

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана химического факультета,
профессор РАН



/С.С. Карлов/

«20» августа 2025 г.

ОЦЕНОЧНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ (ФОС)

для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю):

Аналитическая химия

Уровень высшего образования:

Бакалавриат

Направление подготовки (специальность):

04.03.01 Химия

Направленность (профиль) ОПОП:

Общая химия

Форма обучения:

очная

ФОС рассмотрен и одобрен
Учебно-методической комиссией факультета
(протоколы №3 от 13.05.2019, №23 от 25.03.2025 г.)

Москва 2025

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с ФГОС ВО для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки / специальности 04.03.01 «Химия» (программа бакалавриата), утвержденного приказом Минобрнауки от 17 июля 2017 г. №671. Направленность (профиль) основной профессиональной образовательной программы высшего образования, реализуемой в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом, утвержден приказом МГУ № 1061-19/010-ОСН от 30.08.2019 г.

Год (годы) приема на обучение 2022, 2023, 2024, 2025

1. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля) Аналитическая химия

Компетенция	Индикаторы достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<p>ОПК-1 (на уровне бакалавриата). Способен анализировать и интерпретировать результаты химических экспериментов, наблюдений, измерений</p>	<p>ОПК-1.1. Воспринимает информацию химического содержания, систематизирует и анализирует ее, оценивает актуальность и степень новизны данных</p>	<p>Знать: основные закономерности химических равновесий и процессов в гомогенных и гетерогенных системах Знать: теоретические основы химических и современных инструментальных методов анализа, области их практического применения</p>
	<p>ОПК-1.2. Предлагает интерпретацию результатов собственных экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии</p>	<p>Уметь: формулировать и решать конкретные задачи на основе законов и закономерностей, освоенных в курсе аналитической химии</p>
	<p>ОПК-1.3. Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности</p>	<p>Уметь: формулировать заключения и выводы по результатам анализа литературных и собственных экспериментальных данных в области аналитической химии</p>
<p>ОПК-2 (на уровне бакалавриата). Способен проводить с соблюдением норм техники безопасности химический эксперимент, включая синтез, анализ, изучение структуры и свойств веществ и материалов, исследование процессов с их участием</p>	<p>ОПК-2.1. Работает с химическими веществами с соблюдением норм техники безопасности</p>	<p>Знать: правила техники безопасности при работе в химической лаборатории Уметь: работать с химическими веществами с соблюдением норм техники безопасности</p>
	<p>ОПК-2.3. Проводит стандартные операции для определения химического и фазового состава веществ и материалов на их основе</p>	<p>Уметь: корректно интерпретировать результаты определения химического и фазового состава веществ и материалов различной природы Владеть: техникой аналитического эксперимента Владеть навыками работы на современных аналитических приборах</p>
<p>ОПК-3 (на уровне бакалавриата). Способен применять расчётно-теоретические методы для изучения свойств</p>	<p>ОПК-3.1. Систематизирует и анализирует результаты химических экспериментов, наблюдений, измерений</p>	<p>Знать: требования к оформлению и представлению результатов аналитических работ Уметь: проводить математическую обработку данных химического анализа, обобщать полученные результаты</p>

веществ и процессов с их участием с использованием современной вычислительной техники		Владеть: простейшими расчетными методами решения аналитических задач
	ОПК-3.2 Проводит обработку данных с использованием современной вычислительной техники	Знать: основные базы данных химического профиля Знать: современные подходы к обработке и представлению результатов химического анализа Уметь: применять вычислительные технологии при обработке и представлении результатов химического анализа Уметь: корректно составлять поисковый запрос информации химического содержания Владеть: навыками работы с профессиональными базами данных химического профиля
	ОПК-3.3. Оценивает возможные источники ошибок при проведении эксперимента и корректность полученных данных	Уметь: оценивать возможные источники ошибок и корректность полученных данных
ОПК-6 (на уровне бакалавриата).. Способен представлять результаты своей работы в устной и письменной форме в соответствии с нормами и правилами, принятыми в профессиональном сообществе	ОПК-6.1. Представляет результаты работы в виде отчета по стандартной форме на русском языке	Знать: требования к оформлению и представлению результатов работ в области аналитической химии Владеть: навыками оформления протоколов химического анализа

2. Оценочные средства для текущего контроля и самостоятельной работы

2.1. Текущий контроль

Вопросы к коллоквиумам.

1 коллоквиум. Равновесие в гомогенных системах. Кислотно-основное равновесие. Кислотно-основное титрование.

Константы равновесия реакций и процессов. Ионное состояние вещества в идеальных и реальных системах. Структура растворителей и раствора. Сольватация, ионизация, диссоциация. Поведение электролитов и неэлектролитов в растворах. Теория Дебая-Хюккеля.

Термодинамическая константа равновесия. Активность и коэффициент активности. Концентрационные константы. Общая и равновесная концентрации. Условные константы.

