

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

« 08 » апреля 2022 г.

Рабочая программа дисциплины

**Общепрофессионального модуля «Аналитическая химия»**

специальности

**04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия**

специализация:

**Фундаментальная и прикладная химия**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Химик. Преподаватель химии**

Год приема

**2021**

Код дисциплины в учебном плане: Б1.О.1.12

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

В.В. Шелковников

Председатель УМК

В.В. Хасанов

Томск – 2022

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– УК-8. Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности в различных средах для сохранения природной среды и обеспечения устойчивого развития общества.

– ОПК-1. Способен анализировать, интерпретировать и обобщать результаты экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности.

– ОПК-2. Способен проводить химический эксперимент с использованием современного оборудования, соблюдая нормы техники безопасности.

– ОПК-4. Способен планировать работы химической направленности, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты с использованием теоретических знаний и практических навыков решения математических и физических задач.

– ОПК-6. Способен представлять результаты профессиональной деятельности в устной и письменной форме в соответствии с нормами и правилами, принятыми в профессиональном сообществе.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-1.1. Систематизирует и анализирует результаты химических экспериментов, наблюдений, измерений, а также результаты расчетов свойств веществ и материалов.

ИОПК-1.2. Предлагает интерпретацию результатов собственных экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии.

ИОПК-1.3. Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности.

ИОПК-2.1. Работает с химическими веществами с соблюдением норм техники безопасности.

ИОПК-2.2. Использует существующие и разрабатывает новые методики получения и характеристики веществ и материалов для решения задач профессиональной деятельности.

ИОПК-2.3. Проводит исследования свойств веществ и материалов с использованием серийного научного оборудования.

ИОПК-4.1. Использует базовые знания в области математики и физики при планировании работ химической направленности.

ИОПК-4.2. Обрабатывает данные с использованием стандартных способов аппроксимации численных характеристик.

ИОПК-4.3. Интерпретирует результаты химических наблюдений с использованием физических законов и представлений.

ИОПК-6.1. Представляет результаты работы в виде отчета по стандартной форме на русском языке.

ИОПК-6.2. Представляет информацию химического содержания с учетом требований библиографической культуры

ИОПК-6.4. Готовит презентацию по теме работы и представляет ее на русском и английском языках.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Научиться понимать связь химических свойств элементов с их положением в периодической системе, суть основных законов термодинамики для описания

химических равновесий, классификацию химических реакций, основанную на их природе.

- Узнать теоретические основы базовых химических дисциплин.
- Уметь систематизировать и анализировать результаты аналитических химических экспериментов, наблюдений, измерений.
- Уметь решать типовые учебные задачи по основным (базовым) химическим дисциплинам.
- Владеть способностями интерпретации результатов собственных экспериментов и их обработки с использованием метода математической статистики.
- Владеть техникой проведения химического эксперимента с соблюдением норм безопасности и правил оформления его результатов.
- Научиться проводить простые химические опыты по предлагаемым методикам с использованием серийного учебного оборудования.
- Научиться формулировать выводы по результатам анализа экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности.

### **3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы.

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

Семестр 3, зачет, экзамен.

Семестр 4, зачёт, курсовой проект, экзамен.

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

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: «Неорганическая химия», «Математика», «Физика» и «Информатика» (все разделы соответствующих курсов).

### **6. Язык реализации**

Русский

### **7. Объем дисциплины (модуля)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 20 з.е., 720 часов, из которых:

- лекции: 80 ч.;
- практические занятия: 48 ч.;
- курсовая работа: 20 ч.;
- лабораторные работы: 208 ч.

в том числе практическая подготовка: 276 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

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

**Модуль 1.** Введение. Основные закономерности протекания химических реакций. Кислотно-основные реакции.

Тема 1. *Введение. Общее представление о химическом анализе.* Значение химического анализа в науке, технике, охране окружающей среды. Объекты анализа. Качественный и количественный анализ. Основные стадии анализа: пробоотбор, пробоподготовка, измерение, обработка результатов. Методы и методики анализа. Аналитическая служба. Аналитическая химия как наука, ее цели и задачи, связь с

другими науками, основные этапы ее развития. Виды анализа: изотопный, элементный, структурно-групповой (функциональный), молекулярный, вещественный, фазовый. Химические, физические и биологические методы анализа. Макро-, микро- и ультрамикрoанализ. Актуальные аналитические проблемы: снижение предела обнаружения; повышение точности и избирательности; обеспечение экспрессности; анализ без разрушения; локальный анализ; дистанционный анализ. Основные тенденции развития аналитической химии: инструментализация, автоматизация, математизация, миниатюризация, создание сенсоров и разработка тест-методов. Научная химико-аналитическая литература.

