




**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Уральский государственный экономический университет»**  
**(УрГЭУ)**

---

УТВЕРЖДАЮ:  
Председатель приемной комиссии  
  
Я.П. Силин

**ПРОГРАММА**  
**вступительного испытания**  
**Аналитическая химия**

г. Екатеринбург

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Программа вступительного испытания по специальной дисциплине предназначена для поступающих на образовательную программу высшего образования – программу подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению 1.4 Химические науки, научная специальность «Аналитическая химия». Программа вступительного испытания по специальной дисциплине разработана в соответствии с требованиями федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по программам специалитета и магистратуры, соответствующих химическим специальностям.

Поступающие в аспирантуру по направлению подготовки научных и научно-педагогических кадров 1.4 – Химические науки должны:

1. Иметь представление о роли аналитической химии в системе наук;
2. Знать типы реакций и процессов в аналитической химии; основные методы анализа (выделения, разделения и концентрирования, гравиметрические, титриметрические, электрохимические, спектроскопические); специфику анализа основных объектов техногенного и природного происхождения
3. Уметь выбрать необходимую совокупность методов анализа и методик проведения аналитических измерений; владеть практическими навыками выполнения анализа простейших объектов.
4. Устанавливать связь с предшествующими дисциплинами (общие математические и естественно научные дисциплины).

Программа вступительного испытания состоит из девяти разделов:

- Введение.
- Химические равновесия и их описание при решении аналитических задач.
- Скорость химических реакций и ее значение для анализа.
- Равновесие в системе осадок-раствор и его использование в анализе.
- Равновесия в растворах комплексных соединений.
- Окислительно-восстановительные реакции и их использование в анализе.
- Теория и практика пробоотбора и пробоподготовки.
- Методы анализа.
- Метрологические основы химического анализа.

Программа вступительного испытания по специальной дисциплине основана на содержании типовой программы курса «Аналитическая химия» для студентов университета. Изучение теории и практики анализа неорганических объектов основано на материале курсов общей и неорганической химии. Обработка результатов анализа основана на материале курсов блока «Общие математические и естественнонаучные дисциплины», изучаемых студентами на 1-2 курсах.

При подготовке к вступительному испытанию по специальной дисциплине направления подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 1.4 – Химические науки, поступающие в аспирантуру должны использовать учебную и специальную научную литературу, нормативные документы, периодические издания.

Вступительное испытание по специальной дисциплине проводится в письменной форме (тестирование). Вопросы составлены в соответствии с разделами данной программы. Каждый вариант теста содержит 50 вопросов в закрытой форме с 4 вариантами ответов. Варианты ответов кодируются символами. Среди предлагаемых вариантов ответов находится один однозначно правильный ответ. Тестовые задания оцениваются по номинальной дихотомической шкале (2 балла за правильный ответ, 0 баллов за неправильный ответ).

Баллы испытуемому выставляются в зависимости от числа правильно выбранных ответов.

Итоговая оценка по тесту формируется путем суммирования набранных баллов. Максимальная оценка равна 100 баллам. Выбранная система подсчета баллов одинаково применяется ко всем испытуемым.

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ

## **Раздел 1. ВВЕДЕНИЕ**

Предмет аналитической химии. Структура аналитической химии. Методологические аспекты аналитической химии: индивидуальность аналитической химии, ее место в системе наук, связь с практикой. Значение аналитической химии в развитии естествознания, техники и народного хозяйства. Основные аналитические проблемы: снижение предела обнаружения, повышение точности, обеспечение экспрессности, анализ микрообъектов, анализ без разрушения, локальный анализ, дистанционный анализ. Виды анализа: изотопный, элементный, функциональный, структурный, молекулярный, фазовый. Химические, физико-химические, физические и биологические методы анализа. Макро-, микро- и ультрамикрoанализ.

Основные этапы развития аналитической химии. Современное состояние и тенденции развития аналитической химии: инструментализация, автоматизация, миниатюризация, внелабораторный, проточный или неразрушающий анализ, распознавание общего образа объекта.

Химические методы анализа. Требования к реакциям, используемым для обнаружения и разделения компонентов. Групповые реагенты и систематический анализ, специфические реагенты и дробный анализ. Наиболее употребляемые в химических методах анализа классификации катионов. Бессероводородный анализ.