Кисотно-основное равновесие. Современные представления о кислотах и основаниях. Теория Льюиса. Теория Бренстеда-Лоури. Равновесие в системе кислота - сопряженное основание - растворитель. Константы кислотности и основности. Кислотные и основные свойства растворителей. Константа автопротолиза. Влияние природы растворителя на силу кислоты и основания. Нивелирующий и дифференцирующий эффекты растворителя.

Кисотно-основное равновесие в многокомпонентных системах. Буферные растворы и их свойства. Буферная емкость. Вычисление рН растворов одно- и многоосновных кислот и оснований, смесей кислот и оснований. Графическое описание кислотно-основного равновесия (распределительные диаграммы).

Титриметрические методы. Классификация методов. Требования, предъявляемые к реакции в титриметрическом анализе. Прямое, обратное и косвенное титрование. Способы выражения концентраций растворов в титриметрии. Эквивалент. Молярная масса эквивалента. Первичные стандартные растворы, требования к ним. Вторичные стандартные растворы. Виды кривых титрования. Скачок титрования. Точка эквивалентности и конечная точка титрования.

Кислотно-основное титрование. Построение кривых титрования. Влияние величин констант кислотности или основности, концентрации кислот или оснований, температуры на характер кривых титрования. Кислотно-основное титрование в неводных средах. Кислотно-основные индикаторы. Погрешности титрования при определении сильных и слабых кислот и оснований, многоосновных кислот и оснований.

Практическое применение. Первичные стандартные растворы для установления концентрации растворов кислот и оснований. Приготовление и стандартизация растворов соляной кислоты и гидроксида натрия. Титрование кислот, оснований, смесей кислот и смесей оснований. *Анализ смесей карбоната и гидрокарбоната натрия, карбоната и гидроксида натрия. Определение солей аммония и азота по методу Кьельдаля. Определение нитратов и нитритов.*

2 коллоквиум. Равновесия реакций комплексообразования и окисления-восстановления. Комплексометрическое и окислительно-восстановительное титрование.

Комплексообразование. Основные признаки комплексных соединений. Координационное число. Дентатность. Классификация комплексных соединений по характеру взаимодействия металл-лиганд, по однородности лиганда и комплексообразователя: внутрисферные и внешнесферные, однороднолигандные и смешаннолигандные, полиядерные комплексы. Хелаты, внутрикомплексные соединения. Свойства комплексных соединений, имеющие аналитическое значение: устойчивость, растворимость, окраска, летучесть.

Ступенчатое комплексообразование. Количественные характеристики реакций образования комплексных соединений: константы устойчивости (ступенчатые и общие), функция и степень образования. Скорость реакций комплексообразования. Факторы, влияющие на устойчивость комплексов. Хелатный эффект.

Органические реагенты. Функционально-аналитические группы. Влияние структуры органических реагентов на их свойства. Роль различных функциональных групп. Теории взаимодействия ионов металлов с неорганическими и органическими реагентами. Важнейшие органические реагенты, применяемые в анализе.

Влияние комплексообразования на кислотно-основные и окислительно-восстановительные свойства соединений, растворимость, стабилизацию различных степеней окисления элементов. Возможности использования комплексных соединений в различных методах анализа.

Окислительно-восстановительные реакции. Электродный потенциал. Уравнение Нернста. Стандартный и формальный потенциалы. Влияние электростатических и химических взаимодействий на потенциал: ионной силы, pH, образования комплексных и малорастворимых соединений. Константы равновесия и направление окислительно-восстановительного процесса. Факторы, влияющие на направление окислительно-восстановительных реакций. Понятие о смешанном потенциале. Механизмы окислительно-восстановительных реакций. Основные окислители и восстановители, применяемые в анализе.

Комплексометрическое титрование. Неорганические и органические титранты в комплексометрии. Использование аминополикарбоновых кислот в комплексометрии. Построение кривых титрования. Металлохромные индикаторы и требования, предъявляемые к ним. Важнейшие универсальные и специфические металлохромные индикаторы. Прямое, обратное, вытеснительное и косвенное титрование. Селективность титрования и способы ее повышения. Погрешность титрования.

Практическое применение.

Окислительно-восстановительное титрование. Построение кривых титрования. Факторы, влияющие на характер кривых титрования: концентрация ионов водорода, комплексообразование, ионная сила. Способы определения конечной точки титрования. Индикаторы. Погрешность титрования. Методы окислительно-восстановительного титрования.

Перманганатометрия. Иодометрия и иодиметрия. Система иод-иодид как окислитель или восстановитель. Бихроматометрия. Броматометрия, цериметрия, ванадатометрия, титанометрия. Первичные и вторичные стандарты. Индикаторы. Определение неорганических и органических соединений.

Скорость реакций в химическом анализе. Быстрые и медленные реакции. Элементарные стадии реакции. Скоростьюопределяющая стадия. Кинетические уравнения. Молекулярность и порядок реакций. Факторы, влияющие на скорость реакций. Катализаторы, ингибиторы. Автокаталитические реакции. Индуцированные и сопряженные реакции. Понятие об индукторе, акторе, акцепторе. Индукционный фактор. Примеры ускорения и замедления реакций и процессов, используемых в химическом анализе.

