисциплины.

Первая часть представляет собой тест из 20 вопросов, проверяющих РООПК-1.3, РОПК-1.2. Ответы на вопросы первой части даются путем выбора из списка предложенных.

Вторая часть содержит три вопроса, проверяющие РООПК-1.1, РООПК-1.2, РООПК-2.1, РООПК-2.2, РОПК-1.1, РОПК-6.1 Ответ на вопрос второй части дается в развернутой форме.

Третья часть содержит 2 задачи, проверяющих РООПК-2.3, ИПК-1.1. Ответы на вопросы третьей части предполагают решение задач и краткую интерпретацию полученных результатов.

## Примеры тестовых заданий, размещенных в УМК «Электрохимические методы анализа»

The screenshot shows a web browser window titled "ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА - Mozilla Firefox". The address bar shows the URL "http://ido.tsu.ru/top\_res1/electrohimetod/". The page content includes a navigation menu on the left with "Тестовые задания" selected. The main content area displays "Вопросы:" with a grid of question numbers 1 through 20. "Вопрос 1 из 20" is selected. The question text is: "Выберите один правильный ответ из числа предложенных вариантов. Какую реакцию можно использовать при кондуктометрическом определении муравьиной кислоты". Below the question are four radio button options: "Окисления-восстановления", "Комплексообразования", "Нейтрализации", and "Осаждения". An "Ответить" button is at the bottom, and the feedback text says "Баллов за правильный ответ: 1".

The screenshot shows the same web browser window. The question grid now highlights "Вопрос 16 из 20". The question text is: "Восстановите последовательность. Расположите вещества в том порядке, в котором их можно селективно определить методом электрогравиметрии при их совместном содержании в анализируемом растворе". Below the question are four buttons labeled with chemical symbols: "Am", "Mn", "Fe", and "Cu". Each button has the text "вариант не выбран" and a "Выбрать" button next to it. An "Ответить" button is at the bottom, and the feedback text says "Баллов за правильный ответ: 1".

## Примеры экзаменационных билетов Экзаменационный билет № 2

1. Способы определения конечной точки титрования в методе потенциометрического титрования.
2. Ток обмена. Кинетический вывод уравнения Нернста.
3. Полярографическое восстановление комплексных ионов. Определение координационного числа и константы нестойкости комплекса методом классической полярографии.
4. Навеску сплава 0,4923 г растворили и через полученный раствор в течение 7 минут пропускали ток 0,4 А, в результате чего на катоде полностью выделился никель. Определите процентное содержание никеля в сплаве, если выход по току составил 80 %.
5. С помощью поляризационных кривых объясните вид кривой амперометрического титрования с двумя поляризованными электродами I<sub>2</sub> раствором Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

#### Экзаменационный билет № 14

1. Следствия из уравнения Ильковича.
2. Требования, предъявляемые к мембранам, используемым в качестве чувствительных элементов в твердых и жидкостных ионоселективных электродах.
3. Электрохимическая поляризация. Уравнение Тафеля.
4. Проведите обоснование методики определения цинка методом потенциометрического титрования.
5. При определении содержания фторид-ионов методом добавок, в стакан для измерения было помещено 40 см<sup>3</sup> сточной воды. Значение потенциала фторид-селективного электрода оказалось равным 244 мВ. К анализируемому раствору добавили 3 см<sup>3</sup> стандартного раствора с концентрацией 0,01 моль/дм<sup>3</sup>, при этом значение потенциала оказалось равным 147 мВ. Определите содержание фторид-ионов в анализируемой воде.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Каждый вопрос оценивается баллами. Баллы, полученные на экзамене суммируются с баллами, полученными в течение семестра. Если студент набрал более 90% баллов от максимально возможного, оценка «Отлично», от 75 до 89% - оценка «Хорошо», от 60 до 74% - оценка «Удовлетворительно».