## **Раздел 2. ХИМИЧЕСКИЕ РАВНОВЕСИЯ И ИХ ОПИСАНИЕ ПРИ РЕШЕНИИ АНАЛИТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

Молекулярно-кинетическая теория и концентрационные константы равновесия. Использование молекулярно-кинетической теории при описании равновесия в системах: раствор сильного электролита, раствор слабого электролита (одно- и многоосновного), раствор гидролизующихся солей. Буферные системы и механизм их действия. Буферная емкость. Термодинамическая концепция описания химического равновесия. Активность, коэффициент активности, их связь с ионной силой раствора. Термодинамическая константа равновесия, ее связь с концентрационной константой. Условная (кажущаяся) константа равновесия и ее связь с концентрационной и термодинамической константами.

## **Раздел 3. СКОРОСТЬ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА**

Классификация химических процессов по скорости их протекания. Факторы, влияющие на скорость химического процесса (термодинамические, концентрационные). Катализ и его значение в анализе. Индуцированные и сопряженные реакции. Примеры ускорения и замедления реакций и процессов, используемых в химическом анализе. Управление реакциями и процессами в аналитической химии.

## **Раздел 4. РАВНОВЕСИЕ В СИСТЕМЕ ОСАДК-РАСТВОР И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В АНАЛИЗЕ**

Произведение растворимости и произведение активности как частные случаи констант равновесия (концентрационной и термодинамической). Растворимость как основная аналитическая характеристика. Факторы, влияющие на растворимость осадков: ионная сила, рН раствора, присутствие избытка иона-осадителя, лиганда-комплексообразователя, температура. Количественное осаждение, возможность раздельного осаждения при использовании общего осадителя. Загрязнение осадков в процессе их формирования. Адсорбция на поверхности осадка и закономерности ее протекания. Оклюзия и изоморфизм. Их предотвращение. Положительное и отрицательное значения явления соосаждения в анализе. Общие рекомендации при получении кристаллических и аморфных осадков. Гомогенное осаждение и преимущества его использования. Особенности образования коллоидных систем. Использование коллоидных систем в химическом анализе.

## **Раздел 5. РАВНОВЕСИЯ В РАСТВОРАХ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

Устойчивость комплексного соединения как его основная характеристика. Константа устойчивости и нестойкости как частный случай константы равновесия. Факторы, влияющие на равновесие в растворах комплексных соединений (рН, избыток лиганда-комплексообразователя,

ионов-осадителей, ионная сила). Типы комплексных соединений, использующихся в анализе. Классификация комплексных соединений по характеру взаимодействия металл-лиганд, по однородности лиганда и центрального иона (комплексобразователя): внутрисферные комплексы и ионные ассоциаты (внешнесферные комплексы и ионные пары), однороднолигандные и смешанолигандные, полиядерные (гетерополиядерные и гомополиядерные). Органические соединения как лиганды, их преимущества перед неорганическими лигандами. Важнейшие органические реагенты, применяемые в анализе для разделения ионов металлов, для маскирования и демаскирования. Возможности использования комплексных соединений и органических реагентов в различных методах анализа.

## **Раздел 6. ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В АНАЛИЗЕ**

Обратимые и необратимые реакции. Стандартный и формальный окислительно-восстановительные (ОВ) потенциалы. Связь константы равновесия ОВ-реакции со стандартными ОВ-потенциалами систем. Факторы, влияющие на направление ОВ-реакции (температура, концентрация реагирующих компонентов, рН раствора, присутствие в растворе лигандов-комплексобразователей или ионов-осадителей, ионная сила и т.п.). Оценка возможности последовательного определения нескольких окислителей или восстановителей в смеси. Использование ОВ-реакций при подготовке пробы к анализу. Основные неорганические и органические окислители и восстановители, применяемые в анализе.

## **Раздел 7. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПРОБООТБОРА И ПРОБОПОДГОТОВКИ**

Представительность пробы, проба и объект анализа, проба и метод анализа. 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 перевода пробы в форму, необходимую для данного вида анализа: растворение в различных средах, спекание, сплавление, разложение под давлением, разложение при помощи высокочастотного разряда и в плазме, комбинирование различных приемов. Особенности разложения органических соединений, способы устранения и учета загрязнений и потерь компонентов при пробоподготовке.

## **Раздел 8. МЕТОДЫ АНАЛИЗА**

### **8.1. Гравиметрический метод**

Сущность гравиметрического анализа, преимущества и недостатки метода. Прямые и косвенные методы определения. Важнейшие неорганические и органические осадители. Общая схема определений. Требования к осаждаемой и гравиметрической формам. Погрешности в гравиметрическом анализе. Примеры практического применения метода.

### **8.2. Титриметрические методы**

Методы титриметрического анализа. Классификация. Требования, предъявляемые к реакциям в титриметрическом анализе. Виды титриметрических определений: прямое и обратное, косвенное титрование. Способы выражения концентраций растворов в титриметрии. Первичные стандарты, требования к ним. Вторичные стандарты, Виды кривых титрования (s-образные, линейные). Точка эквивалентности и конечная точка титрования.