3 коллоквиум. Равновесие в системе осадок - раствор. Гравиметрический метод. Методы разделения и концентрирования: осаждение и экстракция. Пробоотбор и пробоподготовка.

Равновесие в системе осадок - раствор. Произведение растворимости. Правило произведения растворимости. Растворимость. Факторы, влияющие на растворимость: температура, ионная сила, присутствие одноименного иона, конкурирующие реакции, структура и размер частиц.

Гравиметрический метод. Сущность гравиметрического анализа, преимущества и недостатки. Требования к осаждаемой и гравиметрической формам. Образование осадка. Образование и свойства коллоидных частиц. Кристаллические и аморфные осадки. Зависимость структуры осадка от его индивидуальных свойств (растворимости, полярности молекул) и условий осаждения (концентрации осаждаемого иона и осадителя, солевого состава раствора и pH, температуры). Зависимость формы осадка от скорости образования первичных частиц, их роста. Условия получения кристаллических и аморфных осадков. Гомогенное осаждение. Старение осадка. Причины загрязнения осадка (совместное осаждение, соосаждение, последующее осаждение). Классификация различных видов соосаждения (адсорбция,

окклюзия, изоморфизм и др.). Способы уменьшения сосаждения. Положительное и отрицательное значения явления сосаждения в анализе. Погрешности в гравиметрическом анализе. Изменения состава осадка при высушивании и прокаливании.

Практическое применение. Прямые и косвенные методы определения. Важнейшие органические и неорганические осадители.

Методы разделения и концентрирования. Роль в химическом анализе, выбор и оценка. Сочетание методов разделения и концентрирования с методами определения; гибридные методы. Разделение сопоставимых количеств элементов и отделение малых количеств от больших. Одноступенчатые и многоступенчатые процессы разделения. Константы распределения. Коэффициент распределения. Степень извлечения. Фактор разделения. Коэффициент концентрирования.

Осаждение. Применение неорганических и органических реагентов для осаждения. Способы разделения путем варьирования pH, образования комплексных соединений и проведения окислительно-восстановительных реакций. Групповые реагенты и предъявляемые к ним требования. Характеристики малорастворимых соединений, наиболее часто используемых в анализе. Концентрирование микроэлементов сосаждением с неорганическими и органическими коллекторами.

Экстракция. Теоретические основы. Закон распределения. Классификация экстракционных процессов. Скорость экстракции. Типы экстракционных систем. Условия экстракции неорганических и органических соединений. Реэкстракция. Природа и характеристика экстрагентов.

Разделение элементов методом экстракции. Основные органические реагенты, используемые для разделения элементов методом экстракции. Селективное разделение элементов методом подбора органических растворителей, изменения pH водной фазы, маскирования и демаскирования. Приборы для экстракции.

Пробоотбор и пробоподготовка. Представительность пробы; проба и объект анализа; проба и метод анализа. Факторы, обуславливающие размер и способ отбора представительной пробы. Отбор проб гомогенного и гетерогенного состава. Способы получения средней пробы твердых, жидких и газообразных веществ; устройства и приемы, используемые при этом; первичная обработка и хранение проб; дозирующие устройства.

Основные способы переведения пробы в форму, необходимую для выбранного вида анализа: растворение в различных средах; спекание, сплавление, разложение под действием высоких температур, давления, высокочастотного разряда; комбинирование различных приемов; особенности разложения органических соединений. Способы устранения и учета загрязнений и потерь компонентов при пробоподготовке.

Образцы задач вариантов контрольных работ

Химическое равновесие

1. Рассчитайте активности ионов калия и сульфата в 0,0200 М растворе сульфата калия.
2. Термодинамическая константа диссоциации азотистой кислоты равна $6,2 \cdot 10^{-4}$. Рассчитайте реальную константу диссоциации кислоты в растворе с ионной силой 0,10.
3. Рассчитайте равновесную концентрацию сульфит-иона в 0,0500 М растворе сульфита калия при pH 7,00.

Для H_2SO_3 : $K_{a,1} = 1,4 \cdot 10^{-2}$, $K_{a,2} = 6,2 \cdot 10^{-8}$

4. При каком pH равновесная концентрация карбонат-иона в 0,0100 М растворе карбоната натрия равна 0,0080 М?

Для H_2CO_3 : $K_{a,1} = 4,5 \cdot 10^{-7}$, $K_{a,2} = 4,8 \cdot 10^{-11}$

5. Рассчитайте общую концентрацию оксалата натрия, обеспечивающую равновесную концентрацию оксалат-иона $2 \cdot 10^{-3}$ М при pH 3,00.