Тема 2. *Пробоотбор и пробоподготовка*. Отбор пробы для анализа. Представительность пробы. Факторы, обуславливающие размер и способ отбора представительной пробы. Генеральная (первичная), лабораторная и анализируемая пробы. Отбор проб гомогенного и гетерогенного состава. Способы получения средней пробы твердых, жидких и газообразных веществ, первичная обработка и хранение проб. Способы пробоподготовки: измельчение, растворение, термообработка, обработка реагентами. Особенности разложения органических веществ. Способы устранения и учета загрязнений и потерь компонентов при пробоподготовке.

Тема 3. *Основные закономерности протекания химических реакций*. Основные типы реакций, применяемых в химических методах анализа: кислотно-основные, комплексообразования, окисления-восстановления. Процессы образования и растворения осадков. Факторы, влияющие на равновесие (концентрации реагентов, температура, природа растворителя, рН, конкурирующие реакции). Формы существования веществ в растворе. Сольватация, ионизация, диссоциация. Поведение электролитов и неэлектролитов в растворах. Теория Дебая-Хюккеля. Коэффициенты активности. Влияние посторонних электролитов на равновесия реакций и учет этого влияния при проведении анализа (солевой эффект). Общая и равновесная концентрации. Мольная доля иона. Константы равновесия реакций и процессов: термодинамические, концентрационные, условные. Описание сложных равновесий. Графическое описание равновесий (распределительные и концентрационно-логарифмические диаграммы). Принципы расчета химических равновесий.

Тема 4. *Кислотно-основные реакции*. Применение кислотно-основных реакций в анализе. Основные теории кислот и оснований: Аррениуса, Бренстеда-Лоури, Льюиса, Усановича. Преимущества протолитической теории Бренстеда-Лоури. Сопряженные кислотно-основные пары. Влияние растворителя на силу кислот и оснований. Константы кислотности и основности. Автопротолиз. Лиат и лионий. Обобщенные представления о кислых, щелочных и нейтральных средах, шкала рН в разных растворителях. Классификация растворителей по их способности к автопротолизу и роли в протолитическом процессе. Нивелирующий и дифференцирующий эффекты растворителей. Важнейшие неводные растворители. Состояние вещества в растворах с различной кислотностью. Кислотно-основное равновесие в многокомпонентных системах. Расчет доли заданной формы вещества при данном рН. Буферные растворы в анализе. Механизм буферного действия, буферная емкость. Выбор буферной системы. Расчет изменения рН при введении кислот и щелочей. Индивидуальные вещества с буферными свойствами. Амфолиты. Состояние растворенного вещества в растворах с разной кислотностью. Расчет рН водных и неводных растворов разного типа.

Тема 5. *Методы обнаружения и идентификации*. Химические методы обнаружения веществ. Реакции обнаружения и разделения. Чувствительность и селективность аналитических реакций. Характеристики чувствительности и способы повышения селективности качественной реакции. Классификации катионов и

анионов в химическом анализе. Систематический и дробный методы анализа. Типы реакций, используемые в них. Действие групповых реагентов и частные реакции на катионы I, II и III аналитических групп. Способы перевода в раствор хлоридов ионов II и сульфатов ионов III аналитических групп. Схема анализа смеси катионов I, II и III аналитических групп.

**Модуль 2.** Реакции комплексообразования и окислительно-восстановительные реакции.

Тема 6. *Реакции комплексообразования.* Применение реакций комплексообразования в анализе. Классификация комплексных соединений. Координационное число, дентатность, хелаты, внутрикомплексные соединения. Ступенчатый характер комплексообразования. Количественные характеристики равновесия комплексообразования: общие и ступенчатые константы устойчивости и нестойкости; закомплексованность; степень образования, среднее координационное число. Факторы, влияющие на равновесие комплексообразования, управление этим процессом. Влияние концентрации свободного лиганда на равновесие. Определение минимальной концентрации лиганда, необходимой для достижения заданной закомплексованности. Диаграммы распределения комплексов разного состава. Влияние комплексообразования на процессы осаждения и растворения, кислотно-основное равновесие, окислительно-восстановительные свойства веществ в ходе анализа. Способы повышения чувствительности и селективности методик анализа с применением комплексообразования.

Функционально-аналитические группы. Влияние их природы, расположения, стереохимии молекул реагента на его взаимодействие с неорганическими ионами. Маскирование. Важнейшие органические реагенты, применяемые в анализе для разделения, обнаружения, определения ионов металлов, для маскирования и демаскирования.

