

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ**  
**кандидатского экзамена по специальности 02.00.02**  
**"АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ"**

2002 г.

Для определения химического состава веществ и материалов в настоящее время привлекают методы, основанные на химических, физических и биологических принципах. Это приводит к тому, что аналитикам, специализирующимся, например, в области нейтронно-активационного анализа, нужны существенно иные знания по сравнению с аналитиком, работающим в области кулонометрии. В то же время и те и другие должны быть знакомы с общими вопросами аналитической химии, такими, как требования к представительности пробы и правилам ее отбора, или способы извлечения информации из аналитического сигнала, должны представлять себе положение и роль каждого метода в общем арсенале методов аналитической химии, уметь правильно выбирать методы анализа, отвечающие поставленной задаче. Будущему кандидату наук следует знать современное состояние и тенденции развития аналитической химии и аналитической службы, иметь представление об основных научных центрах и сообществах аналитиков, о научной литературе. В связи с этим представляется целесообразным иметь общую программу, которая дает возможность принимать кандидатский экзамен в рамках подготовки кандидатов химических, физико-математических и технических наук по специальности "Аналитическая химия".

Необходимость составления единой программы диктуется также тем, что реальный анализ часто включает в качестве отдельных этапов разнородные операции; иногда сам метод анализа, в том числе в приборном оформлении, основан на различных принципах. К таким относятся, например, хроматографические методы анализа.

Настоящая программа экзамена кандидатского минимума охватывает основополагающие разделы аналитической химии, основные методы средства и объекты анализа. Помимо общего экзамена по аналитической химии рекомендуется сдавать экзамены по отдельным разделам аналитической химии, тематически соответствующим профилю диссертационной работы соискателя или аспиранта. Эти разделы определяются организацией, где сдается экзамен, и научным руководителем экзаменуемого; по месту сдачи экзамена разрабатываются и утверждаются соответствующие дополнительные программы. Темы специальных экзаменов не должны быть слишком узкими; примерами могут служить спектроскопические либо электрохимические методы анализа.

## **1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ**

### ***1.1. Введение***

Предмет аналитической химии. Цели и особенности аналитической химии и аналитической службы. Взаимосвязь аналитической химии с другими науками, значение для общества (народное хозяйство, окружающая среда, медицина, смежные области науки). Основные этапы развития.

Аналитические задачи: обнаружение, идентификация, определение веществ.

Методы аналитической химии. Химические, физические и биологические методы. Методы обнаружения, идентификации, разделения и концентрирования, определения; гибридные и комбинированные методы. Методы прямые и косвенные. Условность классификаций.

Основные характеристики методов определения: чувствительность, предел обнаружения, диапазон определяемых содержаний, воспроизводимость, правильность, селективность. Метод и методика. Продолжительность, трудоемкость, стоимость, приборное обеспечение методики анализа.

Виды химического анализа: изотопный, атомный, структурно-групповой (функциональный), молекулярный, вещественный, фазовый. Макро-, микро-, ультрамикрoанализ. Локальный, неразрушающий, дистанционный, непрерывный, внелабораторный (полевой). Анализ и контроль, их специфика.

Единство аналитического процесса. Диалектическая связь проблемы, метода, объекта анализа и определяемого компонента.

Организация аналитической службы, ее функции. Контроль технологических процессов. Маркировочные анализы. Результат химического анализа как показатель качества продукции. Арбитражный анализ.

Принципы унификации и стандартизации аналитических методик.

## **2. МЕТОДЫ АНАЛИЗА**

### ***2.1. Химические методы***

Химические превращения вещества – основа химических методов. Использование законов термодинамики (химическое равновесие) и кинетики для

описания и управления реальными гомогенными и гетерогенными системами.

### ***2.1.1. Теоретические основы***

Количественные характеристики равновесий: термодинамическая и концентрационные константы, стандартный и формальный потенциалы, степень образования (мольная доля) компонента. Расчет активностей и равновесных концентраций компонентов (рН, рМ и концентрации разных комплексных форм, молекулярной и ионной растворимостей). Буферность систем (рН, рМ и редокс буферы).

**Кислотно-основное равновесие.** Развитие представлений о кислотах и основаниях. Использование протолитической теории для описания равновесий. Влияние свойств растворителя (донорно-акцепторных, диэлектрической проницаемости, автопротолиза); классификация растворителей. Константы кислотности и основности. Функция Гаммета. Буферные растворы.

**Комплексообразование.** Типы комплексных соединений, используемых в химическом анализе. Комплексные соединения в растворе. Ступенчатое комплексообразование. Константы устойчивости. Методы определения состава комплексных соединений и расчета констант устойчивости. Кинетика реакций комплексообразования. Инертные и лабильные комплексы. Управление реакциями осаждения-растворения и окисления-восстановления с помощью комплексообразования. Примеры использования комплексов.

