



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИРКУТСКИЙ ИНСТИТУТ ХИМИИ им. А.Е. ФАВОРСКОГО  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**УТВЕРЖДАЮ**  
Директор, д.х.н.  **А.В. Иванов**  
«31» мая 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Органическая химия**

основная образовательная программа –  
программа подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре  
по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки,  
профиль Высокомолекулярные соединения

Квалификация: Исследователь.  
Преподаватель-исследователь.

Год набора: 2018

Иркутск  
2018

Рабочая программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки (уровень подготовки кадров высшей квалификации) (утвержден Приказом Министерства образования и науки РФ от 30.07.2014 № 869)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА РАССМОТРЕНА И ОДОБРЕНА на заседании Ученого совета ИрИХ СО РАН протокол № 7 от 30 мая 2018 г.

Начальник отдела аспирантуры к.х.н.



Н.Н. Трофимова

## 1. Цели и задачи учебной дисциплины

Рассматриваемая дисциплина относится к элективным дисциплинам при подготовке аспирантов, обучающихся по профилю Высокомолекулярные соединения.

**Целью изучения дисциплины** является приобретение фундаментальных знаний и практических навыков, необходимых для профессиональной научно-исследовательской, инновационной и образовательной деятельности в области органической химии и в смежных областях науки; формирование обобщающей теоретической базы для изучения фундаментальных основ органической химии и возможности их использования на практике.

### Задачи:

- формирование у обучающихся современных представлений об органической химии, ее роли и значимости в сопоставлении с другими химическими науками;
- формирование глубокого понимания общих закономерностей зависимости свойств органических соединений от их строения;
- освоение навыков теоретического анализа результатов экспериментальных исследований в области органической химии;
- освоение методов планирования эксперимента и обработки собственных исследований;
- обучение умению систематизировать и обобщать результаты собственных исследований в сопоставлении с известными литературными данными;
- обучение умению оформлять результаты собственных исследований в виде публикаций, отчетов, докладов.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

2.1. Учебная дисциплина Б1.В.ДВ.1.1 «Органическая химия» входит в вариативную часть междисциплинарного профессионального модуля ООП.

2.2. Данная программа строится на преемственности программ в системе высшего образования и предназначена для аспирантов ИрИХ СО РАН, прошедших успешное обучение по программе подготовки магистров или специалистов. Она основывается на положениях, отраженных в учебных программах указанных уровней. Для освоения дисциплины «Органическая химия» требуются знания и умения, приобретенные обучающимися в результате освоения ряда дисциплин (разделов дисциплин), таких как:

- Теоретические основы органического синтеза;
- Физико-химические методы исследования структуры веществ;
- Основы стереохимии;
- Химия элементоорганических соединений;
- Механизмы органических реакций;
- Химия высокомолекулярных соединений;
- Основы квантово-химического моделирования строения молекул и реакционной способности веществ.

2.3. Дисциплина «Органическая химия» необходима при подготовке к государственной итоговой аттестации.

### 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины «Органическая химия» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ООП по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки, профиль Высокомолекулярные соединения:

#### **Профессиональные компетенции:**

- умение проводить анализ, самостоятельно ставить задачу исследования наиболее актуальных проблем, имеющих значение для химической отрасли, грамотно планировать эксперимент и осуществлять его на практике, владение базовыми представлениями о теоретических основах органической химии, механизмах органических реакций, стереохимии, химии элементоорганических соединений и органической химии (ПК-3);

По окончании изучения дисциплины аспиранты должны будут:

#### **Знать:**

- методы получения, химические свойства и практическое использование основных классов органических соединений;
- типовые методы органического синтеза, используемые реагенты и оборудование;
- механизмы основных органических реакций, подходы и методы изучения механизмов;
- влияние строения на реакционную способность органических соединений;
- физико-химические методы исследования строения органических соединений и органических реакций;
- современную периодическую литературу (журналы) и электронные базы данных в области органической химии и методов поиска свойств и получения органических веществ;
- принципы теоретических расчетов свойств органических соединений, термодинамических и кинетических параметров органических реакций;
- роль и место органической химии в системе фундаментальных химических наук и производстве современной инновационной продукции.