Тема 7. *Окислительно-восстановительные реакции.* Применение редокс-реакций в анализе. Редокс-пара, редокс-переход и константа его равновесия. Обратимые и необратимые редокс-переходы. Стандартные и формальные редокс-потенциалы. Способы измерения и расчета равновесных редокс-потенциалов. Расчет констант равновесия через окислительно-восстановительные потенциалы. Направление редокс-процесса в растворе, предсказание этого направления с помощью потенциалов. Скорость и механизм редокс-процессов. Важнейшие окислители и восстановители, используемые в анализе; способы направленного изменения их силы. Факторы, влияющие на положение равновесия при проведении редокс-реакций в растворах, учет этих факторов при проведении анализа.

*Методы обнаружения и идентификации.* Действие групповых реагентов и частные реакции на катионы IV, V, VI аналитических групп. Разделение смеси катионов на группы действием групповых реагентов. Ход анализа смеси катионов IV–VI аналитических групп. Ионный обмен. Разделение катионов IV, V групп с помощью ионообменников. Сущность экстракции. Её применение для обнаружения и разделения ионов.

**Модуль 3.** Процессы осаждения и соосаждения. Экстракционные и сорбционные методы разделения и концентрирования.

Тема 8. *Процессы осаждения и соосаждения.* Использование процессов осаждения-растворения в химическом анализе. Равновесие в системе «раствор-осадок». Константы растворимости (термодинамические, концентрационные, условные) и растворимость малорастворимых соединений, взаимосвязь этих величин. Факторы, влияющие на растворимость осадков: температура, ионная сила раствора, присутствие одноименного иона, рН, природа растворителя; протекание реакций комплексообразования, окисления-восстановления и др. Возможность

разделения аналитов при варьировании концентрации осадителя. Дробное осаждение.

Необходимость разделения и концентрирования микропримесей, классификация методов по типу используемых фазовых равновесий. Количественные характеристики: коэффициент распределения, степень извлечения, степень разделения. Многоступенчатые процессы. Сочетание методов разделения и концентрирования с методами определения (гибридные методы). Разделение ионов при дробном осаждении. Соосаждение. Коллекторы – органические и неорганические. Основные приемы соосаждения.

Тема 9. *Экстракционные и сорбционные методы разделения и концентрирования.* Сорбция как способ концентрирования. Механизм сорбции. Сорбенты, используемые при концентрировании микропримесей. Активные угли. Ионообменные и хелатообразующие сорбенты. Понятие об ионообменной хроматографии. Кремнеземы.

Экстракция как метод разделения и концентрирования. Классификация экстракционных процессов. Основные законы и количественные характеристики. Закон Бертелло – Нернста. Факторы, влияющие на степень извлечения при однократной экстракции. Степень извлечения при многократной экстракции. Выбор рН экстракции. Важнейшие экстрагенты и требования к ним. Экстракционные реагенты при извлечении металлов. Экстракция хелатов: влияние концентрации реагента, величины рН. Практическое использование экстракции. Другие методы разделения и концентрирования: капиллярный электрофорез; методы испарения; управляемая кристаллизация.

*Методы обнаружения и идентификации.* Классификация анионов в качественном анализе. Действие групповых реагентов и частные реакции анионов I, II, III аналитических групп. Схема анализа смеси анионов. Схема анализа сухих солей и их смесей. Пробоподготовка и перевод в растворенное состояние.

**Модуль 4.** Введение в количественный анализ. Гравиметрический метод.

Тема 10. *Задачи и методы количественного анализа.* Аналитический сигнал. Экстенсивные и интенсивные свойства веществ. Измерение массы. Весы: аналитические, полумикро-, микровесы, лабораторные технические весы. Методы взвешивания, источники погрешностей при взвешивании. Техника взвешивания. Измерение объёмов. Виды мерной посуды: пипетки, бюретки, мерные колбы. Её назначение. Источники погрешностей при измерении объёмов.

Тема 11. *Гравиметрический метод анализа.* Сущность гравиметрического анализа, преимущества и недостатки метода. Осаждаемая и гравиметрическая формы; требования, предъявляемые к ним. Гравиметрический фактор. Механизм процесса осаждения. Образование и свойства коллоидных частиц. Коагуляция коллоидных растворов. Пептизация. Кристаллические и аморфные осадки. Зависимость структуры осадка от скорости образования первичных кристаллов, их роста. Процессы, приводящие к загрязнению осадков. Соосаждение: адсорбция и окклюзия, изоморфизм, последующее осаждение. Условия получения чистых осадков и гравиметрических форм. Техника осаждения. Относительное пересыщение. Условия получения крупнокристаллических и аморфных осадков. Осаждение из гомогенного раствора. Старение осадков. Повторное осаждение. Промывание осадков. Выбор промывной жидкости. Превращение в гравиметрическую форму. Важнейшие неорганические и органические осадители. Выбор осадителя. Количество и концентрация осадителя.