*Кисотно-основное титрование.* Построение кривых титрования. Влияние величины константы кислотности или основности, концентрации кислот или оснований, температуры на характер кривых титрования. Кисотно-основные индикаторы. Погрешности титрования при определении сильных и слабых кислот и оснований, многоосновных кислот и оснований.

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

*Осадительное титрование.* Построение кривых титрования. Способы обнаружения конечной точки титрования; индикаторы. Погрешности титрования. Примеры практического применения.

*Комплексонометрическое титрование.* Неорганические и органические титранты в комплексометрии. Способы комплексонометрического титрования: прямое, обратное, косвенное. Построение кривых титрования. Металлохромные индикаторы и требования, предъявляемые к ним. Важнейшие универсальные и специфические металлохромные индикаторы. Погрешности титрования. Примеры практического применения комплексонометрического титрования.

### **8.3. Электрохимические методы**

Общая характеристика электрохимических методов. Классификация. Электрохимические ячейки. Индикаторный электрод и электрод сравнения. Равновесные и неравновесные электрохимические системы. Явления, возникающие при протекании тока (омическое падение напряжения, концентрационная и кинетическая поляризация). Поляризационные кривые и их использование в различных электрохимических методах.

*Потенциометрия.* Измерение потенциала. Обратимые и необратимые окислительно-восстановительные системы. Индикаторные электроды. Ионметрия. Классификация ионоселективных электродов: электроды с гомогенными и гетерогенными кристаллическими мембранами, стеклянные электроды, электроды с подвижными носителями, ферментные и газочувствительные электроды. Электродная функция, коэффициент селективности, время отклика.

*Потенциометрическое титрование.* Изменение электродного потенциала в процессе титрования. Способы обнаружения конечной точки титрования. Использование реакций кислотно-основных, осаждения, комплексообразования, окисления-восстановления.

*Кулонометрия.* Теоретические основы. Закон Фарадея. Способы определения количества электричества. Прямая кулонометрия и кулонометрическое титрование. Титрование электроактивных и электронеактивных компонентов. Определение конечной точки титрования. Преимущества и ограничения метода кулонометрического титрования по сравнению с другими титриметрическими методами.

*Вольтамперометрия и полярография.* Индикаторные электроды и классификация вольтамперометрических методов. Преимущества и недостатки ртутного электрода. Применение твердых электродов.

Получение и характеристика вольтамперной кривой. Предельный диффузионный ток. Уравнение Ильковича. Уравнение полярографической волны Ильковича-Гейровского. Потенциал полуволны. Факторы, влияющие на величину потенциала полуволны. Зависимость потенциала полуволны от константы устойчивости комплексного соединения. Восстановление и окисление органических соединений. Качественный и количественный полярографический анализ. Современные разновидности вольтамперометрии: прямая и инверсионная, переменноточковая, хроноамперометрия с линейной разверткой.

*Амперометрическое титрование.* Сущность метода. Индикаторные электроды. Выбор потенциала индикаторного электрода. Амперометрическое титрование с одним и двумя поляризованными электродами. Виды кривых титрования. Использование реакций осаждения, комплексообразования, окисления-восстановления.

### **8.4. Спектроскопические методы**

Классификация спектроскопических методов по природе частиц, взаимодействующих с излучением (атомные, молекулярные); характеру процесса (абсорбционные, эмиссионные); диапазону электромагнитного излучения. Основные законы испускания и поглощения электромагнитного излучения. Связь аналитического сигнала с концентрацией определяемого компонента.

*Атомно-эмиссионный метод.* Принципиальная схема атомно-эмиссионного спектрометра. Источники атомизации и возбуждения: электрические разряды (дуговые, искровые, пониженного давления), плазменные источники (плазмотроны, индуктивно-связанная плазма), лазеры и др. Их основные характеристики: температура, состав атмосферы атомизатора, концентрация электронов. Физические и химические процессы в атомизаторах. Особенности подготовки пробы и ее

введения в атомизаторы различного типа. Качественный и количественный анализ атомно-эмиссионным методом. Метрологические характеристики и аналитические возможности.

*Атомно-абсорбционный метод.* Принципиальная схема атомно-абсорбционного спектрометра. Анализаторы (пламенные и непламенные). Источники излучения (лампы с полым катодом, источники сплошного спектра, лазеры), их характеристики. Возможности, достоинства и недостатки метода, его сравнение с атомно-эмиссионным методом. Примеры практического применения атомно-эмиссионного и атомно-абсорбционного методов.