Для $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$: $K_{a,1} = 5,6 \cdot 10^{-2}$, $K_{a,2} = 5,4 \cdot 10^{-5}$

Кислотно-основное равновесие и кислотно-основное титрование

1. Рассчитайте pH раствора, полученного смешением 20,0 мл 0,0500 М HCl и 20,0 мл раствора, в котором $[\text{HCO}_3^-] = 0,1000$ моль/л.

Для H_2CO_3 : $K_{a,1} = 4,5 \cdot 10^{-7}$, $K_{a,2} = 4,8 \cdot 10^{-11}$.

2. Каков состав карбонатного буфера, способного обеспечить постоянство pH = $10,00 \pm 0,05$ при добавлении к 200,0 мл его 0,0050 моль сильного основания или кислоты? Для H_2CO_3 : $K_{a,1} = 4,5 \cdot 10^{-7}$, $K_{a,2} = 4,8 \cdot 10^{-11}$.

3. Сколько граммов твердого формиата натрия следует добавить к 0,200 л безводной муравьиной кислоты ($\text{p}K_{\text{SH}} = 6,7$), чтобы pH полученного раствора составил 5,0? Ионную силу не учитывать.

4. Вычислить интервал изменения pH буферного раствора 0,4000 М по NaHCO₃ и 0,5000 М по Na₂CO₃, если к 100,0 мл его добавить: а) 10,00 ммоль HCl; б) 40,00 ммоль NaOH. Для H_2CO_3 : $K_{a,1} = 4,5 \cdot 10^{-7}$, $K_{a,2} = 4,8 \cdot 10^{-11}$.

5. При титровании 0,0100 М раствора HCl 0,0100 М NaOH использовали индикаторы фенолфталеин ($\text{p}T=9,0$) и метиловый оранжевый ($\text{p}T=4,0$). Покажите расчетами, какой из индикаторов использовать целесообразнее.

6. Какой индикатор даст возможность оттитровать 0,1000 М раствор NH₃ 0,1000 М раствором HCl с меньшей погрешностью: метиловый оранжевый ($\text{p}T=4,0$) или метиловый красный ($\text{p}T=5,0$)? Подтвердите расчетами индикаторных погрешностей. Для NH₃: $K_b = 1,76 \cdot 10^{-5}$

Окислительно-восстановительное равновесие и окислительно-восстановительное титрование

1. Вычислите равновесные концентрации ионов Fe²⁺, Fe³⁺, Mn²⁺, MnO_4^- в растворе, полученном при смешивании 20 мл 0.1 М раствора KMnO₄ и 20 мл 0.1 М раствора FeSO₄ при pH 0. $E_{\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}}^0 = 1.51\text{В}$, $E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}}^0 = 0.77\text{В}$.

2. Рассчитайте константу равновесия реакции между ионами BrO_3^- и Br⁻ при pH 2.0. Укажите фактор эквивалентности окислителя. $E_{\text{BrO}_3^-/\text{Br}_2}^0 = 1.52\text{В}$, $E_{\text{Br}_2/2\text{Br}^-}^0 = 1.09\text{В}$.

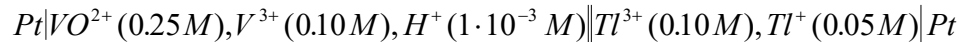
3. Рассчитайте константу равновесия реакции между ионами IO_3^- и I⁻ в растворе, в котором потенциал водородного электрода равен -0.30В. При каком значении pH реакция не происходит ($K \leq 1$)?

$E_{\text{IO}_3^-/\text{I}_2}^0 = 1.17\text{В}$, $E_{\text{I}_2/2\text{I}^-}^0 = 0.54\text{В}$.

4. Может ли железо(III) окислить иодид-ион в 1М растворе фторида натрия? Ответ подтвердите расчетами.

$$E_{I_2/2I^-}^0 = 0.54V; \quad E_{Fe^{3+}/Fe^{2+}}^0 = 0.77V; \quad \beta_{FeF_6^{3-}} = 1.26 \cdot 10^6$$

5. Рассчитайте ЭДС ячейки:



и укажите, является она гальваническим элементом или электролитической ячейкой. $E_{VO^{2+}/V^{3+}}^0 = 0.36V$, $E_{Ti^{3+}/Ti^+}^0 = 1.25V$.

$$E_{инд}^0 = 0.30V, \quad E_{TiO^{2+}/Ti^{3+}}^0 = 0.10V, \quad E_{Fe^{3+}/Fe^{2+}}^0 = 0.77V$$

Равновесие в растворах комплексных соединений и комплексометрическое титрование

1. сколько моль NaF нужно ввести в 100 мл $1 \cdot 10^{-3}$ М раствор $LaCl_3$ при pH 3,0, чтобы понизить концентрацию La^{3+} до $1 \cdot 10^{-6}$ М?

$$\lg \beta_{LaF^{2+}} = 3.56; \quad K_{HF}^a = 6.8 \cdot 10^{-4}.$$

2. Рассчитайте максимальное значение pH, при котором в 0,02 М растворе $Cd(NO_3)_2$ 99% кадмия находится в виде аквакомплекса, а 1% - в виде гидроксокомплекса. $\lg \beta_{CdOH^+} = 4,3$.

