

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Химический факультет



УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана химического факультета

*А.С. Князев*  
А.С. Князев

« 28 » *ноября* 2025г.

ПРОГРАММА

вступительного испытания по специальной дисциплине  
соответствующей научной специальности программы подготовки научных и  
научно-педагогических кадров в аспирантуре

**1.4.2. Аналитическая химия**

Томск - 2025

**Авторы-разработчики:**

*Шелковников Владимир Витальевич, канд.хим.наук, доцент, зав. кафедрой  
аналитической химии*

*Скворцова Лидия Николаевна, канд.хим.наук, доцент, доцент кафедры  
аналитической химии*

Согласовано:

Руководитель ОП

  
подпись

*В.В. Шелковников*

## **1. Общие положения**

**1.1.** Программа вступительного испытания по специальной дисциплине соответствующей научной специальности программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре 1.4.2. Аналитическая химия (далее – Программа) сформирована на основе требований федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования к программам магистратуры (специалитета) по соответствующим направлениям (специальностям) подготовки. Программа разработана для поступления на обучение в аспирантуру НИ ТГУ.

Программой устанавливается:

- форма, структура, процедура сдачи вступительного испытания;
- шкала оценивания;
- максимальное и минимальное количество баллов для успешного прохождения вступительного испытания;
- критерии оценки ответов.

Вступительное испытание проводится на русском языке или на английском языке для абитуриентов из стран дальнего зарубежья, поступающих на программу, реализуемую на английском языке.

Форма, процедура сдачи вступительного испытания, а также шкала оценивания и критерии оценки ответов экзаменуемого, установленные Программой, не зависят от языка проведения вступительного испытания.

**1.2.** Организация и проведение вступительного испытания осуществляется в соответствии с Правилами приема, утвержденными приказом ректора НИ ТГУ, действующими на текущий год поступления.

**1.3.** По результатам вступительного испытания, поступающий имеет право подать на апелляцию о нарушении, по мнению поступающего, установленного порядка проведения вступительного испытания и (или) о несогласии с полученной оценкой результатов вступительного испытания в порядке, установленном Правилами приема, действующими на текущий год поступления.

## **2. Форма, структура, процедура, программа вступительного испытания и шкала оценивания ответов**

**2.1.** Вступительное испытание по специальной дисциплине проводится в форме экзамена (письменно) в соответствии с перечнем тем и (или) вопросов, установленных данной Программой.

### **Структура экзамена.**

Экзамен проводится в письменной форме по билетам. Билет содержит 4 задания: три теоретических и одно расчётное.

**2.2.** Процедура проведения экзамена представляет собой сдачу экзамена в очной форме и (или) с использованием дистанционных технологий (при условии идентификации поступающих при сдаче ими вступительных испытаний):

1) очно и дистанционно

Для дистанционных вступительных испытаний используются платформа «Среда электронного обучения iDO» и другие программы для организации видеоконференций. Для наблюдения за участниками экзамена и идентификации их личности в НИ ТГУ создана система прокторинга. Проктор (наблюдатель) перед началом каждого экзамена при помощи веб-камеры поступающего проводит инструктаж и собеседование по вопросам организации и проведения экзамена, идентификацию личности путем сравнения фото в паспорте и лица сдающего (поступающий показывает в веб-камеру свой паспорт в развернутом виде рядом со своим лицом).

Видео, транслируемое с веб-камеры участника экзаменов, доступно проктору для наблюдения и записывается на сервер для дальнейшего просмотра при возникновении спорных ситуаций.

**2.3.** Результаты проведения вступительного испытания оформляются протоколом, в котором фиксируются вопросы экзаменаторов к поступающему. На каждого поступающего ведется отдельный протокол.

#### **2.4. Программа экзамена.**

Аналитическая химия как наука о методах анализа, способах разделения и обнаружения химических частиц с целью определения состава, структуры и состояния вещества.