#### **Уметь:**

- выбирать методы и реагенты синтеза органических соединений;
- планировать многостадийный органический синтез;
- проводить разделение смесей органических веществ и идентификацию состава и строения с помощью химических и физико-химических методов анализа;
- осуществлять поиск методов получения и свойств органических соединений с использованием современных баз данных и поисковых систем;
- проводить моделирование химических реакций с использованием полуэмпирических и неэмпирических квантово-химических методов.

#### **Иметь опыт:**

- планирования и проведения органического синтеза;
- очистки органических веществ и идентификации их строения с использованием химических и физико-химических методов;
- моделирования свойств веществ и параметров органических реакций с использованием квантово-химических методов;
- написания научных отчетов и статей.

### 4. Структура и содержание учебной дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы (72 часа).

#### 4.1. Структура дисциплины

| № | Наименование дисциплины | Объем учебной работы, ч |                 |               |     |       |     |                | Вид итогового контроля |
|---|-------------------------|-------------------------|-----------------|---------------|-----|-------|-----|----------------|------------------------|
|   |                         | Всего                   | Всего аудиторн. | Из аудиторных |     |       |     | Самост. работа |                        |
|   |                         |                         |                 | Лекц          | Лаб | Практ | КСР |                |                        |
| 1 | Органическая химия      | 72                      | 36              | 18            | -   | 18    | -   | 36             | Зачет                  |

#### 4.2. Содержание дисциплины

##### 4.2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

| №                   | Наименование разделов                                                                       | Виды учебной работы и трудоемкость, ч |           |          |           |           |          | Формы текущего контроля успеваемости  |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|---------------------------------------|
|                     |                                                                                             | Всего                                 | Лекц.     | Лаб      | Практ     | СР        | КСР      |                                       |
| 1                   | Закономерности строения и реакционной способности органических соединений                   | 18                                    | 4         | -        | 5         | 9         | -        | Устный групповой опрос                |
| 2                   | Основные типы органических реакций и их механизмы                                           | 18                                    | 5         | -        | 4         | 9         | -        | Устный групповой опрос                |
| 3                   | Принципы современного органического синтеза и установления строения органических соединений | 18                                    | 4         | -        | 5         | 9         | -        | Устный групповой опрос, решение задач |
| 4                   | Основные классы органических веществ                                                        | 18                                    | 5         | -        | 4         | 9         | -        | Устный групповой опрос                |
| <b>Всего часов:</b> |                                                                                             | <b>72</b>                             | <b>18</b> | <b>-</b> | <b>18</b> | <b>36</b> | <b>-</b> |                                       |

##### 4.2.2 Содержание разделов и тем дисциплины

###### Раздел 1. Закономерности строения и реакционной способности органических соединений

Электронные представления о природе связей. Типы связей в органической химии. Гибридизация атомов углерода и азота. Электронные эффекты. Электроотрицательность атомов и групп. Основные положения квантовой химии. Атомные и молекулярные орбитали. Приближение МО-ЛКАО. Метод МО Хюккеля и более строгие квантово-химические методы расчета. Понятие о полуэмпирических методах, основанных на приближении Хартри—Фока (MNDO, AM1, PM3 и др.). Методы *ab initio*. Метод функционала плотности (DFT). Компромиссные подходы (локализованные связи, гибридизация, частичный учет делокализации электронов на примере  $\sigma$ - $\pi$ -приближения). Теория возмущений МО. Возмущения первого и второго порядков. Индексы реакционной способности. Метод граничных орбиталей. Зарядовый и орбитальный контроль органических реакций. Понятие о резонансе (сопряжении) в классической и квантовой химии. Сопряжение в методе МО Хюккеля. Концепция ароматичности. Правило Хюккеля. Мезоионные соединения. Антиароматичность.

Стереохимия. Пространственное строение органических молекул. Пространственное взаимодействие несвязанных атомов и групп, ван-дер-ваальсовы радиусы.

