

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
**Пермский федеральный исследовательский центр  
Уральского отделения  
Российской академии наук**

Принято на заседании  
Объединенного ученого совета  
ПФИЦ УрО РАН  
Протокол №7/25  
«26» сентября 2025 г.



**УТВЕРЖДАЮ**  
Директор ПФИЦ УрО РАН  
член-корреспондент РАН  
О.А. Плехов  
«29» сентября 2025 г.

**ФОНД  
ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ  
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
«ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ»**

Специальность: 1.4.3 Органическая химия  
(код и наименование)

Форма обучения: Очная

Курс: 4 Семестр(ы): 8

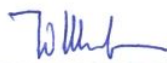
Трудоёмкость:  
Часов по рабочему учебному плану: 108 ч

Виды контроля:  
Экзамен: - 1 Зачёт: - нет Курсовой проект: - нет Курсовая работа: - нет

Фонд оценочных средств (ФОС) для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Органическая химия» разработан на основании:

- Приказа Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 г. №951 «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)»;
- Рабочего учебного плана очной формы обучения специальности 1.4.3 Органическая химия, Основной образовательной программы аспирантуры (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утверждённой протоколом №7/25 заседания Объединенного ученого совета ПФИЦ УрО РАН от 26.09.2025 г.;
- Положения о порядке разработки и утверждения программ аспирантуры Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (ПФИЦ УрО РАН), принятого на заседании Объединенного ученого совета ПФИЦ УрО РАН, протокол №7/25 от 26.09.2025;
- примерной Программы кандидатского экзамена, утвержденной Министерством образования и науки Российской Федерации;
- Приказа Минобрнауки России от 03 июня 2025 года № 466: «О внесении изменений в федеральные государственные требования к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиями их реализации, сроком освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов), утвержденные приказом Минобрнауки России от 20.10.2021 г. №951».

Разработчик: д.х.н., профессор



Ю.В. Шкляев

Рецензент: д.х.н., профессор



А.Н. Масливец

СОГЛАСОВАНО

директор «ИТХ УрО РАН»

член-корреспондент РАН

«\_\_» сентября 2025 г.



В.Н. Стрельников

# 1. КОНТРОЛИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

## 1.1 Описание курса «Органическая химия», результаты обучения

Учебный материал дисциплины осваивается в течение 8-го семестра, в котором предусмотрены лекции, практические занятия, самостоятельная работа аспирантов. При изучении дисциплины формирующиеся знания, умения, навыки проверяются посредством устного опроса; теоретических вопросов; семинаров.

Согласно профессиональной образовательной программе аспирантуры по специальности 1.4.3 Органическая химия учебная дисциплина, относящаяся к образовательному компоненту структуры программы аспирантуры, входит в число обязательных дисциплин, направленных на сдачу кандидатского экзамена образовательной программы по специальности 1.4.3 Органическая химия.

Курс «Органическая химия» предназначен для формирования и развития у аспирантов знаний, умений, навыков в области решения задач органической химии и смежных областей; получения обучающимися теоретических знаний для быстрой и квалифицированной переработки фундаментальных теоретических исследований и получения новых результатов в процессе практической работы над проблемами органической химии; овладения экспериментальными методами, позволяющими выпускнику успешно работать в различных областях профессиональной деятельности: научно-исследовательской, проектной и производственно-технологической с применением современных технологий. Курс «Органическая химия» нацелен на подготовку и успешную сдачу кандидатского экзамена по специальности, а также на подготовку аспирантов к защите диссертации на соискание степени кандидата наук.

В процессе изучения дисциплины «Органическая химия» аспирант формирует:

- Способность проводить научные исследования в области органической химии;
- Способность планировать, проводить и интерпретировать экспериментальные данные по изучению органических соединений.

## 1.2 Этапы формирования знаний по дисциплине

Учебный материал дисциплины осваивается в течение 8-го семестра, в котором предусмотрены консультации и самостоятельная работа аспирантов.

Уровень освоения дисциплины проверяется по результатам промежуточного и итогового контроля.