*Примеры практического применения гравиметрического метода анализа.* Анализ силикатов, доломитов, известняков, сплавов. Определение кремния, железа, кальция, магния, алюминия, никеля, серы, фосфора, хлора. Общее представление об

элементном анализе органических веществ с гравиметрическим окончанием. Термогравиметрический анализ.

**Модуль 5.** Титриметрические методы анализа. Кислотно-основное титрование (протолитометрия).

Тема 12. *Принцип титриметрического метода.* Требования, предъявляемые к реакциям в титриметрическом анализе. Точка эквивалентности. Способы определения точки эквивалентности. Конечная точка титрования (к.т.т.). Классификация титриметрических методов анализа. Способы титрования: прямое, обратное, заместительное, косвенное, инверсивное. Первичные стандарты и требования, предъявляемые к ним. Вторичные стандарты. Методы установления концентрации титрованных растворов: пипетирования и отдельных навесок.

*Способы выражения концентраций растворов в титриметрическом анализе:* молярная концентрация (вещества, эквивалентов вещества), титр (раствора, раствора по определяемому веществу, эмпирический). Эквивалент. Фактор эквивалентности. Молярная масса эквивалента. Виды кривых титрования. Скачок титрования. Эквивалентная часть кривой титрования.

*Погрешности титриметрии:* случайные, систематические, неисключенные систематические. Порядок расчета погрешности результата титриметрического анализа.

Тема 13. *Кислотно-основное титрование.* Принцип метода. Алкалиметрия, ацидиметрия. Приготовление и стандартизация рабочих растворов. Кривые титрования. Построение кривых титрования сильного протолита сильным протолитом, слабого протолита сильным протолитом, многопротонных протолитов, смеси сильного и слабого протолитов. Влияние величин констант кислотности или основности, концентрации кислот и оснований, температуры на характер кривых титрования. Кислотно-основные индикаторы, их действие. Показатель индикатора и интервал перехода окраски, показатель титрования. Причины изменения цветности индикаторов. Таутомерия органических молекул. Хромофоры, ауксохромы, таутомеры. Смешанные индикаторы. Индикаторные погрешности. Вычисление индикаторных погрешностей при титровании сильных и слабых протолитов. Кислотно-основное титрование в неводных средах. Полнота протекания кислотно-основных реакций в амфипротонных растворителях.

*Примеры практического применения.* Определение кислот (фосфорная, борная, угольная и др.) и оснований (гидроксиды натрия, аммония; карбонаты, гидрокарбонаты, тетрабораты натрия). Анализ смесей карбоната и гидрокарбоната натрия, карбоната и гидроксида натрия. Определение солей аммония (обратное, косвенное титрование), азота (метод Кьельдаля), нитратов и нитритов, гидрокарбонатной и постоянной жесткости воды.

**Модуль 6.** Окислительно-восстановительное титрование (редоксиметрия).

Тема 14. *Окислительно-восстановительное титрование (редоксиметрия).* Сущность и классификация методов редоксиметрии. Построение кривых титрования. Факторы, влияющие на характер кривых титрования: рН раствора, ионная сила, образование комплексных и малорастворимых соединений. Способы определения конечной точки титрования. Окислительно-восстановительные индикаторы и их выбор. Индикаторные погрешности. *Перманганатометрия.* Определение железа (II), марганца (II), оксалатов, пероксида водорода, нитритов. *Иодометрия и иодиметрия.* Система иод-иодид как окислитель или восстановитель. Сущность заместительного титрования при определении окислителей. Определение меди (II), железа (III), арсенитов, арсенатов, пероксидов. Определение кислот, воды. *Дихроматометрия.* Определение железа (II), урана (IV). *Броматометрия.* Определение сурьмы (III), олова (II), органических соединений (фенол, оксихинолин), магния (II). Ванадатометрия, цериметрия, титанометрия,

хромометрия. Рабочие растворы и первичные стандарты методов. Индикаторы. Определяемые вещества. Скорость и направление окислительно-восстановительных реакций. Каталитическое ускорение реакций, автокатализ. Индуцированные и сопряжённые реакции. Понятие об индукторе, акторе, акцепторе.

**Модуль 7.** Комплексометрическое и осадительное титрование (комплексометрия и седиметрия). Кинетические методы анализа.

Тема 15. *Комплексометрия.* Неорганические и органические титранты в комплексометрии. Использование аминополикарбоновых кислот в комплексометрии. Способы определения конечной точки титрования. Металлохромные индикаторы. Методы титрования в комплексометрии: прямое, обратное, заместительное и косвенное. Построение кривых титрования. Применение комплексометрии. Определение кальция, магния, железа, алюминия, меди, цинка. Определение анионов. Меркуриметрия. Определение хлорид-ионов.