Понятие о конформации молекулы. Вращение вокруг связей: величины и симметрия потенциальных барьеров. Факторы, определяющие энергию конформеров. Влияние эффектов сопряжения на стабильность конформеров. Номенклатура конформеров. Угловое напряжение и другие типы напряжения в циклических системах. Средние циклы и трансаннулярные взаимодействия. Инверсия циклов и азотсодержащих соединений.

Связь конформации и реакционной способности. Принцип Кертина—Гаммета. Стерический и стереоэлектронный контроль реакций. Стереоселективность и стереоспецифичность.

Пространственное строение этиленовых и диеновых систем. Номенклатура геометрических изомеров. Конформация диенов и триенов. Атропоизомерия.

Энантиомерия. Асимметрия и хиральность. Эквивалентные, энантиотопные и диастереотопные группы; их проявление в химическом поведении молекул в хиральных и ахиральных средах и спектрах ЯМР. Номенклатура оптических антиподов. Неуглеродные атомы как центры хиральности.

Способы получения и разделения энантиомеров. Оптическая чистота и методы ее определения. Определение абсолютной и относительной конфигурации. Понятие о дисперсии оптического вращения и круговом дихроизме.

Классификация реакций по типу образования и разрыва связей в лимитирующей стадии, по типу реагента и по соотношению числа молекул реагентов и продуктов. Теория переходного состояния. Гиперповерхность потенциальной энергии, координата и энергетический профиль реакции. Термодинамические параметры активации. Кинетические уравнения основных типов реакций. Методы экспериментального изучения кинетики и механизмов реакций. Метод стационарного состояния (принцип Боденштейна). Постулат Хэммонда.

Эмпирический (экстратермодинамический) подход к реакционной способности. Корреляционные уравнения, принцип линейности свободных энергий Гиббса. Уравнения Гаммета и Тафта. Связь параметров корреляционных уравнений с механизмом реакций. Принцип ЖМКО; его обоснование на основе теории возмущений МО.

Количественная теория кислот и оснований. Кислоты Бренстеда и Льюиса. Кислотно-основное равновесие. Понятие pH. Кинетическая и термодинамическая кислотность. Уравнение Бренстеда. Общий и специфический кислотно-основный катализ. Суперкислоты. Функции кислотности. Постулат Гаммета.

Влияние среды на скорости и равновесие органических реакций. Специфическая и неспецифическая (универсальная) сольватация. Клеточный эффект. Водородная связь. Классификация и шкалы параметров растворителей. Влияние сольватации на скорость и равновесие органических реакций. Уравнения Уинштейна и Грюнвальда, Коппеля-Пальма. Кислотность и основность в газовой фазе.

Ассоциация ионов. Типы ионных пар и доказательства их существования. Влияние ассоциации ионов на их реакционную способность. Уравнение Акри. Межфазный катализ. Краун-эфиры, криптанды, поданды, катализаторы межфазного переноса. Понятие о супрамолекулярной химии.

Карбениевые ионы (карбокатионы). Генерация карбокатионов в растворах и в газовой фазе. Влияние структурных и сольватационных факторов на стабильность карбокатионов. Строение карбокатионов. Понятие о неклассических ионах. Основные типы реакций карбокатионов и области их синтетического использования. Скелетные перегруппировки и гидридные сдвиги в карбокатионах.

Карбанионы и СН-кислоты. Влияние структурных и эффектов среды на стабилизацию карбанионов. Основные реакции карбанионов, анионные перегруппировки. Амбидентные и полидентные анионы. Карбены. Электронная структура, синглетное и триплетное состояние карбенов. Методы генерации карбенов и использование их в органическом синтезе. Нитрены, их генерация, строение и свойства.

Свободные радикалы и ион-радикалы. Методы генерирования радикалов. Электронное строение и факторы стабилизации свободных радикалов. Типы стабильных свободных радикалов. Основы методов ЭПР и ХПЯ. Катион- и анион-радикалы. Методы генерирования и свойства. Основные реакции ион-радикалов. Комплексы с переносом заряда.