### Перечень контролируемых результатов обучения дисциплине

Контролируемые результаты обучения дисциплине	Текущий	Зачёт	Кандидатский экзамен
Знать методологию, конкретные методы и приемы научно-исследовательской работы в области органической химии	С, ТЗ	С	С, ТЗ
Знать теоретические положения, описывающие строение молекул органических соединений, механизмы реакций с участием молекул органических соединений	С, ТЗ	С	С, ТЗ
Знать современные методы, приемы планирования эксперимента, обработки и интерпретации экспериментальных данных, используемые в химических исследованиях	С, ТЗ	С	С, ТЗ
Уметь ставить задачу и применять современные методы (численные, аналитические, экспериментальные) для решения задач в области органической химии	С, ТЗ	С	С, ТЗ
Уметь использовать теоретические основы органической химии, базовые принципы дизайна функциональных молекул и методы их исследования в исследовательской деятельности	С, ТЗ	С	С, ТЗ
Уметь формулировать цели и задачи исследования	С, ТЗ	С	С, ТЗ
Уметь применять теоретические знания по методам сбора, хранения, обработки и передачи информации	С, ТЗ	С	С, ТЗ
Уметь применять современные методы и средства исследования для решения конкретных задач органической химии	С, ТЗ	С	С, ТЗ
Уметь планировать проведение экспериментов, анализировать и интерпретировать экспериментальные данные по изучению органической химии	С, ТЗ	С	С, ТЗ
Владеть методами решения задач и анализа проблем органической химии	С, ТЗ	С	С, ТЗ
Владеть основными методами исследований в органической химии	С, ТЗ	С	С, ТЗ
Владеть методами самостоятельного анализа имеющейся информации (лабораторных и натуральных испытаний), практическими навыками и знаниями использования результатов современных исследований в области органической химии	С, ТЗ	С	С, ТЗ
Владеть навыками описания и оформления результатов теоретических и экспериментальных исследований в виде научной статьи, отчёта о научно-исследовательской работе	С, ТЗ	С	С, ТЗ

С - собеседование; ТЗ - творческое задание.

Собеседование - средство контроля, организованное для выяснения объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.

Творческое задание - выступление с подготовленным в ходе самостоятельной работы материалом на тему научно-исследовательской деятельности, позволяющее диагностировать умения интегрировать знания различных областей.

Итоговой оценкой освоения дисциплинарных частей компетенций (результатов обучения дисциплине) является аттестация в виде кандидатского экзамена, проводимого с учетом результатов текущего контроля.

## **2. ОПИСАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ ОЦЕНИВАНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ, ОПИСАНИЕ ШКАЛ ОЦЕНИВАНИЯ**

В процессе формирования освоения курса используются различные формы оценочных средств текущего и промежуточного и итогового контроля.

Задания для текущего контроля и проведения промежуточной аттестации должны быть направлены на оценивание:

1. Уровня освоения теоретических понятий, научных основ профессиональной деятельности;
2. Степени готовности аспиранта применять теоретические знания и профессионально значимую информацию;
3. Приобретенных умений, значимых для профессиональной деятельности.

Задания для оценивания когнитивных умений (знаний) должны предусматривать необходимость проведения аспирантом интеллектуальных действий, направленных на:

- дифференциацию информации на взаимозависимые части, выявление взаимосвязей между ними и т.п.;
- интерпретацию и творческое усвоение информации из разных источников, её системное структурирование;
- комплексное использование интеллектуальных инструментов учебной дисциплины для решения учебных и практических проблем.

### **2.1 Текущий контроль**

Текущий контроль для комплексного оценивания показателей **знаний, умений и владений** проводится в форме собеседования или творческого задания.

- **Собеседование**

Собеседование – средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с аспирантом на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объёма *знаний* обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.

Собеседование может выполняться в индивидуальном порядке или с группой аспирантов. Критерии и показатели оценивания собеседования отображены в шкале, представленной в Таблице 1.

Таблица 1

Уровень освоения	Критерии оценивания уровня освоения учебного материала
Зачтено	Аспирант достаточно свободно использует фактический материал по заданному вопросу, умеет определять причинно-следственные связи событий, логично и грамотно, используя профессиональную терминологию, обосновывает свою точку зрения.
Не зачтено	Аспирант демонстрирует полное незнание материала или наличие бессистемных, отрывочных знаний, связанных с поставленным перед ним вопросом, при этом не ориентируется в профессиональной терминологии.