**Окислительно-восстановительное равновесие.** Обратимые и необратимые реакции. Уравнение Нернста. Стандартные и реальные (формальные) потенциалы. Смешанный потенциал. Методы измерения потенциалов. Константы равновесия. Механизм окислительно-восстановительных реакций. Каталитические, автокаталитические, сопряженные и индуцированные окислительно-восстановительные реакции.

**Процессы осаждения-растворения.** Равновесия в системе жидкость -твердая фаза. Константы равновесия (термодинамическое и реальное произведение растворимости); растворимость. Механизм образования и свойства кристаллических и аморфных осадков. Коллоидные системы. Загрязнения и условия получения чистых осадков. Условия полного осаждения и растворения осадков.

**Органические реагенты в химическом анализе.** Функционально-аналитические группы. Влияние структуры на свойства органических реагентов. Основные типы соединений, образуемых с участием органических реагентов. Теоретические основы взаимодействия органических реагентов с ионами металлов. Важнейшие органические аналитические реагенты, области их применения.

### ***2.1.2. Гравиметрические методы***

Сущность, значение, достоинства и ограничения прямых и косвенных гравиметрических методов. Требования, предъявляемые к осадкам. Важнейшие неорганические и органические осадители. Аналитические весы.

### ***2.1.3. Титриметрические методы***

**Теоретические основы.** Сущность и классификация. Виды титрования (прямое, обратное, косвенное). Кривые титрования. Точка эквивалентности, конечная точка титрования и методы ее индикации.

**Кислотно-основное титрование.** Кислотно-основное титрование в водных и неводных средах. Первичные стандартные растворы для установления концентрации растворов кислот и щелочей. Кривые титрования для одно- и многоосновных систем. Индикаторы.

**Окислительно-восстановительное титрование.** Первичные и вторичные стандартные растворы. Кривые титрования. Индикаторы. Титрование многокомпонентных систем. Предварительное окисление и восстановление определяемых соединений. Краткая характеристика методов: перманганатометрии, иодометрии, бихроматометрии, броматометрии, цериметрии.

**Комплексометрическое титрование.** Сущность, аналитические особенности. Использование аминополикарбоновых кислот в комплексометрии. Этилендиаминтетрауксусная кислота и ее динатриевая соль (ЭДТА). Важнейшие универсальные и специфические металлохромные индикаторы. Примеры практического использования комплексометрического титрования.

**Осадительное титрование.** Сущность. Кривые титрования. Методы индикации конечной точки титрования. Индикаторы.

### ***2.1.4. Кинетические методы***

Сущность методов. Индикаторные реакции, индикаторные вещества. Дифференциальный и интегральный варианты методов. Каталитический и некаталитический варианты методов. Методы определения концентрации индикаторных веществ. Чувствительность, избирательность и точность, области применения.

#### ***2.1.5. Биохимические методы***

Сущность методов. Ферментативные индикаторные реакции. Химическая природа и структура ферментов. Фермент-субстратные комплексы. Факторы, влияющие на скорость ферментативных реакций. Имобилизованные ферменты. Биосенсоры и ферментные электроды. Сущность иммунных методов. Иммуноферментный анализ. Радиоиммунологический анализ. Методы регистрации аналитического сигнала в биохимических и иммунных методах. Чувствительность, избирательность и точность методов. Области применения, возможности и ограничения.

#### ***2.1.6. Термические методы***

Термические эффекты как причина или следствие химических реакций, фазовых и структурных превращений. Прямые термические методы анализа. Энтальпиметрия (калориметрия), термический анализ, термогравиметрия, катарометрия.

#### ***2.7.6. Газовольюмометрический анализ***

Принцип методов. Особенности и способы выполнения. Применение газовольюмометрических методов в органическом элементном анализе, для определения углерода в металлах и сплавах, при анализе дымовых газов, светильного газа.

#### ***2.1.7. Электрохимические методы***

**Теоретические основы.** Основные процессы, протекающие на электродах в электрохимической ячейке. Кинетика электрохимических процессов. Поляризационная кривая. Классификация электрохимических методов.

**Потенциометрия.** Равновесные электрохимические системы и их характеристики. Использование прямых и косвенных потенциометрических методов в анализе и исследовании. Ионметрия: возможности метода и ограничения. Типы

ионселективных электродов и их характеристики. Ферментные и газочувствительные электроды. Полевые транзисторы. Потенциометрическое титрование с неполяризованными и поляризованными электродами. Хронопотенциометрия прямая и инверсионная.

**Кулонометрия.** Прямая потенциостатическая и гальваностатическая кулонометрия – безэталонный, высокочувствительный метод анализа. Кулонометрическое титрование, его возможности и преимущества перед другими титриметрическими методами.