3. Вычислите условную константу устойчивости для $Ag(CN)_2^-$ в присутствии $3 \cdot 10^{-3}$ М $Na_2S_2O_3$.

$$\beta_{Ag(CN)_2^-} = 7.8 \cdot 10^{19}, \quad \beta_{Ag(S_2O_3)^-} = 6.61 \cdot 10^8, \quad \beta_{Ag(S_2O_3)_2^{3-}} = 2.88 \cdot 10^{13}. \quad \beta_{Ag(CN)_2^-} = 7.8 \cdot 10^{19}, \quad \beta_{Ag(S_2O_3)^-} = 6.61 \cdot 10^8, \quad \beta_{Ag(S_2O_3)_2^{3-}} = 2.88 \cdot 10^{13}.$$

$$\beta_{Ag(CN)_2^-} = 7.8 \cdot 10^{19}, \quad \beta_{Ag(S_2O_3)^-} = 6.61 \cdot 10^8, \quad \beta_{Ag(S_2O_3)_2^{3-}} = 2.88 \cdot 10^{13}.$$

4. Вычислите ориентировочно интервал перехода окраски металлоиндикатора при комплексометрическом титровании никеля при pH 5,0. Можно ли применять этот индикатор для титрования 0,01 М раствора никеля 0,01 М раствором ЭДТА? Ответ обоснуйте. $\beta_{NiY}^* = 10^{12}$.

5. 0,1 М раствор $Cd(NO_3)_2$ в 0,5 М NH_3 оттитровали 0,1 М раствором ЭДТА. Вычислите условную константу устойчивости комплекса с подходящим индикатором, если известно, что изменение окраски раствора становится заметным при соотношении концентраций комплекса металл-индикатор и несвязанного индикатора 10:1.

$$\beta_{CdY^{2-}} = 10^{16.6}, \quad \alpha_{Y^{4-}} = 10^{-0.7},$$

Для $Cd(NH_3)_4^{2+}$: $k_1 = 3,24 \cdot 10^2$, $k_2 = 91,2$, $k_3 = 20,0$, $k_4 = 6,17$.

6. 0.01 М раствор кальция титруют 0,01 М раствором ЭДТА при pH 10,0 ($\beta_{CaY^{2-}}^* = 10^{10.2}$). Вычислите β_{CaInd}^* , при pH 10,0, если в точке эквивалентности CaInd и Ind присутствуют в равных концентрациях.

Гетерогенное равновесие и гравиметрия

1. В 100 мл 0,01 М HNO_3 растворяется $4,00 \cdot 10^{-5}$ г Hg_2Cl_2 . Рассчитайте концентрацию ртути г/л в насыщенном растворе Hg_2Cl_2 в присутствии 0,001 М HCl . Мол. массы: Hg_2Cl_2 - 472,09; Hg - 200,59.

2. Рассчитайте растворимость CuC_2O_4 в воде и в $1,0 \cdot 10^{-3}$ М $Na_2C_2O_4$. Изобразите графически зависимость растворимости от концентрации $C_2O_4^{2-}$ -ионов в координатах pS - $pC(C_2O_4)$. Ионной силой, гидролизом ионов и образованием других ионных комплексных форм пренебрегите. $K_s^0 = 2,3 \cdot 10^{-8}$; $\beta\{CuC_2O_4\} = 5,0 \cdot 10^6$.

3. Какова общая и молекулярная растворимость оксихинолината железа при рН 4,0 в присутствии 0,01 М избытка реагента? Примите $\gamma = 1$.
 $K_s^0 \{Fe(Ox)_3\} = 3,1 \cdot 10^{-44}$; $K_a \{HOx\} = 1,5 \cdot 10^{-10}$; $\beta_3 = 8,0 \cdot 10^{34}$.
5. Осадок ZnS массой 0,1949 г промыли 800 мл 0,001 М HCl, насыщенной H₂S, ($c_{H_2S} = 0,1$ М). Рассчитайте потерю цинка при промывании. Ионной силой пренебрегите.
 $K_s^0 \{ZnS\} = 2,51 \cdot 10^{-22}$; $K_{a1} \{H_2S\} = 1,0 \cdot 10^{-7}$; $K_{a2} \{HS^-\} = 1,3 \cdot 10^{-13}$;
 $F_{Zn/ZnS} = 0,6709$; мол. массы: Zn - 65,37, ZnS - 97,43.
6. Можно ли пренебречь молекулярной растворимостью соединения АВ в воде, если его произведение растворимости $K_s^0 = 1 \cdot 10^{-10}$, а константа диссоциации K_a : а) $1 \cdot 10^{-4}$; б) $1 \cdot 10^{-8}$?
9. Какова должна быть равновесная концентрация NH₃, чтобы растворить 0,0035 моль AgCl в 200 мл водного раствора аммиака?
 $K_s^0 \{AgCl\} = 1,8 \cdot 10^{-10}$; $\beta \{Ag(NH_3)^+\} = 2,03 \cdot 10^3$; $\beta \{Ag(NH_3)_2^+\} = 1,62 \cdot 10^7$.