### **1. Теоретические закономерности и положения, лежащие в основе аналитической химии**

Аналитический сигнал и его связь с концентрацией вещества. Основные стадии анализа: пробоотбор, пробоподготовка, измерение, обработка результатов. Метрологические характеристики аналитических методов и их оценка. Статистическая обработка результатов измерений. Способы оценки правильности.

Пробоотбор и пробоподготовка. Отбор пробы для анализа. Представительность пробы. Факторы, обуславливающие размер и способ отбора представительной пробы. Генеральная (первичная), лабораторная и анализируемая пробы. Отбор проб гомогенного и гетерогенного состава. Способы получения средней пробы твердых, жидких и газообразных веществ, первичная обработка и хранение проб.

Теоретические закономерности и положения, лежащие в основе аналитической химии. Связь положения элемента в Периодической системе с его аналитическими свойствами.

Основные закономерности протекания химических реакций. Формы существования веществ в растворе. Сольватация, ионизация, диссоциация. Поведение электролитов и неэлектролитов в растворах. Теория Дебая-Хюккеля. Коэффициенты активности. Влияние посторонних электролитов на равновесия реакций и учет этого влияния при проведении анализа (солевой эффект). Общая и равновесная концентрации. Мольная доля иона. Константы равновесия реакций и процессов: термодинамические, концентрационные, условные. Факторы, влияющие на равновесие (концентрации реагентов, температура, природа растворителя, рН, конкурирующие реакции). Принципы расчета химических равновесий.

## **2. Типы реакций и процессов в аналитической химии**

Кислотно-основное равновесие. Современные представления о кислотах и основаниях: протолитическая теория Бренстеда-Лоури, теории Льюиса, Усановича. Константы кислотности и основности. Процессы ионизации и диссоциации. Реакции автопротолиза, ионное произведение растворителя, водородный показатель. Влияние природы растворителя на силу кислот и оснований. Нивелирующий и дифференцирующий эффекты растворителя.

Явление протолиза. Равновесия в растворах кислот и оснований, имеющих заряд. Константы кислотности и основности одной протолитической пары, их связь. Буферные растворы. Механизм буферного действия. Уравнение Гендерсона-Гассельбаха. Буферная емкость. Выбор буферной системы. Расчет изменения рН при введении кислот и щелочей. Индивидуальные вещества с буферными свойствами. Амфолиты.

Окислительно-восстановительные реакции. Применение редокс-реакций в анализе. Редокс-пара, редокс-переход и константа его равновесия. Уравнение Нернста. Стандартные и формальные редокс-потенциалы. Расчет констант равновесия через окислительно-восстановительные потенциалы. Направление редокс-процесса в растворе, предсказание этого направления с помощью потенциалов. Важнейшие окислители и восстановители, используемые в анализе; способы направленного изменения их силы.

Реакции комплексообразования. Применение реакций комплексообразования в анализе. Количественные характеристики равновесия комплексообразования: общие и ступенчатые константы устойчивости и нестойкости. Факторы, влияющие на равновесие комплексообразования, управление этим процессом. Влияние концентрации свободного лиганда на равновесие. Влияние комплексообразования на процессы осаждения и растворения, кислотно-основное равновесие, окислительно-восстановительные свойства веществ в ходе анализа.

Равновесие в гетерогенной системе осадок-раствор. Использование процессов осаждения-растворения в химическом анализе. Равновесие в системе «раствор-осадок». Произведение растворимости (термодинамические,

концентрационные, условные) и растворимость малорастворимых соединений, взаимосвязь этих величин. Факторы, влияющие на растворимость осадков: температура, ионная сила раствора, присутствие одноименного иона, рН, природа растворителя; протекание реакций комплексообразования, окисления-восстановления и др. Влияние рН на осаждение гидроксидов. Дробное осаждение.

### **3. Методы аналитической химии**

Основные стадии анализа вещества: отбор пробы, подготовка пробы к анализу, измерение сигнала, оценка результатов анализа.