**Вольтамперометрия.** Характеристики вольтамперограмм, используемые для изучения и определения органических и неорганических соединений. Метрологические характеристики классической, осциллографической, импульсной и переменного-тока полярографии, возможности и ограничения этих методов. Использование каталитических и адсорбционных токов для повышения селективности и чувствительности определения. Инверсионная вольтамперометрия и ее применение в анализе. Прямые и косвенные вольтамперометрические методы.

**Кондуктометрия.** Эквивалентная и удельная электропроводность. Подвижность ионов. Низкочастотная кондуктометрия: прямой метод и кондуктометрическое титрование. Использование кондуктометрических датчиков в хроматографии и других методах анализа.

**Электрогравиметрия.** Электролиз при контролируемом потенциале и при заданной величине тока. Применение электролиза для разделения компонентов смеси и их количественного определения.

## ***2.2. Физические методы***

Взаимодействие вещества с электромагнитным излучением, потоками частиц, магнитным полем – основа физических методов анализа.

### ***2.2.1. Методы атомной оптической спектроскопии***

**Теоретические основы.** Атомные спектры эмиссии, поглощения и флуоресценции. Резонансное поглощение. Самопоглощение, ионизация. Аналитические линии. Аналитический сигнал. Зависимость аналитического сигнала от концентрации.

**Атомно-эмиссионная спектроскопия.** Возбуждение проб в пламени. Возбуждение в дуговом и искровом разрядах. Индуктивно связанная плазма. Фотографическая и фотоэлектрическая регистрация спектра. Компьютерная денситометрия. Оптические спектрометры, квантометры. Идентификация элементов по эмиссионным спектрам. Определение отдельных элементов. Способы определения содержания. Физические и химические помехи. Внутренний стандарт. Подавление мешающих влияний матрицы и сопутствующих элементов. Примеры использования. Анализ твердых веществ и материалов, технологических растворов, других объектов.

**Атомно-абсорбционная спектрометрия.** Сущность метода. Источники излучения (лампы с полым катодом, безэлектродные разрядные лампы, лазеры). Пламенная атомизация. Характеристики пламен и их выбор. Типы горелок. Электротермическая атомизация. Типы электротермических атомизаторов. Способы подготовки пробы. Помехи: химические и физические. Коррекция помех (использованием вспомогательного источника сплошного спектра и эффекта Зеемана). Чувствительность и избирательность. Примеры использования.

**Атомно-флуоресцентная спектроскопия.** Принцип метода. Способы возбуждения атомов (УФ излучение, лазер). Взаимное влияние элементов и устранение этих влияний. Практическое применение.

### ***2.2.2. Методы рентгеновской и электронной спектроскопии***

**Методы рентгеноспектрального анализа (РСА).** Основные свойства и характеристики рентгеновского излучения. Обозначения в рентгеновских спектрах. Правила отбора. Классификация эмиссионных методов РСА. Электронно-зондовый рентгеноспектральный микроанализ (РСМА), рентгенорадиометрический анализ (РРА), рентгеноспектральный анализ с ионным возбуждением (PIXE), рентгенофлуоресцентный анализ (РФА). Закон Мозли. Зависимость выхода рентгеновской флуоресценции от атомного номера элемента. Факторы, определяющие интенсивность флуоресценции. Качественный и количественный анализ. Матричные эффекты. Типы рентгеновских спектрометров. Спектрометры с энергетической и волновой дисперсией. Сравнительная характеристика методов. Практическое применение.

Абсорбционный рентгеноспектральный анализ. Принцип метода. Поглощение



рентгеновского излучения, края поглощения. Зависимость коэффициента поглощения от атомной массы и порядкового номера элемента. Применение метода.

**Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия** (РФЭС; электронная спектроскопия для химического анализа, ЭСХА). Основы метода. Зависимость кинетической энергии фотоэлектрона от энергии возбуждающего излучения и энергии связи электрона в атоме. Зависимость энергии связи от атомного номера элемента. Средняя глубина выхода фотоэлектронов. Анализ поверхности. Практическое применение.

**Оже-электронная спектроскопия.** Принцип метода. Зависимость энергии Оже-электронов от атомного номера элемента. Аналитические возможности и область применения.

### *2.2.3. Методы молекулярной оптической спектроскопии*

**Теоретические основы.** Молекулярные спектры поглощения, испускания. Основные законы светопоглощения и испускания. Рассеяние света. Поляризация и оптическая активность. Способы измерения аналитического сигнала.

**Спектрофотометрия.** Электронные спектры и энергетические переходы в молекулах. Способы монохроматизации светового потока. Пути повышения избирательности определения. Способы определения концентрации веществ. Дифференциальный метод в спектрофотометрии. Анализ многокомпонентных систем. Производная спектрофотометрия. Спектрофотометрическое титрование. Спектроскопия отражения. Достоинства и ограничения методов. Практическое применение.