Экстракция

1. Раствор 2-нитрозо-1-нафтола (НЛ) в CHCl₃ неизвестной концентрации встряхнули с равным объемом боратного буферного раствора с рН 8. Концентрация НЛ в водной фазе после достижения равновесия составила $5,67 \cdot 10^{-4}$ М. Растворимость НЛ в воде (S_{H_2O}) $8,4 \cdot 10^{-4}$ М, а в CHCl₃ (S_{CHCl_3}) - $9,6 \cdot 10^{-2}$ М. Рассчитайте исходную концентрацию НЛ в CHCl₃, если $pK_{a,HL} = 7,24$.
2. Изучено распределение кислоты НА между равными объемами воды и нитробензола. Константа распределения кислоты равна 10^3 , а коэффициент распределения при рН 6 - 10^2 . Рассчитайте константу диссоциации кислоты ($K_{a,НА}$). Нарисуйте кривую распределения кислоты и укажите интервал рН, в котором константа распределения равна коэффициенту распределения.
3. Какой общий объем растворителя (CHCl₃) необходим для понижения концентрации вещества Х до $1 \cdot 10^{-4}$ М, если 25 мл 0,05 М раствора Х проэкстрагировали порциями растворителя по 10 мл. Коэффициент распределения Х равен 35.
4. Ион Zn²⁺ ($c_{Zn^{2+}} = 1 \cdot 10^{-4}$ М) экстрагируется на 20% в виде хелата Zn(Ox)₂ при рН 3 с помощью равного объема 0,1 М раствора 8-гидроксинолина (Оx) в хлороформе. Рассчитайте рН, при котором в тех же условиях ион цинка будет экстрагироваться на 96%.
5. Ионы Co²⁺ экстрагируются раствором 8-гидроксинолина (НОx) в CHCl₃ в виде комплекса Co(Ox)₂(НОx)₂. Напишите уравнение реакции и выражение для константы экстракции. Изобразите зависимость $\lg D - \lg[НОx]$ при рН = const. Какую информацию и как можно получить из этой зависимости?

2.2. Самостоятельная работа

Вопросы к допуску к лабораторным занятиям

Титриметрические методы. Классификация методов. Требования, предъявляемые к реакции в титриметрическом анализе. Прямое, обратное и косвенное титрование. Способы выражения концентраций растворов в титриметрии. Эквивалент. Молярная масса эквивалента. Первичные стандартные растворы, требования к ним. Фиксаналы. Вторичные стандартные растворы. Виды кривых титрования. Скачок титрования. Точка эквивалентности и конечная точка титрования.

Кисотно-основное титрование. Построение кривых титрования. Кисотно-основное титрование в неводных средах. Кисотно-основные индикаторы. Погрешности титрования при определении сильных и слабых кислот и оснований, многоосновных кислот и оснований.

Практическое применение. Первичные стандартные растворы для установления концентрации растворов кислот и оснований. Приготовление и стандартизация растворов соляной кислоты и гидроксида натрия. Титрование кислот, оснований, смесей кислот и смесей оснований. Анализ смесей карбоната и гидрокарбоната натрия, карбоната и гидроксида натрия. Определение солей аммония и азота по методу Кьельдаля. Определение нитратов и нитритов.

Комплексометрическое титрование. Построение кривых титрования. Металлохромные индикаторы и требования, предъявляемые к ним. Важнейшие универсальные и специфические металлохромные индикаторы. Прямое, обратное, вытеснительное и косвенное титрование. Селективность титрования и способы ее повышения. Погрешность титрования.

Практическое применение. Определение кальция, магния, железа, алюминия, меди, цинка в растворах чистых солей и при совместном присутствии. Определение анионов.

Окислительно-восстановительное титрование. Построение кривых титрования. Факторы, влияющие на характер кривых титрования: концентрация ионов водорода, комплексообразование, ионная сила. Способы определения конечной точки титрования. Индикаторы. Погрешность титрования. Методы окислительно-восстановительного титрования.

Перманганатометрия. Определение железа(II), марганца(II), оксалатов, пероксида водорода, нитритов.

Иодометрия и иодиметрия. Система иод-иодид как окислитель или восстановитель. Определение арсенитов, арсенатов, железа (III), меди(II), галогенид-ионов, пероксидов, кислот. Определение воды и функциональных групп органических соединений.

Бихроматометрия. Определение железа(II), урана(IV).

Броматометрия, цериметрия, ванадатометрия, титанометрия, хромометрия. Первичные и вторичные стандарты. Индикаторы. Определение неорганических и органических соединений.