## **Раздел 2. Основные типы органических реакций и их механизмы**

Нуклеофильное замещение в алифатическом ряду. Механизмы S<sub>N</sub>1 и S<sub>N</sub>2, смешанный ионно-парный механизм. Влияние структуры субстрата и полярности растворителя на скорости и механизм реакции. Анхимерное содействие и синергетическое ускорение, участие со-

седних групп, перегруппировки в ходе нуклеофильного замещения. Корреляционные уравнения Свэйна—Скотта и Эдвардса.

Нуклеофильное замещение при кратной углерод-углеродной связи и в ароматическом ядре. Типичные механизмы нуклеофильного замещения у  $sp^2$ -гибридного атома углерода. Винильный катион. Моно- и бимолекулярные процессы нуклеофильного замещения в ароматическом ряду. Катализ переходными металлами. Нуклеофильное замещение в нитропроизводных бензола. Нуклеофильное замещение водорода (викариозное замещение). Комплексы Мейзенхаймера. Нуклеофильное замещение в ароматических гетероциклах. Кине-замещение.

Электрофильное замещение у атома углерода. Механизмы замещения  $S_E1$ ,  $S_E2$ ,  $S_Ei$ . 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. Ипсо-замещение. Кинетические изотопные эффекты.

Реакции элиминирования (отщепления). Механизмы гетеролитического элиминирования  $E1$  и  $E2$ . Стереoeлектронные требования и стереоспецифичность при  $E2$ -элиминировании. Термическое син-элиминирование.

Присоединение по кратным углерод-углеродным связям. Электрофильное присоединение. Сильные и слабые электрофилы, механизм и стереохимия присоединения, регио- и стереоселективность реакций. Присоединение к сопряженным системам. Катионная полимеризация олефинов. Нуклеофильное присоединение по кратным связям  $C=C$ . Механизм процесса. Влияние структуры нуклеофила и субстрата и эффектов среды на скорость и направление реакции. Реакция Михаэля. Анионная полимеризация олефинов.

Нуклеофильное присоединение к карбонильной группе: присоединение оснований, включая карбанионы, металлоорганических соединений. Реакция Анри. Кислотный и основной катализ присоединения. Енолизация альдегидов и кетонов. Механизм этерификации кислот и получение ацеталей. Конденсации карбонильных соединений, карбоновых кислот и их производных. Нуклеофильное присоединение к альд- и кетиминам и карбоний-иммониевым ионам (реакция Манниха).

Перегруппировки в карбокатионных интермедиатах. Классификация перегруппировок: пинаколиновая и ретропинаколиновая, перегруппировка Демьянова. Перегруппировка Вагнера—Мейервейна. Перегруппировки с миграцией к атому азота (Гофмана, Курциуса, Бекмана). Реакция Байера—Виллигера.

Радикальные и ион-радикальные реакции присоединения, замещения и элиминирования. Цепные радикальные реакции. Полимеризация, теломеризация, реакции автоокисления. Ингибиторы, инициаторы и промоторы цепных реакций. Редокс-реакции. Электросинтез органических соединений.

Молекулярные реакции (*цис-транс*-изомеризация, распад молекул, размыкание циклов). Коарктатные реакции.

Согласованные реакции. Концепция сохранения орбитальной симметрии и правила Вудворда—Гофмана. Электроциклические реакции, сигматропные перегруппировки. Перициклические реакции (2+2) и (2+4)-циклоприсоединения. 1,3-диполярное циклоприсоединение. Двойственная реакционная способность и таутомерия органических соединений. Прототропные и сигматропные перегруппировки. Правило Корнблума. Кето-енольное равновесие. Нитросоединения и нитроновые кислоты, нитрозосоединения и оксимы. Металлотропия.

Основы фотохимии органических соединений. Синглетные и триплетные состояния, флуоресценция и фосфоресценция, интеркомбинационная конверсия. Основные типы фотохимических реакций. Явление фотохромизма.