#### •Защита отчёта о творческом задании

Для оценки *умений и владений* аспирантов используется творческое задание, предполагающее нестандартное решение, позволяющее аспирантам интегрировать знания из различных областей и аргументировать собственную точку зрения.

Творческие задания могут выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов. Критерии оценивания защиты отчёта о творческом задании отображены в шкале, приведённой в Таблице 2.

Таблица 2

Уровень освоения	Критерии оценивания уровня освоения учебного материала
Зачтено	Аспирант выполнил творческое задание успешно, показав в целом систематическое или сопровождающееся отдельными ошибками применение освоенных <i>умений и владений</i> . Аспирант ориентируется в предложенном решении, может его модифицировать при изменении условия задачи. Аспирант может объяснить полностью или частично полученные результаты.
Не зачтено	Аспирант допустил много ошибок или не выполнил творческое задание.

#### 2.1.1 Типовые вопросы для текущего контроля по дисциплине:

1. Гетероциклические соединения. Определение, классификация, номенклатура, биологическая роль.

2. Общая характеристика и ароматический характер гетероциклических соединений.

3. Пятичленные гетероциклические соединения. Строение, способы получение, физико-химические свойства.
4. Пятичленные гетероциклические соединения с одним гетероатомом.
5. Пятичленные гетероциклические соединения с двумя гетероатомами.
6. Шестичленные гетероциклические соединения. Строение, способы получение, физико-химические свойства.
7. Шестичленные гетероциклические соединения с атомом кислорода.
8. Шестичленные гетероциклические соединения с атомом азота.
9. Шестичленные гетероциклические соединения с двумя гетероатомами.
10. Конденсированные системы из гетероциклов и их производные.

### 2.1.2 Типовые творческие задания

1. Предложите методы синтеза спиро[4.5]декан-6-она, спиро[3.4]октан-5-она и спиро[5.6]додекан-7-она. Оцените реакционную способность указанных соединений при взаимодействии с металлоорганическими соединениями.
2. На основе литературных данных обобщите методы синтеза производных изохинолина в зависимости от строения исходных соединений (реакции Бишлера-Напиральского, Бекмана, Пикте-Шпенглера, Риттера).
3. Предложите рациональный путь получения алкалоида псевдопельтьерина.
4. Приведите механизм превращения 4-бромнитробензола в 3-бромбензойную кислоту.
5. Каков результат взаимодействия 2-(2-фениламино)хиноксалина с ацетоном в кислой среде?

## 2.2 Промежуточный контроль

Допуск к промежуточному контролю осуществляется по результатам текущего контроля. Промежуточный контроль проводится в виде контрольных мероприятий в конце каждой темы в виде собеседования (промежуточный контроль - 4 контрольных мероприятия).

### 2.2.1 Шкалы оценивания результатов обучения в ходе промежуточного контроля

Оценка результатов обучения дисциплине в форме уровня сформированности знаний, умений, и навыков проводится по шкале оценивания «зачтено», «не зачтено» путем выборочного контроля во время контрольных мероприятий

Типовая шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче контрольного мероприятия приведены в Таблице 3.

Оценка	Критерии оценивания
<i>Зачтено</i>	<p>Аспирант продемонстрировал сформированные или содержащие отдельные пробелы знания при ответе на теоретический вопрос билета. Показал сформированные или содержащие отдельные пробелы <b>знания</b> в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов правильно.</p> <p>Аспирант выполнил контрольное задание билета правильно или с небольшими неточностями. Показал успешное или сопровождающееся отдельными ошибками применение <b>навыков</b> полученных знаний и <b>умений</b> при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов правильно.</p>
<i>Не зачтено</i>	<p>При ответе на теоретический вопрос билета аспирант продемонстрировал фрагментарные <b>знания</b> при ответе на теоретический вопрос билета. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.</p> <p>При выполнении контрольного задания билета аспирант продемонстрировал частично освоенное <b>умение</b> и <b>применение</b> полученных навыков при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неточностей.</p>