**Люминесцентные методы.** Виды люминесценции. Флуоресценция и фосфоресценция. Основные закономерности молекулярной люминесценции. Тушение люминесценции. Качественный и количественный анализ. Люминесценция кристаллофосфоров.

**ИК- и рамановская (комбинационного рассеяния) спектроскопия.** Колебательные и вращательные спектры. Качественная интерпретация спектров и количественный анализ: идентификация веществ, структурно-групповой и молекулярный анализ, определение строения индивидуальных соединений. Особенности анализа газов, растворов и твердых образцов. Спектроскопия

внутреннего отражения. Спектроскопия с нарушенным полным внутренним отражением. Поглощение в микроволновой области.

Нефелометрия и турбидиметрия. Фотоакустическая спектроскопия. Поляриметрия. Принципы методов и области применения.

#### ***2.2.4. Методы масс-спектрометрии***

Основные способы образования ионов: электронный удар, химическая ионизация, ионизация в поле, под действием излучения лазера, в индуктивно связанной плазме, тлеющем разряде, вакуумной искре и др. Способы масс-спектрального анализа, регистрация и интерпретация спектров. Качественный и количественный анализ. Анализ газообразных, жидких и твердых веществ. Изотопное разбавление в масс-спектрометрии. Локальный и послойный анализ. Области применения: изотопный, элементный и молекулярный анализ, определение газообразующих примесей. Хромато-масс-спектрометрия. Типы масс-анализаторов: динамические, статические, времяпролетные.

#### ***2.2.5. Методы магнитного резонанса ядер и электронов***

**Теоретические основы.** Магнитно-дипольные переходы. Механизмы релаксации: спин-решеточная и спин-спиновая релаксация. Гиромагнитное отношение.

**ЯМР-спектроскопия:** магнитный момент ядра и его взаимодействие с магнитным полем; реализация магнитного резонанса; химический сдвиг и спин-спиновое взаимодействие; применение для идентификации соединений.

**ЭПР-спектроскопия:** положение резонансного сигнала и  $g$ -фактора; электрон-ядерное, электрон-электронное взаимодействие и сверхтонкая структура спектра ЭПР; применение.

#### ***2.2.6. Ядерно-физические и радиохимические методы***

**Теоретические основы.** Элементарные частицы. Основные виды радиоактивного распада и ядерных излучений.

**Активационный анализ.** Нейтронно-активационный анализ. Основные виды взаимодействия нейтронов с атомными ядрами. Источники нейтронов. Нейтронно-

активационный анализ на тепловых, резонансных и быстрых нейтронах. Особенности и источники погрешностей. Метрологические характеристики метода.

Активация заряженными частицами. Определение легких элементов с низкими пределами обнаружения.

Гамма-активационный анализ. Определение неметаллов. Чувствительность и диапазон определяемых содержаний. Регистрация излучений. Гамма-спектрометры.

Деструктивный и недеструктивный активационный анализ. Способы идентификации и количественного определения элементов. Примеры использования.

**Радиохимические методы:** радиоактивных индикаторов и изотопного разбавления. Общая характеристика и применение.

**Мессбауэровская спектроскопия.** Общая характеристика метода. Аналитическая информативность метода. Области применения.

#### ***2.2.7. Методы локального анализа и анализа поверхности***

Классификация; физические основы методов. Достоинства и области применения. Понятия продольной и поперечной локальности. Особенности пробоотбора и пробоподготовки. Методы, используемые в локальном анализе: масс-спектрометрия вторичных ионов и лазерная масс-спектрометрия, рентгеноспектральный микроанализ, рентгенофотоэлектронная спектроскопия, Оже-спектроскопия, методы ИК-спектроскопии поверхности, люминесцентные методы микроанализа, ядерный микроанализ и другие. Примеры использования.

### ***2.3. Биологические методы***

Сущность биологических методов анализа, их преимущества и ограничения, место среди других методов химического анализа.

Индикаторный организм. Типы индикаторных механизмов: микроорганизмы, беспозвоночные, позвоночные; растения. Физиологически активные и неактивные соединения. Определение физиологически неактивных соединений (химико-биологические методы). Взаимодействие индикаторного организма с определяемым веществом. Аналитический сигнал и способы его регистрации. Метрологические характеристики биологических методов. Области применения.

### ***2.4. Хроматографические методы***

### ***2.4.1. Теоретические основы***

Основные понятия. Теория равновесной хроматографии. Граничные условия применимости. Размывание хроматографических пиков и их разрешение. Уравнение Ван-Деемтера. Общие подходы к оптимизации процесса хроматографического разделения веществ: выбор системы фаз, высоты и диаметра хроматографической колонки, размеров частиц неподвижной фазы. Способы осуществления хроматографического процесса. Способы заполнения хроматографических колонок и приготовления "тонких слоев". Особенности капиллярных колонок. Способы элюирования веществ. Детектиры. Классификация хроматографических методов.