*Осадительное титрование.* Способы установления конечной точки титрования: метод Мора, метод Фольгарда, метод Фаянса (титрование с адсорбционными индикаторами). Построение кривых титрования. Примеры практического применения. Аргентометрия и меркурометрия. Определение галогенид-ионов.

Тема 16. *Кинетические и биохимические методы анализа.* Скорость химической реакции как аналитический сигнал. Каталитические и некаталитические кинетические методы анализа, их чувствительность и селективность. Определение концентрации реагентов с использованием кинетических данных. Преимущества и ограничения кинетических методов анализа по сравнению с равновесными. Ферменты как биологические катализаторы. Общее представление о ферментативных методах анализа. Примеры определения ферментов, субстратов, активаторов и ингибиторов ферментов по скорости реакций с их участием. Практическое применение ферментативных методов в клиническом анализе и в анализе объектов окружающей среды.

Общее представление о биохимических методах анализа. Использование ферментов, ДНК, РНК, антител, живых клеток и микроорганизмов в анализе (в частности, в виде тест-методов). Иммуноанализ и иммуноферментный анализ. Биосенсоры. Принципы функционирования и области применения биосенсоров. Классификация биосенсоров по природе биологического компонента и типу преобразователя сигнала (потенциометрические, амперометрические, оптические и другие сенсоры). Примеры применения биосенсоров. Общее представление о биологических методах анализа.

**Модуль 8.** Физико-химические методы анализа

Тема 17. *Физико-химические методы анализа. Хроматографические методы.* Основные принципы и классификация хроматографических методов. Теоретические основы хроматографии. Способы получения хроматограмм. Основные хроматографические параметры. Газовая хроматография. Варианты метода. Неподвижные и подвижные фазы. Примеры практического применения. Жидкостная хроматография. Неподвижные и подвижные фазы. Ионная хроматография. Основные представления о механизме ионного обмена. Варианты ионной хроматографии. Использование ионной хроматографии для анализа различных объектов. Бумажная и тонкослойная хроматографии. Теоретические основы методов. Техника получения хроматограмм. Примеры практического применения.

*Электрохимические методы.* Теоретические основы электрохимических методов анализа (ЭХМА). Классификация методов. *Кондуктометрия и кондуктометрическое титрование.* Факторы, влияющие на электропроводность. Кривые кондуктометрического титрования для реакций нейтрализации, осаждения, комплексообразования. *Ионометрия и потенциометрическое титрование.*



Классификация электродных систем. Методы обработки кривых потенциометрического титрования. Основные понятия электрохимической кинетики (ток, перенапряжение, стадии электрохимического процесса). *Амперометрическое титрование с двумя поляризованными электродами*. Электрохимически обратимые и необратимые системы. Виды кривых амперометрического титрования. *Кулонометрическое титрование при постоянном токе*.

### 9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, выполнения индивидуальных домашних заданий, сдачи модулей, включающих теоретические вопросы и расчётные задания по темам, рубежного тестирования, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Текущий контроль осуществляется с применением модульной балльно-рейтинговой системы. Курс аналитической химии состоит из 3 частей и 8 модулей. Максимальный рейтинг по каждой части курса «Аналитическая химия» – 2000 баллов, текущий контроль – 1360 баллов.

Часть I. «Типы химических реакций и процессов. Методы обнаружения и идентификации, разделения и концентрирования». Текущий контроль распределен: лабораторные, практические занятия – 600 баллов; модули – 760 баллов.

Часть II. «Количественный анализ. Химические методы» Текущий контроль распределен: лабораторные, практические занятия – 560 баллов; модули – 800 баллов.

Часть III. «Количественный анализ. Физико-химические методы».

Организация работ при модульной балльно-рейтинговой системе оценки знаний:

– Посещение лекций и других видов занятий обязательно, за исключением случаев перевода студентов на индивидуальное обучение по решению Совета ХФ.

– Студент должен выполнить все виды работ; исключается вариант набора необходимого балла за счет успешной сдачи других заданий.

– Работа или ее раздел считается принятой, если она выполнена не менее чем на 60 %.

– Студент, не присутствующий на семинарском занятии по уважительной причине, может сдать пропущенную тему на оценку в ближайшее занятие или во время консультации путем решения задач. Пересдача темы не разрешается.

– Каждый студент обязан сдать модуль в пределах указанного срока, по истечении которого результат сдачи учитывается с соответствующим коэффициентом ( $K$ ) по рейтингу: позднее установленного времени без уважительной причины, либо первичная пересдача на положительную оценку –  $K = 0,8$ ; пересдача во второй раз –  $K = 0,5$ .