### **Раздел 3. Принципы современного органического синтеза и установления строения органических соединений**

Выбор оптимального пути синтеза. Принцип ретросинтетического анализа. Линейные и конвергентные схемы синтеза. Синтоны и синтетические эквиваленты. Защита функциональных групп. Методы введения и удаления защитных групп. Основные пути построения

углеродного скелета. Методы введения важнейших функциональных групп и пути перехода от одних функций к другим. Элементоорганические соединения (производные фосфора, бора, кремния, меди, лития, магния, олова) в органическом синтезе. Металлокомплексный катализ.

Использование химических и физико-химических методов для установления структуры органических соединений. Спектроскопия ЯМР, ЭПР, колебательная и электронная спектроскопия, масс- и хромато-масс-спектрометрия. Газожидкостная и жидкостная хроматография, ионообменная и гелепроникающая хроматография, электрофорез. Рентгеноструктурный анализ и электронография. Рефрактометрия.

Особенности оборудования и методики проведения реакций в гетерофазных и гетерогенных системах. Современные методы обработки реакционных масс, очистки и выделения продуктов. Проведение реакций на твердых носителях. Принципы комбинаторной химии.

Техника безопасности и экологические проблемы органического синтеза. «Зеленая химия». Термохимия органических реакций. Тепловой взрыв.

#### Раздел 4. Основные классы органических веществ

Методы синтеза: гидрирование непредельных углеводородов, синтез через литийдиалкилкупраты, электролиз солей карбоновых кислот (Кольбе), восстановление карбонильных соединений.

Реакции алканов: галогенирование, сульфохлорирование. Селективность радикальных реакций и относительная стабильность алкильных радикалов. Термический и каталитический крекинг. Ионные реакции алканов в суперкислых средах (дейтериеводородный обмен и галогенирование).

Циклоалканы. Методы синтеза и строение циклопропанов, циклобутанов, циклопентанов и циклогексанов. Синтез соединений со средним размером цикла (ацилиновая конденсация). Типы напряжения в циклоалканах и их подразделение на малые, средние и макроциклы. Конформационный анализ циклогексана, моно- и дизамещенных циклогексанов; аксиальные и экваториальные связи. Влияние конформационного положения функциональных групп на их реакционную способность в ряду производных циклогексана на примере реакций замещения, отщепления и окисления. Реакции расширения и сужения циклов при дезаминировании первичных аминов (Демьянов). Сужение цикла в реакции Фаворского ( $\square$  - галогенциклоалканы).

Методы синтеза: элиминирование галогеноводородов из алкилгалогенидов, воды из спиртов. Синтез алкенов из четвертичных аммониевых солей (Гофман), N-оксидов третичных аминов (Коуп). Стереоселективное восстановление алкинов. Стереоселективный синтез *цис*- и *транс*-алкенов из 1,2-диолов (Кори, Уинтер). Региоселективный синтез алкенов из тозилгидразонов (Шапиро). Реакция Виттига как региоспецифический метод синтеза алкенов. Основания, используемые в реакции. Стабилизированные и нестабилизированные илidy. Стереохимия реакции. Хемоселективность реакции Виттига. Получение эфиров алкилфосфоновых кислот (Михаэль—Арбузов) и их использование в синтезе алкенов (вариант Виттига—Хорнера—Эммонса). Область применения реакции.

Реакции алкенов: электрофильное присоединение галогенов, галогеноводородов, воды. Процессы, сопутствующие  $Ad_E$ -реакциям: сопряженное присоединение, гидридные и алкильные миграции. Гидрокси- и алкоксимеркурирование. Регио- и стереоселективное присоединение гидридов бора. Региоспецифические гидроборирующие агенты. Превращение борорганических соединений в алканы, спирты, алкилгалогениды. Окисление алкенов до оксиранов (Прилежаев). Понятие об энантиомерном эпоксицировании алкенов по Шарплесу (в присутствии изопропилата титана и эфира L-(+)-винной кислоты). *Цис*-гидроксилирование алкенов по Вагнеру ( $KMnO_4$ ) и Криге ( $OsO_4$ ). Окисление алкенов галогеном в присутствии солей серебра: *цис*-(Вудворт) и *транс*-(Прево) гидроксилирование. Радикальные реакции алкенов: присоединение бромистого водорода по Каррашу, сероводорода и тиолов. Аллильное галогенирование по Циглеру. Внутримолекулярная радикальная циклизация 6-галогеналканов при действии трибутилового гидрида. Гетерогенное гидрирование: катализа-