### 2.2.2 Типовые контрольные вопросы для оценивания знаний во время контрольного мероприятия по дисциплине

1. Биосинтез и химический синтез стероидов (синтез Торгова) и др.
2. Биосинтез и представители алкалоидов ряда пиррола, пиридина, хинолина.
3. Электронное строение атома углерода. Электроотрицательность. Шкалы электроотрицательности Полинга, Сандерсона, Малликена. Гибридизация атомных орбиталей атома углерода и других атомов, входящих в состав органических молекул. Взаимное влияние атомов в молекулах органических соединений.
4. Механизмы нуклеофильного замещения галогена в алифатическом ряду. Механизм  $S_N2$ . Влияние природы субстрата, реагента, уходящей группы и растворителя на ход реакции. Классификация активированных комплексов реакций.
5. Механизмы электрофильного замещения у насыщенного атома углерода. Механизмы  $S_E1$  и  $S_E2$ .
6. Реакции элиминирования в алифатическом ряду. Механизмы  $E1$ ,  $E2$  и  $E1cB$ . Стереохимия реакции. Правила Зайцева и Гофмана.
7. Реакции электрофильного присоединения к кратным связям. Механизм реакции  $AdE2$ . Катионы «открытого» и «закрытого» типов.
8. Реакции нуклеофильного присоединения к кратным связям. Влияние заместителей. Реакции присоединения ( $AdN$ ) к карбонильной группе.
9. Реакции радикального присоединения к кратным связям. Механизм

реакций AdR. Правило Караша.

10. Электрофильные внутримолекулярные перегруппировки (Виттига, Фаворского, Стивенса).

11. Нуклеофильные внутримолекулярные перегруппировки. Механизм пинакон-пинаколиновой, ретропинаколиновой перегруппировок.

12. Реакции [2+2]- и [4+2]-циклоприсоединения. Запрещенные и разрешенные по симметрии процессы. Электроциклические реакции.

13. Фураны: реакции и методы синтеза (реакции с электрофильными реагентами, реакции с окислителями, реакции C-металлирования, электроциклические и фотохимические реакции, синтезы фуранов, биологически активные производные фурана.

14. Пирролы: реакции и методы синтеза.

15. Тиофены: реакции и методы синтеза.

16. Пиридины: реакции с электрофильными реагентами, реакции с нуклеофильными реагентами, реакции со свободными радикалами, реакции с восстановителями, окси- и аминопиридины, алкилпиридины, пиридиновые альдегиды и кислоты, четвертичные соли пиридиния, N-оксиды пиридина, синтезы пиридинов.

17. Хинолины и изохинолины: реакции с окислителями, реакции с нуклеофильными реагентами, реакции со свободными радикалами, амина- и окси-хинолины, амина- и окси-изохинолины (изохинолоны).

18. Синтезы хинолинов и изохинолинов. Биологически активные соединения ряда хинолина и изохинолина.

19. Алкалоиды ряда пиррола, пиридина, хинолина, изохинолина, индола.

20. Определение дисциплины «Органический синтез» и основные принципы органического синтеза.

21. Основные принципы органического синтеза. Литий- и магнийорганические соединения в органическом синтезе – сходство и различие.

22. Использование ацетиленов в синтезе ациклических, циклических и гетероциклических соединений.

23. Олефинирование карбонильной группы. Реакции Виттига и Хорнера-Уордсворта-Смита.

24. Альдольная реакция. Реакция Михаэля в полном синтезе органических соединений.

25. Кросс-сочетание с использованием металлоорганических соединений: реакции Сузуки, Стилле, Соногаширы, Негиши. Метатезис олефинов.

26. Методы образования трехчленных, четырехчленных, пятичленных циклов. Анионные и катионные циклизации в синтезе циклогексановых систем.

27. Реакции энантиоселективного окисления: эпоксирирование по Шарплессу, эпоксирирование по Джекобсену, эпоксирирование по Ши. Асимметрическое дигидроксилирование алкенов.

28. Энантиоселективное восстановление карбонильной группы. Стехиометрические восстановители на основе алюмогидрида лития. Восстановление по Кори-Бакши-Шибата. Восстановление на хиральных комплексах рутения(II).