Методы разделения и концентрирования (осаждение, экстракция, отгонка, хроматография): общая характеристика, применение в анализе. Сорбция как способ разделения и концентрирования. Механизм сорбции. Сорбенты, используемые при концентрировании микропримесей. Активные угли. Кремнеземы.

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

Хроматографические методы разделения. Понятие о ионообменной хроматографии. Применение ионообменной хроматографии для разделения катионов. Ионообменные и хелатообразующие сорбенты.

Классификация методов определения. Сравнительная характеристика химических, физико-химических, физических и биологических методов анализа.

### **4. Химические методы анализа**

Гравиметрический метод. Сущность гравиметрического анализа, преимущества и недостатки метода. Осаждаемая и гравиметрическая формы; требования, предъявляемые к ним. Гравиметрический фактор. Механизм процесса осаждения. Образование и свойства коллоидных частиц. Коагуляция коллоидных растворов. Пептизация. Кристаллические и аморфные осадки. Процессы, приводящие к загрязнению осадков. Соосаждение: адсорбция и окклюзия, изоморфизм, последующее осаждение. Условия получения крупнокристаллических и аморфных осадков. Старение осадков. Повторное осаждение. Промывание осадков. Важнейшие неорганические и органические осадители. Примеры практического применения гравиметрического метода анализа.

Титриметрический метод. Требования, предъявляемые к реакциям в титриметрическом анализе. Точка эквивалентности. Способы определения точки эквивалентности. Конечная точка титрования (КТТ). Классификация титриметрических методов анализа. Способы титрования: прямое, обратное,

заместительное, косвенное, инверсивное. Первичные стандарты и требования, предъявляемые к ним. Вторичные стандарты.

Способы выражения концентраций растворов в титриметрическом анализе: молярная концентрация (вещества, эквивалентов вещества), титр (раствора, раствора по определяемому веществу). Эквивалент. Фактор эквивалентности. Виды кривых титрования. Скачок титрования. Эквивалентная часть кривой титрования. Принципы выбора индикатора в титриметрическом методе.

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

Метод кислотно-основного титрования. Принцип метода. Алкалометрия, ацидиметрия. Приготовление и стандартизация рабочих растворов. Кривые титрования. Кислотно-основные индикаторы, их действие. Показатель индикатора и интервал перехода окраски, показатель титрования. Индикаторные погрешности. Примеры определения. Определение кислот (фосфорная, угольная) и оснований (гидроксид натрия, карбонат, гидрокарбонат натрия). Определение солей аммония.

Метод окислительно-восстановительного титрования. Сущность и классификация методов редоксиметрии. Перманганатометрия. Определение Fe(II). Иодометрия. Определение Cu(II). Дихроматометрия. Определение железа (III).

Метод комплексометрического титрования. Комплексонометрия. Применение аминополикарбонновых кислот в комплексонометрии. Металлохромные индикаторы. Практическое применение метода. Определение жесткости воды.

## **5. Физико-химические методы анализа**

Электрохимические методы. Теоретические основы электрохимических методов анализа (ЭХМА). Классификация методов. Кондуктометрия и кондуктометрическое титрование. Факторы, влияющие на электропроводность. Кривые кондуктометрического титрования для реакций нейтрализации, осаждения, комплексообразования. Ионметрия и потенциометрическое титрование. Классификация электродных систем. Методы обработки кривых потенциометрического титрования. Основные понятия электрохимической кинетики (ток, перенапряжение, стадии электрохимического процесса). Амперометрическое титрование с двумя поляризованными электродами. Электрохимически обратимые и необратимые системы. Виды кривых амперометрического титрования. Кулонометрическое титрование при постоянном токе. Основные требования, предъявляемые к реакциям. Способы фиксирования конечной точки титрования.