– В конце семестра проводится рубежное тестирование по основным вопросам курса. Студенты, успешно ответившие на вопросы теста (набравшие не  $< 75$  % баллов), могут повысить свой рейтинг: на 30 баллов при наборе 75-85 %, на 40 баллов при наборе 85-100 % баллов теста.

Примеры контрольных вопросов (модуль 1):

1. Принципы расчета химических равновесий.

2. Какие соединения в водном растворе являются кислотами, а какие основания с точки зрения теории Бренстеда-Лоури:  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{HCOOH}$ ,  $\text{NH}_3$ ? Укажите сопряженные пары.

3. Составьте схему анализа смеси катионов:  $\text{K}^+$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Hg}_2^{2+}$ . Напишите реакции.

4. Предел обнаружения ионов калия в виде  $K_2Na[Co(NO_2)_6]$  равен 20 мкг/мл. Можно ли использовать эту реакцию для контроля ионов  $K^+$  в сточных водах, если концентрация калия в них не превышает  $5 \cdot 10^{-5}$  моль/л?

5. Рассчитайте и сравните степень диссоциации 0,1 М бензойной кислоты при pH 1 и pH 8. Покажите, в какой преимущественно форме будет находиться бензойная кислота при указанных значениях pH.

6. Концентрации водных растворов  $CH_3COONa$ ,  $NaHCO_3$ ,  $C_6H_5COONH_4$ ,  $CH_3COONH_4$  равны. Запишите уравнения диссоциации брэнстедовых кислот и оснований. Какой из растворов будет иметь минимальное значение pH?

Примеры контрольных вопросов (модуль 5):

1. Классификация титриметрического метода анализа по типу химической реакции, лежащей в основе определения.

2. Определение устранимой (карбонатной) и постоянной жёсткости воды.

3. Первичные и вторичные стандарты метода кислотно-основного титрования. Напишите уравнения реакций, укажите факторы эквивалентности.

4. Рассчитайте pH при титровании раствора  $H_3PO_4$  раствором  $NaOH$ , если к 100 мл 0,1М  $H_3PO_4$  прибавлено 125,00 мл 0,1М  $NaOH$ .

5. Образец, содержащий  $BaCl_2 \cdot 2H_2O$  растворили и к раствору добавили избыток  $K_2CrO_4$ . После выделения осадка  $BaCrO_4$  его отфильтровали и растворили для превращения  $CrO_4^{2-}$  в  $Cr_2O_7^{2-}$ . К полученному раствору добавили избыток  $KJ$  и на титрование выделившегося иода израсходовали 48,7 мл раствора тиосульфата с концентрацией 0,1370 моль/л. Рассчитайте массовую долю (%)  $BaCl_2 \cdot 2H_2O$  в образце, если для анализа взяли навеску 0,6460 г.

6. Вычислите индикаторную погрешность титрования раствора ванадия (III) раствором  $K_2Cr_2O_7$  в сернокислой среде при pH=0 в присутствии индикатора ферроина ( $E_{Ind}^o = 1,06V$ ).

Примеры тестовых заданий:

1. Влияние ионной силы раствора нужно учитывать при расчете равновесий в водном растворе...

- А) 0,1 М КОН
- Б) 0,5 М  $NH_4OH$
- В) 0,001 LiOH
- Г) 0,1 М  $CH_3CH_2COOH$

2. Реакцию автопротолиза растворителя следует учитывать при расчете равновесных концентраций ионов в водных растворах ...

- А)  $2 \cdot 10^{-4}$  М КОН
- Б) 0,1 М HCl
- В)  $5 \cdot 10^{-7}$  М КОН
- Г) 0,05 М  $NH_4OH$

3. Гравиметрический множитель при определении Mg(II) в виде  $Mg_2P_2O_7$ :

- а)  $\frac{M(Mg_2P_2O_7)}{2M(Mg^{2+})}$ ; б)  $\frac{M(Mg)}{M(Mg_2P_2O_7)}$ ;
- в)  $\frac{M(Mg_2P_2O_7)}{M(Mg^{2+})}$ ; г)  $\frac{2M(Mg)}{M(Mg_2P_2O_7)}$ .

4. Соответствие между кислотностью среды и состоянием ЭДТА:

- а) pH 2-3; а)  $HY^{3-}$ ;
- б) pH 7-9; б)  $Y^{4-}$ ;
- в) pH 4-5; в)  $H_4Y$ ;

г) рН 10-12;

г)  $\text{H}_2\text{Y}^{2-}$ .