#### 11. Учебно-методическое обеспечение

- а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/enrol/index.php?id=28551>
- б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.
  - а) основная литература:
    - Будников Г. К. Основы современного электрохимического анализа / Г. К. Будников, В. Н. Майстренко, М. Р. Вяселев. – М. : Мир : Бином ЛЗ, 2003. – 592 с.
    - 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.
    - Электроаналитические методы. Теория и практика / Под ред. Ф. Шольца. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. – 326 с.
  - б) дополнительная литература:
    - Юинг Г. Инструментальные методы химического анализа / Г. Юинг; пер. с англ. – М. : Мир, 1989. – 608 с.

- Плэмбек Дж. Электрохимические методы анализа / Дж. Плэмбек. М. : Мир, 1985. – 496 с.
- Галюс З. Теоретические основы электрохимического анализа; пер. с польского / З. Галюс. М.: Мир, 1974. – 552 с.
- Брайнина Х. З. Твердофазные реакции в электроаналитической химии / Х. З. Брайнина, Е. Я. Нейман. М. : Химия, 1982. – 264 с.
- Выдра Ф. Инверсионная вольтамперометрия / Ф. Выдра, К. Штулик, Э. Юлакова. М. : Мир, 1985. – 496 с.
- Захаров М. С. Электрохимические методы анализа природных и сточных вод / М. С. Захаров, Н. Ф. Захарчук. Новосибирск : Наука, 1985. – 220 с.
- Захарова Э. А. Лабораторный практикум по электрохимическим методам анализа / Э. А. Захарова, Л. А. Игнатьева. Томск : Изд-во Томского ун-та, 1980.
- Захарова Э. А. Практикум по методу инверсионной вольтамперометрии на ртутных электродах / Э. А. Захарова. Томск : Изд-во Томского ун-та, 1980.
- Химические и биологические сенсоры: основы и применения / Ф. Г. Баника; пер. с англ. И. М. Лазера, под ред. В. А. Шубарева. Москва: Техносфера, 2014. – 879 с.

в) ресурсы сети Интернет:

- Шелковников В. В., Анищенко М. В. Электрохимические методы анализа (мультимедийное учебное пособие). Томск. ИДО ТГУ, 2007.  
[http://ido.tsu.ru/iop\\_res1/electrohimmetod](http://ido.tsu.ru/iop_res1/electrohimmetod)
- Электронная библиотека учебных материалов по химии – М.: МГУ  
<http://www.chem.msu.ru/rus/elibrary/>

### 13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
- публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –  
<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –  
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

### 14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Лаборатории оснащены вытяжными шкафами и необходимым оборудованием:

pH-метр-милливольтметр, вольтамперометрический анализатор ТА-4 – 2 шт, вольтамперометрический анализатор ТА-4М, универсальный источник питания УИП-1,

кондуктометр 4 в комплекте с датчиком, стенд электрохимический, потенциостат, магнитные мешалки, плитка электрическая, шкаф сушильный, муфельная печь, весы лабораторные электронные, секундомер. Электроды: ртутный капаяющий электрод, стеклянный (рН-чувствительный), ионоселективные ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ ), ртутный пленочный (РПЭ), платиновые (пластинчатый спиральный, точечный), серебряный, графитовый. Лабораторная посуда: колбы мерные 50, 100, 200, 250 мл, стакан лабораторный 50, 100, 400 мл, стакан кварцевый 20 мл, бюретка 25 мл, микробюретка 5 мл, пипетки 1, 2, 5, 10 мл, цилиндр мерный 10, 50 мл, груши резиновые, промывалки.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате («Актру»).

### **15. Информация о разработчиках**

Шелковников Владимир Витальевич, канд. хим. наук, доцент, кафедра аналитической химии Национального исследовательского Томского государственного университета, заведующий кафедрой.

Носкова Галина Николаевна, д-р. хим. наук, кафедра аналитической химии Национального исследовательского Томского государственного университета, профессор