29. Энантиоселективная альдольная конденсация. Энантиоселективное алкилирование. Энантиоселективные реакции Дильса-Альдера. Энантиоселективные еновые реакции.

### **2.2.3 Типовые контрольные задания для оценивания приобретенных умений и владений на зачёте по дисциплине**

1. Найдите в доступной научной литературе объяснение различия перегруппировок производных морфинанового ряда при использовании разбавленных и концентрированных кислот.

2. Приведите примеры роли планирования в органическом синтезе: «от исходных», «от целевых», линейное и конвергентное построение синтеза.

3. Объясните, чем отличаются органическая реакция и синтетический метод.

4. Ретросинтетический анализ целевых структур.

5. Взаимопревращения функциональных групп. Изогипсические и неизогипсические трансформации.

6. Проблема селективности (регио-, диастерео-, энантио-) в органическом синтезе.

### **2.3 Итоговый контроль**

Допуск к итоговому контролю осуществляется по результатам текущего и промежуточного контроля. Итоговый контроль по дисциплине проходит в форме кандидатского экзамена по специальности, в устно-письменной форме по билетам. Экзамен сдаётся по программе кандидатского экзамена по дисциплине «Органическая химия», утверждённой директором ПФИЦ УрО РАН и входит в промежуточную аттестацию по программе аспирантуры. Кандидатский экзамен по специальности 1.4.3 Органическая химия оценивается по 5-балльной системе оценивания. Типовая шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче кандидатского экзамена для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в Таблице 4. Для сдачи

кандидатского экзамена формируются и утверждаются билеты. Билет содержит теоретический вопрос (ТВ) для проверки *знаний* и практические задания (ПЗ) для проверки *умений* и *владений*.

Таблица 4

Оценка	Критерии оценивания
5	<p>Аспирант продемонстрировал сформированные и систематические знания при ответе на теоретический вопрос билета. Показал отличные <b>знания</b> в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все или большинство дополнительных вопросов.</p> <p>Аспирант правильно выполнил контрольное задание билета. Показал успешное и систематическое <b>применение</b> полученных знаний и <b>умений</b> при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все или большинство дополнительных вопросов.</p>
4	<p>Аспирант продемонстрировал сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания при ответе на теоретический вопрос билета. Показал недостаточно уверенные <b>знания</b> в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов.</p> <p>Аспирант выполнил контрольное задание билета с небольшими неточностями. Показал в целом успешное, но сопровождающееся отдельными ошибками применение <b>навыков</b> полученных знаний и <b>умений</b> при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов.</p>
3	<p>Аспирант продемонстрировал неполные знания при ответе на теоретический вопрос билета с существенными неточностями. Показал неуверенные <b>знания</b> в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.</p> <p>Аспирант выполнил контрольное задание билета с существенными неточностями. Показал в целом успешное, но не систематическое <b>применение</b> полученных знаний и <b>умений</b> при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.</p>
2	<p>При ответе на теоретический вопрос билета аспирант продемонстрировал фрагментарные <b>знания</b> при ответе на теоретический вопрос билета. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.</p> <p>При выполнении контрольного задания билета аспирант продемонстрировал частично освоенное <b>умение</b> и <b>применение</b> полученных навыков при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неточностей.</p>

### 2.3.1 Типовые контрольные вопросы для оценивания знаний на кандидатском экзамене по дисциплине

1. Реакционная способность ароматических гетероциклических соединений – общая характеристика, сходство и различие в реакциях пиррола, фурана, тиюфена, пиридина. Реакции электрофильного присоединения к атому азота, реакции электрофильного и нуклеофильного замещения при атоме углерода, металлоорганические производные.

2. Индол. Синтез индола по Фишеру, Маделунгу. Реакции электрофильного замещения в пиррольном кольце индола: нитрование, формилирование, галогенирование. Синтез и свойства граминов.

3. Пиррол. Синтез пирролов по Кнорру и Ганчу, другие методы синтеза. Реакции электрофильного замещения и их особенности: нитрование, сульфирование, галогенирование, формилирование, ацилирование и т.д.