*Молекулярная абсорбционная спектроскопия (спектрофотометрия).* Принципиальная схема прибора. Классификация аппаратуры с точки зрения способа монохроматизации (фотометры, спектрофотометры). Связь химической структуры соединения с абсорбционным спектром. Способы получения окрашенных соединений. Фотометрические аналитические реагенты, требования к ним. Анализ многокомпонентных систем. Спектрофотометрия как метод исследования реакций в растворах (комплексобразования, протолитических), сопровождающихся изменением спектров поглощения. Примеры практического применения.

### **8.5. Хроматографические методы**

Представления о подвижной и неподвижной фазах. Классификация методов по агрегатному состоянию подвижной и неподвижной фаз, по механизму разделения. Основное уравнение хроматографии. Селективность и эффективность хроматографического разделения. Качественный и количественный хроматографический анализ.

*Газовая хроматография.* Газо-адсорбционная (газо-твердофазная) и газо-жидкостная хроматография. Сорбенты и носители, требования к ним. Механизм разделения. Области применения газовой хроматографии.

*Жидкостная хроматография.* Виды жидкостной хроматографии. Преимущества высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ).

*Адсорбционная жидкостная хроматография.* Нормально-фазовый и обращенно-фазовый варианты. Полярные и неполярные неподвижные фазы и принципы их выбора. Модифицированные силикагели как сорбенты. Подвижные фазы и принципы их выбора. Области применения адсорбционной жидкостной хроматографии.

*Ионообменная хроматография.* Строение и физико-химические свойства ионообменников. Ионообменное равновесие. Селективность ионного обмена и факторы его определяющие. Области применения ионообменной хроматографии.

*Эксклюзионная хроматография.* Общие принципы метода. Подвижные и неподвижные фазы. Особенности механизма разделения. Определяемые вещества и области применения метода.

*Плоскостная хроматография.* Общие принципы разделения. Способы получения плоскостных хроматограмм. Реагенты для их проявления. Бумажная хроматография. Механизмы разделения. Подвижные фазы. Преимущества и недостатки. Тонкослойная хроматография. Механизмы разделения. Сорбенты и подвижные фазы. Области применения.

## **Раздел 9. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

Метрологические требования к результатам измерений, основные принципы и способы обеспечения достоверности результатов измерений, погрешности. Аналитический сигнал и помехи.

Классификация погрешностей анализа. Систематические и случайные погрешности. Погрешности отдельных стадий химического анализа. Основные характеристики метода анализа: правильность и воспроизводимость, коэффициент чувствительности, предел обнаружения, нижняя и верхняя границы определяемых содержаний. Статистическая обработка результатов измерений. Закон нормального распределения случайных погрешностей,  $t$ - и  $F$ -распределения. Среднее, дисперсия, стандартное отклонение. Проверка гипотезы нормальности, гипотезы однородности результатов измерений. Сравнение дисперсии и средних двух методов анализа. Регрессионный анализ. Способы оценки правильности: использование стандартных образцов, метод добавок, метод варьирования навесок, сопоставление с другими методами. Стандартные образцы.

### 3. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

#### **а) основная**

1. *Золотов Ю.* Введение в аналитическую химию. Издательство: «Бином. Лаборатория знаний». 2016.
2. *Основы аналитической химии.* В 2-х т. / Под ред. *Ю.А. Золотова.* М: Академия. 2014.
3. *Кристиан Г.* Аналитическая химия. В 2-х т. Издательство: «Бином. Лаборатория знаний». 2015.

#### **б) дополнительная**

1. *Будников Г.К., Майстренко В.Н., Вяселев М.Р.* Основы современного электроанализа. М.: Мир, 2003.
2. *Золотов Ю.А., Вершинин В.И.* История и методология аналитической химии. М: Издательский центр «Академия». 2007.
3. *Дворкин В.И.* Метрология и обеспечение качества количественного химического анализа. М.: Химия, 2001
4. *Жарский И., Волков А.* Справочник по аналитической химии. Издательство: Букмастер. 2015.
5. *Моногарова О.В., Мугинова С.В., Филатова Д.Г.* Аналитическая химия. Задачи и вопросы. /Под ред. Т.Н. Шеховцовой. Издательство: ГЭОТАР-Медиа. 2016.

#### **в) периодические издания**

Журнал аналитической химии.  
Заводская лаборатория. Диагностика материалов.  
Аналитика и контроль.