### ***2.4.2. Газовая хроматография***

**Газо-адсорбционная (газо-твердофазная) хроматография.** Сущность метода. Изотермы адсорбции. Требования к газам-носителям и адсорбентам. Примеры используемых адсорбентов. Химическое и адсорбционное модифицирование поверхности адсорбента. Влияние температуры на удерживание и разделение. Газовая хроматография с программированным подъемом температуры. Детекторы. Примеры применения. Контроль производства.

**Газо-жидкостная хроматография.** Принцип метода. Объекты исследования. Требования к носителям и неподвижным жидким фазам. Влияние природы жидкой фазы и разделяемых веществ на эффективность разделения.

**Высокоэффективная капиллярная газовая хроматография.** Сущность метода. Реакционная газовая хроматография. Примеры применения для идентификации веществ, для анализа сложных смесей, объектов окружающей среды.

**Сверхкритическая флюидная хроматография.** Сущность, особенности и отличия от газовой и жидкостной хроматографии, применение.

### ***2.4.3. Жидкостная хроматография***

**Высокоэффективная жидкостная хроматография.** Сущность метода. Требования к адсорбентам и подвижной фазе. Влияние природы и состава элюента на эффективность разделения. Разновидности метода в зависимости от полярности неподвижной фазы: нормально-фазовый и обращенно-фазовый варианты. Выбор варианта в зависимости от полярности разделяемых веществ. Выбор условий

разделения. Детекторы. Применение для анализа сложных смесей.

**Ионообменная хроматография.** Неорганические и органические ионообменники и их свойства. Комплексообразующие ионообменники. Кинетика и селективность ионного обмена. Влияние природы и состава элюента на эффективность разделения веществ. Примеры применения для концентрирования и разделения неорганических и органических ионов.

**Ионная хроматография.** Особенности метода. Двухколоночный и одноколоночный варианты метода. Сорбенты. Детекторы. Примеры применения.

**Ион-парная хроматография.** Принцип метода. Роль неподвижной фазы и вводимого в элюент противоиона. Области применения.

**Эксклюзионная хроматография.** Особенности механизма удерживания молекул. Характеристики сорбентов и подвижных фаз. Возможности и примеры применения. Гель-хроматография (гель-проникающая и гель-фильтрационная). Механизм разделения веществ. Характеристика гелей. Применение в органическом и неорганическом анализе.

**Аффинная хроматография.** Специфика аффинной хроматографии, применяемые адсорбенты. Условия проведения процесса разделения. Области применения.

**Тонкослойная хроматография.** Сущность метода и области применения.

## *2.5. Другие методы разделения и концентрирования*

**Теоретические основы.** Процессы и реакции, лежащие в основе методов. Термодинамические и кинетические характеристики разделения и концентрирования. Классификация методов по природе процессов, числу и природе фаз, природе матрицы и концентрата. Сочетание разделения и концентрирования с методами определения. Принципы выбора метода.

**Сорбционные методы.** Классификация по механизму взаимодействия вещества с сорбентом, способу осуществления процесса, геометрическим признакам неподвижной фазы. Количественное описание сорбционных процессов. Сорбенты.

**Экстракция.** Сущность метода. Закон распределения. Экстракция и растворимость. Основные количественные характеристики: константа распределения, коэффициент распределения, константа экстракции, фактор разделения.

Классификация экстракционных процессов по типу используемого экстрагента, типу образующихся соединений, технике осуществления. Основные типы соединений, используемых в экстракции. Классы экстрагентов.

**Осаждение и соосаждение.** Использование неорганических и органических осадителей и соосадителей для разделения и концентрирования элементов. Виды соосаждения. Основные типы коллекторов. Органические соосадители.

**Электрохимические методы.** Классификация. Электровыделение (электроосаждение и электрорастворение), цементация, электрофорез, изотахофорез.

**Испарение, сублимация и родственные методы.** Количественные характеристики. Классификация методов. Испарение, сублимация или отгонка, отгонка после химических превращений.

**Другие методы разделения и концентрирования:** управляемая кристаллизация (направленная кристаллизация и зонная плавка), пробирная плавка и другие пирометаллургические методы, флотация, мембранные методы, химические транспортные реакции, термодиффузия.

Маскирование и демаскирование.

### **3. МЕТРОЛОГИЯ И ХЕМОМЕТРИКА**

#### ***3.1. Метрологические основы химического анализа***

Химический анализ как метрологическая процедура. Аналитический сигнал. Результат анализа как случайная величина. Погрешности, способы их классификации, основные источники погрешностей в химическом анализе.