4. Пиридин. Синтез производных пиридина по Ганчу. Гетеро-реакция Дильса-Альдера в синтезе пиридина. Использование триазинов для синтеза производных пиридина (реакция Карбони-Линдсея). Реакции пиридина с алкилгалогенидами, окисление и восстановление пиридина. Реакции электрофильного замещения в пиридине: нитрование, сульфирование, галогенирование. N-Окиси пиридина. Нуклеофильное замещение атомов водорода в пиридине (реакция Чичибабина). 2- и 4-алкилпиридины как метиленовые компоненты в реакциях с альдегидами.

5. Хинолин и изохинолин. Синтез хинолинов по Скраупу, Байеру-Древсену и Дёбнеру-Миллеру. Синтез изохинолинов: реакции Бишлера-Напиральского, Пикте-Шпенглера, Боббита, Бекмана, Риттера. Реакции хинолина и изохинолина с алкилгалогенидами, окисление и восстановление хинолина и изохинолина. Реакции электрофильного и нуклеофильного замещения при атоме углерода.

6. Фуран. Методы синтеза и реакции фурана и его производных. Реакции электрофильного замещения в фуранах: нитрование, формилирование, галогенирование. Рециклизации производных фурана. Реакции Дильса-Альдера для фурана и его производных.

7. Тиофен. Методы получения (реакции Юрьева, Хинсберга, синтез по Воронкову). Реакции с электрофильными и нуклеофильными реагентами. Использование тиофена для увеличения цепи на четыре (восемь) углеродных атома (комбинация ацилирование-десульфирование).

8. Перегруппировки в карбокатионных интермедиах – перегруппировки Демьянова, Вагнера-Меервейна, Намёткина, Гофмана, Курциуса, Бекмана, пинаколиновая и ретропинаколиновая перегруппировки. Реакция Байера-Виллигера.

9. Электрофильное замещение в ароматическом ряду. Алкилирование аренов по Фриделю-Крафтсу: алкилирующие агенты, механизм реакции. Побочные процессы: полиалкилирование, изомеризация алкилирующего агента и продуктов реакции. Синтез диарил- и триарилметанов. Ацилирование аренов: механизм реакции, ацилирующие агенты, катализаторы, региоселективность ацилирования. Формилирование по Гаттермену-Коху,

Гаттерману и Вильсмейеру. Перегруппировка Фриса. Область применения реакций.

10. Электрофильное замещение в ароматическом ряду: нитрование, галогенирование, сульфирование. Влияние заместителей в кольце арена на скорость и направление реакций. Согласованная и несогласованная ориентация. Ипсо-атака и ипсо-замещение в реакциях нитрования.

11. Карбокатионы. Генерирование карбокатионов в растворах и в газовой фазе. Влияние структурных и сольватационных факторов на устойчивость карбокатионов. Строение карбокатионов. Понятие о неклассических карбокатионах. Основные типы реакций карбокатионов и области их синтетического приложения. Скелетные перегруппировки и гидридные сдвиги в карбокатионах.

12. Реакции элиминирования: механизмы гетеролитического элиминирования E1 и E2. Стереoeлектронные требования и стереоспецифичность при E2-элиминировании. Термическое син-элиминирование.

13. Электрофильное замещение у атома углерода. Механизмы замещения S<sub>E1</sub>, S<sub>E2</sub>, S<sub>Ei</sub>. Нуклеофильный катализ электрофильного замещения. Влияние структуры субстрата и эффектов среды на скорость и направление реакций. Замещение у олефинового атома углерода и в ароматическом кольце. Генерирование электрофильных реагентов. Правила ориентации и их молекулярно-орбитальная интерпретация. Электрофильное замещение других групп, кроме водорода. *Inco*-замещение.

14. Нуклеофильное замещение в алифатическом ряду. Механизмы S<sub>N1</sub> и S<sub>N2</sub>, смешанный ионно-парный механизм. Влияние структуры субстрата и полярности среды на скорости и механизм реакции. Анхимерное содействие и синергетическое ускорение, участие соседних групп, перегруппировки в ходе нуклеофильного замещения.

15. Алканы: методы синтеза (гидрирование непредельных углеводородов, синтез через литийдиалкилкупраты, электролиз солей карбоновых кислот по Кольбе, восстановление карбонильных соединений). Галогенирование, сульфохлорирование и нитрование алканов. Селективность радикальных реакций и относительная стабильность алкильных радикалов. Термический и каталитический крекинг. Ионные реакции алканов с суперкислых средах (дейтерообмен и галогенирование).