торы, каталитические яды. Гидрогенолиз связей углерод-гетероатом. Гомогенное гидрирование: катализаторы, механизм. Региоселективность гомогенного гидрирования. Присоединение синглетных и триплетных карбенов к алкенам. Карбеноиды, их взаимодействие с алкенами.

Методы синтеза: отщепление галогеноводородов из дигалогенидов, реакция 1,2-дигидразонов с оксидом ртути (II) и тетраацетатом свинца. Усложнение углеродного скелета алкинов: реакции ацетиленидов натрия и меди, магнийорганических производных алкинов. Конденсация алкинов-1 с кетонами и альдегидами (Фаворский, Реппе).

Реакции алкинов. Галогенирование, гидрогалогенирование, гидратация (Кучеров). Ацетилен-алленовая изомеризация. Смещение тройной связи в терминальное положение. Окислительная конденсация терминальных алкинов в присутствии солей меди.

Методы синтеза 1,3-диенов: дегидрирование алканов, синтез Фаворского—Реппе, кросс-сочетание на металлокомплексных катализаторах.

Реакции 1,3-диенов: галогенирование и гидрогалогенирование, 1,2- и 1,4-присоединение. Реакция Дильса—Альдера с алкенами и алкинами, ее типы: карбо-реакция, гетеро-реакция. Диены и диенофилы. *o*-хинодиметаны в качестве диенов. Катализ в реакции Дильса—Альдера. Стереохимия реакции. Региоселективность [4+2]-циклоприсоединения в случае несимметричных диенов и диенофилов. Ретро-реакция Дильса—Альдера. Применение силосидиенов в синтезе алициклов и гетероциклов.

Методы синтеза одноатомных спиртов: из алкенов, карбонильных соединений, сложных эфиров и карбоновых кислот.

Реакции одноатомных спиртов: замещение гидроксильной группы в спиртах на галоген (под действием галогеноводородов, галогенидов фосфора и хлористого тионила). Реагенты регио- и стереоселективного замещения (комплексы трифенилфосфина с галогенами и четыреххлористым углеродом). Дегидратация спиртов. Окисление первичных и вторичных спиртов. Реагенты окисления на основе соединений хрома (VI), диоксида марганца и диметилсульфоксида (методы Моффета и Сверна).

Методы синтеза и реакции двухатомных спиртов. Окислительное расщепление 1,2-диолов (иодная кислота, тетраацетат свинца). Пинаколиновая перегруппировка.

Методы синтеза простых эфиров: реакция Вильямсона, алкоксимеркурирование спиртов. Реакции простых эфиров: образование оксониевых солей, расщепление кислотами.

Гидропероксиды. Краун-эфиры, их получение и применение в синтезе.

Оксираны. Способы получения. Раскрытие оксиранового цикла под действием электрофильных и нуклеофильных агентов.

Методы получения альдегидов и кетонов: из спиртов, производных карбоновых кислот, алкенов (озонолиз), алкинов (гидроборирование), на основе металлорганических соединений. Ацилирование и формилирование аренов.