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

Текущий контроль влияет на промежуточную аттестацию. Текущий контроль проверяет компетенции ОПК-6. Студенты, набравшие от общего числа баллов за текущий контроль (1360 баллов) не менее 90% (1224 балла) и не менее 80% баллов за тестирование, получают оценку «отлично» без экзамена.

Студенты, набравшие в условиях модульной балльно-рейтинговой системы менее 90% (<1224 балла), получают зачёт и сдают экзамен. Экзамен проводится в устной форме по билетам. Билет включает теоретические вопросы (2-4) и две задачи. Время для подготовки: 1,5 часа.

Структура экзаменационного билета соответствует компетентностной структуре дисциплины. Теоретические задания проверяют ОПК-1. Расчётные задания направлены на проверку компетенций ОПК-2, ОПК-4. Ответы предполагают решение задач и краткую интерпретацию полученных результатов.

Пример образца экзаменационного билета (3 семестр)

1. Классификация растворителей. Константа автопротолиза.
2. Закон действия масс, границы его применимости. Константа равновесия, равновесные концентрации.
3. Реакции комплексообразования в аналитической химии. Комплексы катионного и анионного типа. Номенклатура.
4. Напишите реакции группового реагента с ионами  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ .
5. Вычислите значение реального (формального) потенциала  $E^0$  в случае редокс-перехода  $\text{MnO}_4^- + 5e + 8\text{H}^+ = \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$  в растворе с рН 1 при ионной силе  $I = 0,1$  ( $E^0_{\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}} = 1,51 \text{ В}$ ).
6. Чему равны рН и емкость буферного раствора - π, состоящего из 0,1 М раствора фталевой кислоты  $\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2$  и 0,05 М бифталата калия  $\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})(\text{COOK})$ ? ( $K_{1,\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2} = 1,2 \cdot 10^{-3}$ ;  $K_{2,\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2} = 3,9 \cdot 10^{-6}$ ).

Пример образца экзаменационного билета (4 семестр)

1. Почему комплексонометрическое определение ионов  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  проводят в среде аммиачного буфера? Напишите химическую реакцию титрования катиона раствором ЭДТА в данных условиях (для любого катиона). Как влияет эта среда на величину скачка на кривой комплексонометрического титрования? Ответ обоснуйте и проиллюстрируйте графическим рисунком.
2. Дана окислительно-восстановительная реакция:  
 $\text{NO}_3^- + \text{J}^- + \text{H}^+ \Leftrightarrow \text{NO} + \text{J}_2 + \text{H}_2\text{O}$ . Напишите полуреакции и расставьте коэффициенты в общей реакции. Определите  $f_{\text{экв}}$  и эквиваленты участников реакции. Дайте название методу, в основе которого лежит данная реакция. Какой способ титрования при этом используется? Приведите формулу, по которой можно рассчитать содержание определяемого иона (г/л). Рассчитайте потенциал в точке эквивалентности.
3. Можно ли использовать индикатор 2-нитрофенол ( $pT=4$ ) при титровании 0,05 М раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$  0,05 М раствором  $\text{HCl}$ , чтобы погрешность титрования не превышала  $\pm 0,2\%$ ?
4. Во сколько раз растворимость  $\text{BaSO}_4$  в дистиллированной воде больше, чем в промывной жидкости, приготовленной смешиванием 200 мл воды и 2 мл 1 М раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ?

Балл, полученный за экзамен (максимально 640 баллов), складывается с суммой баллов, набранных за текущий контроль в семестре, и за результат

тестирования, затем выставляется оценка в соответствии со шкалой (таблица) от максимального балла 2000 по всем видам контроля.

#### Итоговая шкала оценивания

Количество баллов	Оценка	Вывод о сформированных компетенциях
1800–2000	Отлично	Компетенции сформированы полностью
1500–1799	Хорошо	Компетенции сформированы частично
1200–1499	Удовлетворительно	Компетенции сформированы фрагментарно
<1200	Неудовлетворительно	Компетенции не сформированы

### 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=28479>  
<https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=23511>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

г) Методические указания по проведению лабораторных работ.

д) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

### 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

– Основы аналитической химии: учебник для студентов вузов. Т. 1. Общие вопросы. Методы разделения / под ред. Ю. А. Золотова. - 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Академия, 2012. – 416 с.

– Основы аналитической химии: учебник для студентов вузов. Т. 2. Методы химического анализа / под ред. Ю. А. Золотова. - 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Академия, 2012. – 384 с.

– Основы аналитической химии: задачи и вопросы / под ред. Ю. А. Золотова. - 3-е изд., испр. и доп. – М. : Лаборатория знаний, 2020. – 416 с.