#### **г) интернет ресурсы**

<http://www.scopus.com/home.url>  
<http://www.springer.com>  
<http://www.chemport.ru/>  
<http://portal.acs.org/portal/acs/corg/content>

### 4. ПРИМЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ

1. Предмет аналитической химии. Основные методы аналитической химии: классификация и определения. Методы идентификации, разделения и обнаружения веществ. Значение аналитической химии в развитии естествознания, техники и народного хозяйства.
2. Обратимые и необратимые реакции. Химическое равновесие в гомогенных системах. Константы равновесия. Смещение химического равновесия под влиянием различных факторов. Принцип Ле-Шателье и его практическое значение.
3. Современные представления о кислотах и основаниях. Константы кислотности и основности. Ионное произведение воды, водородный (рН) и гидроксильный (рОН) показатели. Шкала рН.
4. Сильные и слабые электролиты. Активность, коэффициент активности, их связь с ионной силой раствора. Буферные системы и механизм их действия.
5. Химическое равновесие в гетерогенных системах. Константа растворимости. Методы осаждения в количественном анализе. Условия образования и растворения осадка.
6. Реакции комплексообразования в аналитической химии. Свойства комплексных соединений. Константы устойчивости комплексных соединений. Классификация комплексных соединений. Применение комплексных соединений в химическом анализе.
7. Органические реагенты в аналитической химии. Функционально-аналитические группы. Важнейшие классы органических реагентов.
8. Окислительно-восстановительные реакции. Стандартный окислительно-восстановительный потенциал. Уравнение Нернста. Факторы, влияющие на направление ОВ-реакции.

9. Пробоотбор и пробоподготовка как этап химического анализа. Требования, предъявляемые к отбору проб воздуха, воды, почв, биологических объектов. Современные методы пробоподготовки в различных методах инструментального анализа. Экстракция как метод разделения и концентрирования. Классификация экстракционных процессов.

10. Общая характеристика методов количественного анализа. Гравиметрический метод анализа, его преимущества и недостатки.

11. Методы титриметрического анализа. Классификация. Требования, предъявляемые к реакциям в титриметрическом анализе. Виды титриметрических определений: прямое, обратное, косвенное титрование. Особенности построения кривых титрования.

12. Кислотно-основное титрование и осадительное титрование. Построение кривых титрования, индикаторы, применение.

13. Окислительно-восстановительное и комплексонометрическое титрование. Индикаторы. Кривые титрования. Перманганатометрия, бихроматометрия, иодометрия.

14. Общая характеристика физико-химических методов анализа. Классификация.

15. Вольтамперометрия и полярография. Индикаторные электроды и классификация вольтамперометрических методов. Уравнение Ильковича. Уравнение полярографической волны Ильковича-Гейровского. Качественный и количественный полярографический анализ. Современные разновидности вольтамперометрии: прямая и инверсионная, переменноточковая, хроноамперометрия. Преимущества и ограничения по сравнению с классической полярографией.

16. Химически модифицированные электроды. Способы модификации поверхности. Биосенсоры.

17. Потенциометрические методы анализа. Классификация ионоселективных электродов, их строение и особенности эксплуатации. Электронная функция, коэффициент селективности, время отклика. Условия прямого и косвенного (титриметрического) использования потенциометрии.

18. Спектральные методы анализа. Классификация и общая характеристика спектральных методов анализа. Основные законы испускания и поглощения электромагнитного излучения. Связь аналитического сигнала с концентрацией определяемого компонента.

19. Атомно-эмиссионная и атомно-абсорбционная спектроскопия. Основы метода и аппаратного оформления. Аналитическое применение.

20. Спектрофотометрия. Особенности спектров поглощения. Уравнение Бугера-Ламберта Бера. Фотометрические реакции и реагенты. Примеры практического применения спектрофотометрии для определения неорганических и органических соединений.

21. Хроматография как метод разделения и определения веществ. Классификация хроматографических методов. Теория хроматографического разделения. Методы количественного хроматографического анализа.

22. Газовая хроматография. Детекторы. Подвижные и неподвижные фазы. Современные тенденции развития газо-жидкостной хроматографии. Капиллярная и многомерная газовая хроматография.

23. Высокоэффективная жидкостная хроматография. Требования, предъявляемые к элюентам. Ионная хроматография, разновидности. Особенности определения анионов и катионов с помощью ионной хроматографии.

24. Метрологические требования к результатам измерений, основные принципы обеспечения достоверности результатов измерений. Систематические и случайные погрешности. Основные характеристики метода анализа: правильность и воспроизводимость, коэффициент чувствительности, предел обнаружения, нижняя и верхняя границы определяемых содержаний. Способы оценки правильности.

Председатель экзаменационной комиссии  
по направлению подготовки  
«Химические науки»

Н.Ю. Стожко