Реакции альдегидов и кетонов: присоединение воды, спиртов, тиолов. 1,3-Дитианы и их использование в органическом синтезе. Обращение полярности C=O-группы. Получение бисульфитных производных и циангидринов. Взаимодействие альдегидов и кетонов с илидами фосфора (Виттиг) и серы. Взаимодействие альдегидов и кетонов с азотистыми основаниями. Перегруппировка Бекмана. Взаимодействие альдегидов и кетонов с металлорганическими соединениями. Енамины, их алкилирование и ацилирование. Альдольно-кетоновая конденсация альдегидов и кетонов как метод усложнения углеродного скелета. Направленная альдольная конденсация разноименных альдегидов с использованием литиевых и кремниевых эфиров енолов. Конденсация альдегидов и кетонов с малоновым эфиром и другими соединениями с активной метиленовой группой (Кневенагель). Аминометилирование альдегидов и кетонов (Манних). Бензоиновая конденсация. Конденсация с нитроалканами (Анри). Восстановление альдегидов и кетонов до спиртов, реагенты восстановления. Дезоксигенирование альдегидов и кетонов: реакции Клемменсена и Кижнера—Вольфа. Окисление альдегидов, реагенты окисления. Окисление кетонов надкислотами по Байеру—Виллигеру.

$\alpha,\beta$ -непредельные альдегиды и кетоны. Методы получения: конденсации, окисление аллиловых спиртов. Реакция 1,2- и 1,4-присоединения литийорганических соединений, триалкилборанов, диалкил- и диарилкупратов, цианистого водорода, галогеноводородов. Эпок-

сидирование  $\alpha,\beta$ -непредельных кетонов. Сопряженное присоединение енолятов и енаминов к  $\alpha,\beta$ -непредельным альдегидам и кетонам (Михаэль). Доноры и акцепторы Михаэля. Катализаторы реакции, ее обратимость. Ретро-реакция. Реакции анелирования. Вариант Робинсона. Использование  $\alpha$ -хлоркетонов и производных оснований Манниха.  $\alpha$ -силилированные винилкетоны (Сторк) и енамины в реакциях анелирования.

Методы синтеза кислот: окисление первичных спиртов и альдегидов, алкенов, алкинов, алкилбензолов, гидролиз нитрилов и других производных карбоновых кислот, синтез на основе металлоорганических соединений, синтезы на основе малонового эфира.

Реакции карбоновых кислот: галогенирование по Гелю-Фольгардту-Зелинскому, пиролизная кетонизация, электролиз по Кольбе, декарбоксилирование по Хунсдиккеру.

Методы получения производных карбоновых кислот: галогенангидридов, ангидридов, сложных эфиров, нитрилов, амидов. Кетены, их получение и свойства.

Реакции производных карбоновых кислот: взаимодействие с нуклеофильными реагентами (вода, спирты, аммиак, амины, металлоорганические соединения). Восстановление галогенангидридов до альдегидов по Розенмунду и комплексными гидридами металлов. Взаимодействие галогенангидридов с диазометаном (реакция Арндта-Эйстера). Восстановление сложных эфиров до спиртов и альдегидов, нитрилов – до аминов и альдегидов комплексными гидридами металлов. Малоновая кислота: синтезы с малоновым эфиром, реакция Михаэля, конденсации с альдегидами (Кневенагель). Сложноэфирная и ацилоиновая конденсации. Особенности эфиров двухосновных кислот (образование карбоциклов) в этих реакциях. Сложные эфиры  $\alpha$ -галогенокислот в реакциях Реформатского. Ацетоуксусный эфир и его использование в синтезе.

Методы синтеза  $\alpha,\beta$ -непредельных карбоновых кислот: дегидратация гидроксикислот, реакции Кневенагеля, Виттига, Перкина (синтез коричных кислот). Реакции присоединения по двойной связи. Бром- и иодо-лактонизация  $\alpha,\beta$ -непредельных карбоновых кислот.

Классификация реакций ароматического электрофильного замещения. Влияние заместителей в бензольном кольце на скорость и направление электрофильного замещения. Согласованная и несогласованная ориентация.

Нитрование. Нитрующие агенты. Механизм реакции нитрования. Нитрование бензола и его замещенных. Нитрование бифенила, нафталина, ароматических аминов и фенола. Получение полинитросоединений. Ипсо-атака и ипсо-замещение в реакциях нитрования. Восстановление нитро-группы в различных условиях.

Галогенирование. Галогенирующие агенты. Механизм галогенирования аренов и их производных.

Сульфирование. Сульфирующие агенты. Кинетический и термодинамический контроль реакции (сульфирование фенола и нафталина). Превращение сульфогруппы.