Спектроскопические методы. Атомно-эмиссионная спектроскопия. Зависимость интенсивности спектральных линий от концентрации, температуры и положения атомов в Периодической системе элементов. Источники возбуждения, используемые приборы и оборудование. Области применения метода. Атомно-абсорбционная спектроскопия. Теоретические основы метода. Источники

первичного излучения: лампы полого катода, атомизаторы. Молекулярная абсорбционная спектроскопия. Закон светопоглощения, ограничения и условия применимости закона Бугера-Ламберта-Бера. Применение метода для анализа объектов и изучения равновесия в растворах. Пламенная фотометрия. Механизм формирования аналитического сигнала, способы его усиления. Аппаратура метода.

Хроматографические методы. Теоретические основы хроматографии. Классификации методов хроматографии: по агрегатному состоянию подвижной и неподвижной фаз, по механизму разделения, по технике выполнения. Основные хроматографические параметры. Селективность и эффективность хроматографического разделения. Критерий разрешения как фактор оптимизации хроматографического процесса. Влияние различных факторов на эффективность разделения. Уравнение Ван-Деемтера. Газовая хроматография. Газоадсорбционная (ГАХ) и газожидкостная (ГЖХ) хроматографии. Сорбенты и носители, требования к ним. Подвижные фазы. Примеры практического применения. Методы идентификации веществ в хроматографии. Индексы удерживания Ковача. Жидкостная хроматография. Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ). Сорбенты, элюенты, детекторы в ВЭЖХ. Адсорбционная жидкостная хроматография. Распределительная (жидкость-жидкостная) хроматография. Нормально-фазовый и обращенно-фазовый варианты. Ионная хроматография. Особенности строения и свойства сорбентов для ионной хроматографии. Двухколоночная и одноколоночная ионная хроматография, их преимущества и недостатки. Детекторы в ионной хроматографии. Ионохроматографическое определение катионов и анионов при анализе различных объектов.

### **Основная литература**

1. Основы аналитической химии: учебник для студентов вузов. Т. 1. Общие вопросы. Методы разделения / под ред. Ю.А. Золотова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Академия, 2012. 416 с.
2. Основы аналитической химии: учебник для студентов вузов. Т. 2. Методы химического анализа / под ред. Ю. А. Золотова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Академия, 2012. 84 с.
3. Кристиан Г. Аналитическая химия Т. 1,2 / Кристиан Г; пер. с англ. А.В. Гармаша, Н.В. Колычевой, Г.В. Прохоровой; М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009.
4. Васильева В.И. Спектральные методы анализа: практическое руководство / В.И. Васильева, О.Ф. Стоянова, И.В. Шкутина, С.И. Карпов. – СПб. Лань, 2021. 416 с.
5. Струнин В.И. Атомная спектроскопия / В.И. Струнин, Н.Н. Струнина, Б.Т. Байсова. Омск: РИО ОГУ 2013.104 с.
6. Марченко З. Методы спектрофотометрии в УФ и видимой областях в неорганическом анализе. М.: Бинум. Лаборатория знаний, 2014.711 с.



7. Миомандр Ф., Садки С. и др. Электрохимия. М.: Техносфера, 2008. 360 с.
8. Вигдергауз М.С., Гольберт К.А Введение в газовую хроматографию. М.: Химия, 1990. 352 с.
9. Сычѐв С.Н. Высокоэффективная жидкостная хроматография, 1-е перераб. СПб. : Лань, 2013. 255 с.