Систематические погрешности в химическом анализе. Правильность и способы проверки правильности. Постоянная (аддитивная) и пропорциональная (мультипликативная) систематическая погрешность. Систематические погрешности I, II, III рода. Законы сложения погрешностей. Релятивизация, контрольный опыт. Рандомизация.

Случайные погрешности в химическом анализе. Генеральная и выборочная совокупности результатов химического анализа. Закон нормального распределения. Статистика малых выборок. Воспроизводимость. Статистические критерии: математическое ожидание (генеральное среднее) и генеральная дисперсия случайной величины, выборочное среднее, дисперсия, стандартное отклонение, доверительная

вероятность и доверительный интервал. Характер связи между значением величины и ее стандартным отклонением (абсолютным и относительным).

Возможные причины отклонения результатов анализа от нормального распределения. Распределение Пуассона. Проверка нормального закона распределения результатов анализа. Построение гистограмм распределения. Критерий Пирсона.

Статистическая обработка результатов серийных анализов. Выявление промахов. Контрольные карты. Сравнение двух (критерий Фишера) и нескольких (критерии Бартлера, Кокрена) дисперсий. Сравнение двух (критерий Стьюдента) и нескольких (критерий Фишера) средних результатов химического анализа.

Чувствительность. Коэффициент чувствительности. Предел обнаружения, нижняя граница определяемых содержаний, их статистическая оценка. Пути повышения чувствительности методик анализа.

Законы распространения систематических и случайных погрешностей. Погрешности отдельных стадий анализа и конечного результата. Применение дисперсионного анализа для оценки погрешностей отдельных стадий и операций химического анализа.

Проверка значимости выборочного коэффициента корреляции. Использование корреляционного анализа для проверки независимости двух аналитических методик.

Применение регрессионного анализа для построения градуировочных зависимостей. Способы проверки адекватности регрессионной модели. Нахождение содержания вещества по градуировочной зависимости, статистическая оценка результата.

Математическое планирование и оптимизация аналитического эксперимента. Использование дисперсионного и многомерного регрессионного анализа в планировании эксперимента. Оценка значимости факторов. Планы второго порядка. Симплекс-оптимизация.

Метрологическое обеспечение контроля состава веществ и материалов. Стандартные образцы. Аттестация и стандартизация методик. Аккредитация аналитических лабораторий.

### ***3.2. Компьютерные методы в аналитической химии***

Пути использования ЭВМ в аналитической химии: сбор, обработка, хранение и отображение результатов анализа, планирование и оптимизация экспериментов, управление аналитическими приборами, создание интегрированных устройств анализатор – ЭВМ. Базы данных, основные принципы их построения и использования.

Многомерные данные в химическом анализе. Первичная обработка данных. Коррелированные данные; понятие об анализе главных компонентов (факторном анализе). Многомерные регрессия и градуировка. Понятие о методах классификации и распознавания образов, кластерном анализе.

Обработка нелинейных зависимостей в химическом анализе. Проблема выбора начальных приближений. Построение и использование нелинейных градуировочных зависимостей. Аппроксимация экспериментальных зависимостей, ее основные разновидности. Дифференцирование и интегрирование экспериментальных данных. Фурье-преобразование, его использование для фильтрации шумов и снижения пределов обнаружения. Расчеты химических равновесий: определение равновесных концентраций и констант равновесий.

#### **4. АВТОМАТИЗАЦИЯ АНАЛИЗА**

Механизация и автоматизация химического анализа. Автоматизация лабораторного анализа и производственного контроля. Полная и частичная автоматизация. Автоматизация периодического, дискретного анализа и непрерывного анализа в потоке. Принципы применения и средства автоматизации. Автоматизированные приборы, системы и комплексы, автоматы-анализаторы для лабораторного и производственного анализа, роботы. Примеры современных высокоэффективных аналитических приборов-автоматов (газоанализаторы, хромато-масс-спектрометры и другие спектрометры, автоматические приборы и системы для проточно-инжекционного анализа, для отбора и анализа проб космического вещества и др.).

#### **5. АНАЛИЗ КОНКРЕТНЫХ ОБЪЕКТОВ**

##### ***5.1. Аналитический цикл и стадии анализа***

Выбор метода и схемы, отбор пробы, подготовка пробы (разложение,



разделение, концентрирование и другие операции), получение аналитической формы, измерение аналитического сигнала, обработка результатов измерений. Взаимозаменяемость методов; оптимизация схемы анализа.

### ***5.2. Пробоотбор и пробоподготовка***

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. Транспортировка. Отбор токсичных и радиоактивных проб.

Основные операции перевода пробы в форму, удобную для анализа: растворение в различных средах; спекание, сплавление, термическое разложение, разложение под давлением, при помощи высокочастотного разряда и в плазме, в присутствии окислителей (восстановителей); комбинирование различных приемов; способы устранения и учета загрязнений и потерь компонентов при пробоподготовке.