16. Циклоалканы: методы синтеза и строение циклопропанов, циклобутанов, циклопентанов и циклогексанов. Типы напряжения в циклоалканах и их подразделение на малые, средние и макроциклы. Ацилоиновая конденсация как метод синтеза соединений со средним

размером цикла. Конформационный анализ циклогексана, моно- и дизамещенных циклогексанов, аксиальные и экваториальные связи. Влияние конформационного положения функциональных групп на их реакционную способность в ряду циклогексана на примере реакций замещения, отщепления и окисления. Реакции расширения и сужения циклов на примерах реакций Демьянова и Фаворского.

17. Алкены. Методы синтеза: элиминирование галогенводородов из галогеналканов, дегидратация спиртов. Расщепление четвертичных аммониевых солей по Гофману. Синтез из N-окисей аминов по Коупу. Стереоселективный синтез цис- и транс-олефинов из 1,2-диолов по Кори и Уинтеру. Региоселективный синтез из тозилгидразонов по Шапиро. Реакция Виттига как региоспецифический метод синтеза алкенов. Стабилизированные и не стабилизированные илиды. Стереохимия и хемоселективность реакции Виттига. Эфиры алкилфосфоновых кислот и их использование в синтезе алкенов (реакции Михаэля, Арбузова, Виттига-Хорнера-Эммонса).

18. Реакции алкенов: электрофильное присоединение галогенов, галогенводородов, воды. Процессы, сопутствующие  $Ad_E$ -реакциям: сопряженное присоединение, гидридные и алкильные миграции. Гидрокси- и алкоксимеркурирование. Реакция Брауна и региоспецифические гидроборирующие реагенты. Превращения бор-органических соединений в соединения других классов. Синтез оксиранов по Прилежаеву, понятие о энантиомерном эпоксировании по Шарплессу, цис-гидроксилирование по Вагнеру и Криге. Радикальные реакции алкенов (Хараш).

19. Спирты: методы синтеза одноатомных спиртов из алкенов, карбонильных соединений, сложных эфиров. Реакции одноатомных спиртов: замещение гидроксильной группы на галоген, дегидратация спиртов, реакции окисления спиртов по Моффету и Сверну. Методы синтеза и реакции двухатомных спиртов. Глицерин как представитель трёхатомных спиртов.

20. Карбоновые кислоты и их производные. Методы синтеза: окисление первичных спиртов и альдегидов, алкенов, алкинов, алкилбензолов, гидролиз нитрилов и амидов, синтез на основе металлоорганических соединений, синтеза на основе малонового эфира. Реакции кислот: галогенирование по Геллю-Фольгардту-Зелинскому, пиролиз солей карбоновых кислот, электролиз по Кольбе, декарбоксилирование по Хундиккеру. Методы получения галогенангидридов, ангидридов, сложных эфиров, нитрилов, амидов. Кетены, их получение и свойства. Восстановление галогенангидридов кислот до альдегидов по Розенмунду, реакция Арндта-Эйстера. Эфиры альфа-галогеносоединений в реакции Реформатского.

21. Карбоновые кислоты и их производные. Дикарбоновые кислоты, методы их получения. Синтезы на основе малонового эфира, реакция Михаэля, ацилоиновая конденсация как метод синтеза карбоциклов (Ружичка). Синтезы на основе ацетоуксусного и циануксусного эфира.

22. Алкины. Методы синтеза: отщепление галогеноводорода, окисление 1,2-дигидразонов окисью ртути и тетраацетатом свинца. Реактив Иоцича и синтезы на его основе. Димеризация ацетиленов по Глазеру и Кадио-Ходкевичу. Конденсация терминальных алкинов с кетонами по Фаворскому, синтезы Реппе. Гидратация алкинов по Кучерову. Ацетилен-алленовая изомеризация. Ацетилендикарбоновая кислота и её эфиры в органическом синтезе.