#### Дополнительная литература

1. Cases M.V., López-Lorente Á.I., López-Jiménez M.Á. Foundations of Analytical Chemistry. Springer Cham. 2018. 390 p.
2. Scholz F., Kahlert H. Chemische Gleichgewichte in der Analytischen Chemie. Die Theorie der Säure-Base-, Komplexbildungs-, Fällungs- und Redoxgleichgewichte. Springer. 2018. 260 p.
3. Васильев В.П. Аналитическая химия: учебник для студентов вузов. Кн. 1: Титриметрические и гравиметрические методы анализа / Васильев В.П. 6-е изд., стер. М.: Дрофа, 2007. 268 с.
4. Васильев В.П. Аналитическая химия: учебник для студентов вузов. Кн. 2: Физико-химические методы анализа / Васильев В.П. 6-е изд., стер. М.: Дрофа, 2007. 384 с.
5. Шелковников В.В., Баталова В.Н., Зарубин А.Г. Электрохимические методы анализа. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2011.
6. Москвин Л.Н., Родинков О.В. Методы разделения и концентрирования в аналитической химии. Долгопрудный: Интеллект, 2011. 352 с.
7. [Biosensors: Essentials electronic resource / by G. Evtugyn.](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-40241-8) Berlin, Imprint: Springer. 2014. 265 p. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-40241-8>
8. *Compton R.G., Wadhawan J.D.* Electrochemistry. RSC Publishing. 2013. Vol.11: Nanosystems Electrochemistry.

#### Примеры билетов

#### БИЛЕТ №

1. Принципы выбора индикатора в титриметрическом методе (на примере кислотно-основного титрования).
2. Определение произведения растворимости малорастворимых соединений методом прямой кондуктометрии.
3. Методы идентификации веществ в хроматографии. Индексы удерживания Ковача.
4. Массовую долю (%) оксида меди в минерале определяли методом иодометрии и комплексонометрии. По первому методу получили результаты: 37,91; 38,00; 38,06, по второму - 37,90; 38,05; 38,25. Какой метод позволяет получить более точный результат? Значимо ли различаются результаты данных методов?

## БИЛЕТ №

1. Константы равновесия реакций и процессов: термодинамические, концентрационные, условные. Факторы, влияющие на равновесие. Принципы расчета химических равновесий.
2. Молекулярная абсорбционная спектроскопия. Закон светопоглощения, ограничения и условия применимости закона Бугера-Ламберта-Бера. Применение метода для анализа различных объектов
3. Высокоэффективная жидкостная хроматография. Классификация методов ВЭЖХ.
4. При анализе бронзы на содержание олова спектрофотометрическим методом в виде тиомочевинного комплекса были получены следующие результаты (%): 4,80; 4,64; 4,84; 4,61. Можно ли использовать этот метод анализа для получения результата с относительным стандартным отклонением, не превышающим 5%?

### 2.5. Шкала оценивания ответов на экзамене:

| неудовлетворительно | удовлетворительно | хорошо         | отлично         |
|---------------------|-------------------|----------------|-----------------|
| до 59 баллов        | 60 – 75 баллов    | 76 – 84 баллов | 85 – 100 баллов |

Общая продолжительность экзамена составляет 45 минут.

Максимальное количество баллов за экзамен – 100. Минимальное количество баллов для успешного прохождения экзамена – 60. Поступающий, набравший менее 60 баллов за экзамен, не может быть зачислен в аспирантуру.

### Таблица критериев оценки устных и письменных ответов (при наличии)

| Вид деятельности           |        |   |
|----------------------------|--------|---|
| Оценка                     | Балл   | Уровень владения темой  |
| <b>неудовлетворительно</b> | до 59  | <i>Плохо владеет знаниями теоретических основ аналитической химии, не умеет проводить необходимые расчёты</i>                           |
| <b>удовлетворительно</b>   | 60-75  | <i>Частично владеет знаниями теоретических основ аналитической химии, проводит необходимые расчёты, но делает принципиальные ошибки</i> |
| <b>хорошо</b>              | 76-84  | <i>Владеет знаниями теоретических основ аналитической химии, умеет проводить необходимые расчёты, но допускает ошибки</i>               |
| <b>отлично</b>             | 85-100 | <i>Владеет знаниями теоретических основ аналитической химии, умеет проводить необходимые расчёты</i>                                    |

Вступительное испытание проводится экзаменационной комиссией, действующей на основании приказа ректора.

Итоговая оценка за экзамен определяется как средний балл, выставленный всеми членами экзаменационной комиссии.