– Кристиан Г. Аналитическая химия Т. 1,2 / Кристиан Г; пер. с англ. А. В. Гармаша, Н. В. Колычевой, Г. В. Прохоровой; – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009.

– Миомандр Ф., Садки С. и др. Электрохимия. – М. : Техносфера, 2008. – 360 с.

– F. Scholz, H. Kahlert Chemische Gleichgewichte in der Analytischen Chemie. Die Theorie der Säure-Base-, Komplexbildungs-, Fällungs- und Redoxgleichgewichte. –Springer. 2018. – 260 p.

– Шелковников В. В., Баталова В. Н., Зарубин А.Г. Электрохимические методы анализа. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2011.

– Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии. – М. : ИД «Альянс», 2014. – 448 с.

б) дополнительная литература:

– Аналитическая химия: учебник для студентов вузов. В 3 т. Т.3: Химический анализ / под ред. Л. Н. Москвина. - М. : Академия, 2010.

– Вершинин В. И., Власова И. В., Никифорова И. А. Аналитическая химия. – М. : Издательский центр «Академия», 2011.

– Васильев В. П. Аналитическая химия: учебник для студентов вузов. Кн. 1: Титриметрические и гравиметрические методы анализа / Васильев В. П. - 6-е изд., стер. – М. : Дрофа, 2007. – 268 с.

– Васильев В. П. Аналитическая химия: учебник для студентов вузов. Кн. 2: Физико-химические методы анализа / Васильев В.П. – 6-е изд., стер. – М. : Дрофа, 2007. – 384 с.

– R. G. Compton, J. D. Wadhawan Electrochemistry. RSC Publishing, 2013. Vol.11 : Nanosystems Electrochemistry. <http://pubs.rsc.org/en/Content/eBook/978-1-84973-401-1#!divbookcontent>

– Biosensors: Essentials electronic resource / by G. Evtugyn. Berlin, Imprint: Springer. 2014. 265 p. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-40241-8>

– Марьянов Б. М. Расчеты ионных равновесий: Пособие по аналитической химии. –Томск : Изд-во Том. ун-та, 2006.

– Москвин Л. Н., Родинков О. В. Методы разделения и концентрирования в аналитической химии. Долгопрудный: Интеллект, 2011. – 352 с.

в) ресурсы сети Интернет:

– Anchem.ru chemport.ru eLIBRARY.ru sciencedirect.com springerlink.com; <http://www.wssanalytchem.org> – портал «Аналитическая химия в России

– Программа «Origin Pro 8» для статистической обработки результатов аналитического определения, рекомендации к использованию программы на сайте: <http://www.OriginLab.com>

– Структуры органических соединений: программа ChemSketch

– Электронный учебно-методический комплекс:

1) Петрова Е. В., Гудымович Е. Н., Киселева М. А., Наумова Л. Б., Скворцова Л. Н., Шелковников В. В. «Расчеты ионных равновесий. Методы идентификации и разделения в аналитической химии». Томск, 2011. <https://moodle.tsu.ru/mod/url/view.php?id=533190>

2) Скворцова Л. Н., Петрова Е. В., Баталова В. Н., Гудымович Е. Н., Киселева М. А., Наумова Л. Б., Шелковников В. В. «Методы количественного химического анализа». Томск, 2011. <https://moodle.tsu.ru/mod/url/view.php?id=271982>

3) Шелковников В. В., Петрова Е. В., Баталова В. Н., Киселева М. А., Отмахов В. И., Скворцова Л. Н., Зарубин А. Г. «Физико-химические методы анализа». Томск, 2011. <http://edu.tsu.ru/eor/resource/557/tpl/index.html>

4) Шелковников В. В. «Электрохимические методы анализа». Томск, 2007. [http://ido.tsu.ru/iop\\_res1/electrohimmehod/](http://ido.tsu.ru/iop_res1/electrohimmehod/)

### 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 OneNote, 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, оборудованные лабораторной мебелью, посудой, приборами и химическими реактивами, необходимыми для выполнения запланированных в рабочей программе лабораторных работ.

Лаборатории оснащены вытяжными шкафами, приборами и специальным оборудованием: лабораторный комплекс «Электрохимический стенд», кондуктометр, рН-метр-милливольтметр рН-121, РР-15, озонирующее устройство «Озонид», программируемая муфельная печь-плитка типа «ПДП-Аналитика», аналитические весы АДВ-200.

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

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

Петрова Елена Васильевна, канд. хим. наук, доцент, кафедра аналитической химии Национального исследовательского Томского государственного университета, доцент

Скворцова Лидия Николаевна, канд. хим. наук, доцент, кафедра аналитической химии Национального исследовательского Томского государственного университета, доцент

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