23. Амины. Методы получения: алкилирование аммиака и аминов по Гофману, синтез Габриэля, перегруппировка Бекмана, восстановление нитрилов, амидов кислот, алкилазидов, ароматических и алифатических нитросоединений. Перегруппировки Гофмана и Курциуса, реакция Лейкарта, получение первичных аминов при вторичном или третичном атоме углерода по Риттеру. Реакции аминов.

24. Альдегиды и кетоны. Методы получения: окисление спиртов, пиролиз солей карбоновых кислот, гидратация ацетиленов по Кучерову, гидроборирование алкенов по Брауну, озонлиз алкенов, синтез на основе литий- и магнийорганических соединений, третичные карбоновые кислоты из алкенов по Коху-Хаафу, синтезы на основе ацетоуксусного эфира. Ацилирование и формилирование аренов и гетероциклических соединений. Реакции альдегидов и кетонов: присоединение воды, спиртов, тиолов, цианистого водорода, аминов, гидразинов, гидроксиламина. 1,3-дитианы и их использование в синтезе: обращение полярности С=О-группы. Реакция Виттига как метод олефинирования альдегидов и кетонов. Синтез кислородсодержащих соединений по Гриньяру.

25. Альдегиды и кетоны. Енамины как инструмент органического синтеза: алкилирование, ацилирование, нитрозирование. Альдольно-кетоновая конденсация как метод усложнения углеродного скелета. Использование силиловых эфиров для направленной альдольной конденсации разноименных альдегидов. Аминометилирование альдегидов и кетонов (реакции Манниха, Робинсона-Шёпфа). Использование метилвинилкетона для построения бициклических структур (реакция Робинсона). Реакция Анри как метод построения сложных структур. Конденсация Кневенагеля. Окисление кетонов по Байеру-Виллигеру. Восстановление альдегидов и кетонов по Кижнеру-Вольфу и Клемменсену.

### 2.3.2 Типовые контрольные задания для оценивания приобретенных умений и владений на кандидатском экзамене по дисциплине

1. Предложите 2 способа получения п-аминобензальдегида из п-нитротолуола
2. Синтез алкалоида псевдопелтьерина по Робинсону
3. Предложите синтез 3-адамантил-3,4-дигидроизохинолина из бензола и 2-оксоадамантана и вспомогательных реагентов
4. Предложите 2 схемы синтеза гидрохлорида N-(2-бромфенил)-3-(диэтиламино)пропанамида
5. Объясните, почему различаются взаимодействие 1,2-дибромбензола и 2,3-дибромтиофена с магнием в эфире.

### 2.3.3. Типовой билет кандидатского экзамена

1. Реакции алкенов: электрофильное присоединение галогенов, галогенводородов, воды. Процессы, сопутствующие  $A_{E_2}$ -реакциям: сопряженное присоединение, гидридные и алкильные миграции. Гидрокси- и алкоксимеркурирование. Реакция Брауна и региоспецифические гидроборирующие реагенты. Превращения бор-органических соединений в соединения других классов. Синтез оксиранов по Прилежаеву, понятие о энантиомерном эпоксицировании по Шарплессу, цис-гидроксилирование по Вагнеру и Криге. Радикальные реакции алкенов (Хараш).

2. Карбоновые кислоты и их производные. Методы синтеза: окисление первичных спиртов и альдегидов, алкенов, алкинов, алкилбензолов, гидролиз нитрилов и амидов, синтез на основе металлоорганических соединений, синтеза на основе малонового эфира. Реакции кислот: галогенирование по Геллю-Фольгардту-Зелинскому, пиролиз солей карбоновых кислот, электролиз по Кольбе, декарбоксилирование по Хунсдиккеру. Методы получения галогенангидридов, ангидридов, сложных эфиров, нитрилов, амидов. Кетены, их получение и свойства. Восстановление галогенангидридов кислот до альдегидов по Розенмунду, реакция Арндта-Эйстерта. Эфиры альфа-галогеносоединений в реакции Реформатского.

3. Перегруппировки в карбокатионных интермедиатах – перегруппировки Демьянова, Вагнера-Меервейна, Намёткина, Гофмана, Курциуса, Бекмана, пинаколиновая и ретропинаколиновая перегруппировки. Реакция Байера-Виллигера.