Гравиметрический метод. Условия получения кристаллических и аморфных осадков. Гомогенное осаждение. Старение осадка. Причины загрязнения осадка (совместное осаждение, соосаждение, последующее осаждение). Классификация различных видов соосаждения (адсорбция, окклюзия, изоморфизм и др.). Способы уменьшения соосаждения. Положительное и отрицательное значения явления соосаждения в анализе. Погрешности в гравиметрическом анализе. Изменения состава осадка при высушивании и прокаливании.

Практическое применение. Прямые и косвенные методы определения. Важнейшие органические и неорганические осадители. Определение железа, алюминия, кальция, магния, никеля, кобальта, цинка. Определение серы, фосфора, кремния и хлора в органических и неорганических соединениях.

Экстракция. Разделение элементов методом экстракции. Основные органические реагенты, используемые для разделения элементов методом экстракции. Селективное разделение элементов методом подбора органических растворителей, изменения pH водной фазы, маскирования и демаскирования. Приборы для экстракции.

Пробоотбор и пробоподготовка. Основные способы переведения пробы в форму, необходимую для выбранного вида анализа: растворение в различных средах; спекание, сплавление, разложение под действием высоких температур, давления, высокочастотного разряда; комбинирование различных приемов; особенности разложения органических соединений. Способы устранения и учета загрязнений и потерь компонентов при пробоподготовке.

Вопросы по методам количественного анализа для самопроверки

Гравиметрия

1. Требования, предъявляемые к осаждаемой и гравиметрической формам.
2. Сформулируйте правила адсорбции. Какие факторы влияют на количество адсорбированных примесей?
3. Каковы наиболее эффективные приемы очистки осадков от примесей?

Титриметрические методы

4. Дайте определение понятиям титрование, скачок титрования, точка эквивалентности, конечная точка титрования.
5. В каких координатах строят кривые в разных методах титрования?
6. Какие факторы влияют на величину скачка на кривой кислотно-основного титрования?
7. Приведите примеры первичных и вторичных стандартных растворов, используемых в кислотно-основном титровании.
8. На чем основано действие металлоиндикатора в комплексонометрическом титровании.
8. Назовите способы титрования. Что определяет выбора способа титрования?
9. Сущность метода перманганатометрии, первичные стандартные вещества.
10. Сущность метода иодометрии, первичные стандартные вещества.

Экстракция

12. Дайте определение следующих понятий: экстракция, экстрагент, разбавитель, экстракт. Приведите примеры.
13. Какие условия необходимо создать для перехода вещества из водной фазы в органическую при его экстракции?

2.3. Шкала оценивания является единой (приведена в п.3.2.)

3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

3.1. Вопросы для подготовки к экзамену:

1. Виды анализа. Стадии химического анализа. Основные характеристики методов анализа. Абсолютные и относительные методы. Выбор метода анализа. Способы повышения чувствительности и избирательности методов. Автоматизация анализа.
2. Пробоотбор и пробоподготовка. Представительность пробы в химическом анализе. Отбор средней пробы. Подготовка пробы к анализу.
3. Основные типы химических реакций, используемых в аналитической химии. Химическое равновесие в гомогенных и гетерогенных системах. Термодинамическая, концентрационная и условная константы равновесия.
4. Скорость химических реакций, используемых в аналитической химии. Факторы, влияющие на скорость реакции. Индуцированные цепные и сопряженные реакции окисления-восстановления, их роль в химическом анализе.
5. Протолитическая теория кислот и оснований. Равновесие в системе: кислота - сопряженное основание - растворитель. Константы кислотности, основности, автопротолиза. Нивелирующий и дифференцирующий эффекты растворителя.
6. Кислотно-основное титрование. Кривые титрования. Кислотно-основные индикаторы. Погрешности метода кислотно-основного титрования. Титрование смесей кислот и оснований. Титрование в неводных средах.
7. Типы и свойства комплексных соединений, используемых в аналитической химии. Количественная характеристика реакций комплексообразования: константа устойчивости. Ступенчатое комплексообразование. Использование комплексных соединений для разделения, концентрирования, маскирования, обнаружения, определения элементов.
8. Органические реагенты в химическом анализе. Функционально-аналитические и аналитико-активные группы. Влияние строения молекулы на свойства реагента. Применение органических реагентов в анализе.
9. Комплексометрическое титрование. Преимущества аминополикарбоновых кислот перед другими органическими титрантами. Металлохромные индикаторы, требования к ним. Способы титрования. Практическое применение.
10. Обратимые и необратимые окислительно-восстановительные системы и их потенциалы. Уравнение Нернста. Стандартный и реальный окислительно-восстановительные потенциалы. Направление окислительно-восстановительных реакций.
11. Окислительно-восстановительное титрование. Факторы, влияющие на величину скачка потенциала, способы обнаружения конечной точки титрования.
12. Перманганатометрическое, бихроматометрическое, иодометрическое титрование. Первичные и вторичные стандарты. Индикаторы. Примеры практического применения.
13. Константы равновесия реакций осаждения. Растворимость осадков. Факторы, влияющие на растворимость. Образование осадков. Кристаллические и аморфные осадки, условия осаждения.
14. Причины загрязнения осадков: совместное осаждение, соосаждение, последующее осаждение. Виды соосаждения. Приемы, способствующие получению чистых осадков.
15. Сущность гравиметрических методов. Сущность. Осаждаемая и гравиметрическая формы. Примеры практического применения.