### ***5.3. Основные объекты***

**Геологические объекты.** Минералы, горные породы, руды и продукты их переработки, уголь, нефть, газ и газовый конденсат, строительные материалы. Анализ силикатов, карбонатов, железных, никелькобальтовых, полиметаллических руд. Аналитический контроль при разведке полезных ископаемых.

**Металлы, сплавы и продукты металлургической промышленности.** Анализ черных, цветных, редких, благородных металлов и их сплавов. Анализ неметаллических включений, определение газообразующих примесей в металлах и легирующих компонентов в сталях и сплавах.

**Материалы атомной промышленности.** Определение тория, урана, плутония, трансплутониевых элементов и осколков деления.

**Неорганические соединения.** Минеральные удобрения. Неорганические вещества высокой чистоты (в том числе полупроводниковые материалы); определение в них примесных и легирующих микрокомпонентов. Послойный и локальный анализ кристаллов, пленочных и композиционных материалов. Определение воды в неорганических соединениях.

**Органические вещества.** Природные и синтетические органические вещества, элементоорганические соединения, полимеры, пластмассы, синтетические и искусственные волокна, клеи, продукты нефтепереработки, горюче-смазочные материалы, кинофотоматериалы, белки, жиры, углеводы, стимуляторы роста. Пестициды. Особенности анализа органических объектов; отличия от неорганических объектов.

Элементный анализ органических веществ. Определение C, H, N, S, галогенов и кислорода. Автоматические приборы для элементного анализа.

Функциональный анализ. Химические методы функционального анализа. Цель химических превращений, выбор путей и способов превращения. Типовые групповые реакции. Идентификация и определение структурных фрагментов и строения органических соединений (сопряженные и несопряженные кратные связи, циклические и линейные структуры, ароматические ядра, стереоизомеры). Физические методы функционального анализа: ИК-спектроскопия, масс-спектрометрия, ЯМР.

Молекулярный анализ органических объектов. Особенности разделения органических веществ. Интерпретация аналитических откликов на групповые реакции и индивидуальные соединения. Интегральные аналитические оценки ("число омыления", "йодное число"). Хроматографические методы молекулярного анализа.

Определение воды в органических соединениях. Метод Фишера.

Анализ высокомолекулярных веществ. Определение средней молекулярной массы и молекулярно-массового распределения, набухания, растворимости, температурных характеристик. Структурный анализ полимеров: установление химической природы, содержания и распределения мономерных звеньев, определение характеристик упорядоченности структуры.

Анализ органических материалов. Установление фазового состава композиций. Определение основных и связующих компонентов, наполнителей, стабилизаторов. Определение следов органических веществ в различных объектах. Особенности определения металлов в органических объектах. Специфика аналитических проблем в производстве органических веществ и материалов.

**Биологические и медицинские объекты.** Растения, кровь, ткани, выделения человека и животных. Фармацевтические препараты, ферменты. Санитарно-

гигиенический контроль. Клинический анализ. Особенности анализа таких объектов.

**Пищевые продукты.** Определение основных компонентов (жиры, белки, углеводы и другие) и примесей. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в продуктах питания. Обзор методов анализа.

**Объекты окружающей среды:** воздух, природные и сточные воды, почвы, донные отложения. Основные источники загрязнений и основные загрязнители. Требования по чистоте; ПДК и их связь с чувствительностью методов. Обзор методов анализа объектов окружающей среды, сравнение их по чувствительности, продолжительности, экономичности, доступности. Определение суммарных показателей (ХПК, БПК и др.). Тест-методы.

**Специальные объекты:** токсичные и радиоактивные, взрывчатые и легковоспламеняющиеся вещества, газы, космические и археологические объекты.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы аналитической химии. В 2-х книгах. Под ред. Ю.А. Золотова. М.: Высшая школа, 2000.
2. Основы аналитической химии. Практическое руководство. Под ред. Ю.А. Золотова). М.: Высшая школа, 2001.
3. *Кунце У., Шведт Г.* Основы качественного и количественного анализа (перевод с нем.). М.: Мир, 1997.
4. *Пилипенко А.Т., Пятницкий И.В.* Аналитическая химия. В 2-х книгах. М.: Химия. 1990.
5. *Юинг Г.* Инструментальные методы химического анализа. Пер. с англ. М.: Мир, 1989.
6. *Дерффель К.* Статистика в аналитической химии. Пер. с нем. М.: Мир. 1994.
7. *Бок Р.* Методы разложения в аналитической химии. Пер. с англ. М.: Химия. 1984.
8. *Кузьмин Н.М., Золотов Ю.А.* Концентрирование следов элементов. М.: Наука, 1988.
9. *Москвин Л.Н., Царицына Л.Г.* Методы разделения и концентрирования в аналитической химии. Л.: Химия. 1991.
10. *Петерс Д., Хайес Дж., Хифтье Г.* Химическое разделение и измерение.