16. Методы разделения элементов, основанные на осаждении неорганическими и органическими реагентами. Использование соосаждения для концентрирования микрокомпонентов. Неорганические и органические коллекторы.
17. Основы экстракции как метода разделения и концентрирования. Константа распределения, коэффициент распределения. Константа экстракции. Фактор разделения. Условия экстракции неорганических и органических соединений. Практическое применение экстракции.

3.2. Шкала и критерии оценивания

Шкала оценивания знаний, умений и навыков является единой для всех дисциплин (приведена в таблице ниже)

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)				
Оценка	2	3	4	5
Результат				
Знания	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки, но не в активной форме	Сформированные навыки, применяемые при решении задач

Критерии оценивания устного ответа на экзамене

Критерии оценки	Характеристика требований к результатам аттестации
Полнота знаний программного материала	Обучающийся дал полный и правильный ответ, который изложен в определенной логической последовательности. Правильно и полно давал ответы на дополнительные вопросы ИЛИ допустил незначительные ошибки.
	Обучающийся продемонстрировал достаточную полноту знаний, при наличии несущественных неточностей, ответ изложен в логической последовательности. При ответе на дополнительные вопросы допустил незначительные ошибки.
	Обучающийся продемонстрировал фрагментарные знания и допускает неточности в определении понятий. При ответах на дополнительные вопросы допускал ошибки.
	Обучающийся продемонстрировал незнание значительной части материала. Не смог дать ответы на дополни-

	тельные вопросы.
Системность и обобщенность знаний	Обучающийся продемонстрировал полное понимание материала, изложение материала системное, раскрыл вопрос с опорой на аргументы, которые сформулированы четко
	Обучающийся продемонстрировал достаточно глубокое понимание материала, изложение материала системное, приводятся е связанные между собой и другими компонентами аргументации понятия или положения
	Обучающийся допустил ошибки, нарушил системность изложения материала, использовал определения, положения и выводы, не связанные непосредственно с раскрываемым вопросом
	Обучающийся продемонстрировал непонимание материала, не смог обосновать свои суждения и привести свои примеры
Корректность употребления терминологического аппарата дисциплины	Обучающийся продемонстрировал хорошее знание терминов дисциплины, корректность их употребления при ответах на вопросы, в том числе дополнительные.
	Обучающийся продемонстрировал знание основных терминов дисциплины. Допущено не более 2–3-х ошибок в употреблении терминов при ответах на вопросы, в том числе дополнительные
	Обучающийся продемонстрировал знание основных терминов дисциплины. Допущено некорректное их употребление при ответах на вопросы.
	Обучающийся продемонстрировал незнание основных терминов дисциплины. Допущены серьезные ошибки при их употреблении в ответах на вопросы
Самостоятельные оценочные суждения	Обучающийся продемонстрировал способность обосновывать и излагать свои оценочные суждения, доказывать, отстаивать свою точку зрения
	Обучающийся продемонстрировал способность излагать свои оценочные суждения, доказывать, отстаивать свою точку зрения
	Обучающийся продемонстрировал умение излагать свои оценочные суждения, неубедительно доказывает свою точку зрения
	Обучающийся не продемонстрировал умение излагать свои оценочные суждения, не доказывает и не отстаивает свою точку зрения

Соответствие оценок и критериев ответа на экзамене

Оценка	Характеристика требований к результатам аттестации
«Отлично»	Теоретическое содержание освоено полностью без пробелов, системно и глубоко. Необходимые умения и практические навыки работы с освоенным материалом сформированы. Все задания выполнены безупречно, качество их выполнения оценено числом баллов близким к максимуму.
«Хорошо»	Теоретическое содержание освоено в целом без пробелов. Необходимые умения и практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы. Все задания выполнены с отдельными неточностями, качество выполнения большинства заданий оценено числом

	баллов близким к максимуму.
«Удовлетворительно»	Теоретическое содержание освоено большей частью, но пробелы не носят существенного характера. Необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы. Большинство заданий выполнены, отдельные из выполненных заданий содержат ошибки. .
«Неудовлетворительно»	Теоретическое содержание освоено частично. Необходимые умения и навыки работы не сформированы или сформированы отдельные из них.

Разработчики:

ШЕХОВЦОВА ТАТЬЯНА НИКОЛАЕВНА, доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии МГУ, tnshekh@yandex.ru

ПРОСКУРНИН МИХАИЛ АЛЕКСЕЕВИЧ, доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии МГУ, proskurnin@gmail.com

ПИРОГОВ АНДРЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ, доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии МГУ, pirogov@analyt.chem.msu.ru