- Теория и практика аналитической химии. В 2-х книгах. Пер. с англ. М.: Химия, 1978.
11. *Форман Дж., Стокуэл П.* Автоматический химический анализ. Пер. с англ. М.: Мир. 1978.
  12. *Тельдеши Ю.* Радиоаналитическая химия. Пер. со словац. М.: Энергоатомиздат. 1987.
  13. *Шараф М.А., Иллмен Л., Ковальски Б.Р.* Хемометрика. Пер. с англ. Л.: Химия. 1989.
  14. Спектроскопические методы определения следов элементов. Под ред. Дж. Вайнфорднера. Пер. с англ. М.: Мир, 1979.
  15. *Галюс З.* Электрохимические методы анализа. (пер. с англ). М.: Мир, 1974.
  16. *Морф В.* Принципы работы с ионоселективными электродами. М.: Мир, 1985.
  17. *Айвазов Б.В.* Введение в хроматографию. М.: Высшая школа, 1983.
  18. *Золотов Ю.А.* Аналитическая химия: проблемы и достижения. М.: Наука, 1992.
  19. Аналитическая химия. Физические и физико-химические методы анализа. Под ред. О.М. Петрухина. М.: Химия, 2001.
  20. *Дворкин В.И.* Метрология и обеспечение качества количественного химического анализа. М.: Химия, 2001.

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Сабадвари Ф., Робинсон А.* История аналитической химии. Пер. с англ. М.: Мир, 1984.
2. *Скуг Д., Уэст Д.* Основы аналитической химии. В 2-х томах. Пер. с англ. М.: Мир. 1979.
3. *Рамендик Г.И.* Элементный масс-спектральный анализ твердых тел. М.: Химия. 1993.
4. *Терек Т., Мика Й., Гегуш Э.* Эмиссионный спектральный анализ. В 2-х частях. Пер. с англ. М.: Мир. 1982.
5. *Брицке М.Э.* Атомно-абсорбционный спектрохимический анализ. М.: Химия. 1982.
6. *Зайдель А.Н.* Атомно-флуоресцентный анализ. Л.: Химия. 1983.

7. Лазерная аналитическая спектроскопия. Под ред. Летохова В.С. М.: Наука, 1986.
8. Головина А.П., Левшин Л.В. Химический люминесцентный анализ неорганических веществ. М.: Химия, 1978.
9. Лакович Дж. Основы флуоресцентной спектроскопии. М.: Мир, 1986.
10. Шпигун О.А., Золотов Ю.А. Ионная хроматография. М.: Изд-во МГУ. 1990.
11. Гольдберг К.А., Вигдергауз М.С. Введение в газовую хроматографию. М.: Химия. 1990.
12. Березкин В.Г., Бочков А.С. Количественная тонкослойная хроматография. Инструментальные методы. М.: Наука, 1980.
13. Перес-Бендито Д., Сильва М. Кинетические методы в аналитической химии. М.: Мир, 1991.
14. Бонд А.М. Современные полярографические методы в аналитической химии. Пер. с англ. М.: Мир, 1984.
15. Никольский Б.П., Матерова Е.А. Ионоселективные электроды. Л.: Химия, 1980.
16. Иоффе Б.В., Зенкевич И.Г., Кузнецов М.А., Берштейн И.Я. Новые физико-химические методы исследования органических соединений. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984.
17. Хмельницкий Р.А., Бродский Е.С. Хромато-масс-спектрометрия. М.: Химия, 1983.
18. Полякова А.А. Молекулярный масс-спектральный анализ органических соединений. М.: Химия, 1983.
19. Фелдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. М.: Мир, 1989.
20. Плинер Ю.Л., Кузьмин Н.М. Метрологические проблемы аналитического контроля качества металлопродукции. М.: Metallurgia. 1989.
21. Аналитический контроль металлургического производства. Под ред. Ю.А. Карпова. М.: Metallurgia. 1995.
22. Карпов Ю.А., Савостин А.П., Глинская И.В. Методы пробоотбора и пробоподготовки. Курс лекций. Изд-во МИСиС. 2001.
23. Пробоподготовка в микроволновых печах. Теория и практика. Под ред. Г.М.

Кингстона и Л.Б. Джесси. Пер. с англ. М.:Мир. 1991.

24. *Лейстнер Л. Буйташ П.* Химия в криминалистике. М.: Мир. 1990.
25. *Каплан Б.Я., Филимонов Л.Н., Майоров И.А.* Метрология аналитического контроля производства в цветной металлургии. М.: Металлургия, 1989.
26. *Горелик Д.О., Конопелько Л.А., Панков Э.Д.* Экологический мониторинг. В 2-х томах. С.-Петербург: Крисмас, 1998.