Алкилирование аренов по Фриделю-Крафтсу. Алкилирующие агенты. Механизм реакции. Полиалкилирование. Побочные процессы: изомеризация алкилирующего агента и конечных продуктов. Синтез диарил- и триарилметанов.

Ацилирование аренов. Ацилирующие агенты. Механизм реакции. Региоселективность ацилирования. Особенности ацилирования фенолов, перегруппировка Фриса. Формилирование по Гаттерману-Коху, Гаттерману и Вильсмейеру. Область применения этих реакций.

Пятичленные гетероциклы с одним гетероатомом. Фуран, пиррол, тиофен. Синтез из 1,4-дикарбонильных соединений (Пааль—Кнорр). Синтез пирролов по Кнорру и по Ганчу. Синтез 3,4-дизамещенных тиофенов по Хинсбергу. Реакции электрофильного замещения в пятичленных ароматических гетероциклах: нитрование, сульфирование, галогенирование, формилирование, ацилирование. Индол. Синтез производных индола из фенилгидразина и кетонов (Фишер). Синтез индола и его производных из 2-ациламинотолуолов (Маделунг). Реакции электрофильного замещения в пиррольном кольце индола: нитрование, формилирование, галогенирование.

Шестичленные ароматические гетероциклы с одним гетероатомом. Пиридин и хинолин. Синтез производных пиридина по Ганчу. Синтез частично гидрированных производных пиридина путем [4+2]-циклоприсоединения (гетеро-реакция Дильса—Альдера). Синтез хинолина и замещенных хинолинов из анилинов по Скраупу и Дебнеру—Миллеру. Реакции

пиридина и хинолина с алкилгалогенидами. Окисление и восстановление пиридина и хинолина. Реакции электрофильного замещения в пиридине и хинолине: нитрование, сульфирование, галогенирование. N-окиси пиридина и хинолина и их использование в реакции нитрования. Нуклеофильное замещение атомов водорода в пиридине и хинолине в реакциях с амидом натрия (Чичибабин) и фениллитием. 2- и 4-метилпиридины и хинолины как метиленовые компоненты в конденсациях с альдегидами.

## **5. Образовательные технологии**

Технология процесса обучения по дисциплине включает в себя следующие образовательные мероприятия:

- а) аудиторные занятия (лекционно-семинарская форма обучения);
- б) самостоятельная работа аспирантов;
- в) контрольные мероприятия в процессе обучения и по его окончанию.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор).

В учебном процессе предусмотрено широкое использование активных и интерактивных форм проведения занятий (семинаров в диалоговом режиме, дискуссий, компьютерных симуляций, разбора конкретных ситуаций, групповых дискуссий) в сочетании с конкретной научно-исследовательской работой в области химии. Одной из основных активных форм обучения, связанных с ведением того вида (видов) деятельности, к которым готовится аспирант (научно-исследовательской и научно-педагогической), является семинар, к работе которого привлекаются ведущие исследователи и специалисты-практики, и являющийся основой корректировки индивидуальных учебных планов аспиранта. В рамках дисциплины предусмотрены встречи с российскими и зарубежными учеными.

Проверка приобретенных знаний, навыков и умений осуществляется посредством отчетов аспирантов на научных семинарах и индивидуальным обсуждением с руководителем.

## **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов**

Виды самостоятельной работы:

в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на компьютерах с доступом к базам данных и ресурсам Интернет, в лабораториях с доступом к лабораторному оборудованию и приборам.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, учебное и научное программное обеспечение, ресурсы Интернет.

## **7. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

Цель контроля - получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

### **7.1. Текущий контроль**

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляемая на протяжении семестра. Текущий контроль знаний учащихся организован как устный групповой опрос (УГО).

Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений аспиранта.

### **7.2. Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация осуществляется в конце семестра и завершает изучение дисциплины «Органическая химия». Форма аттестации – зачет.

## **Список вопросов для проведения текущего контроля и устного опроса обучающихся:**

1. Природа химической связи в органических соединениях.
2. Гибридизация атома углерода.
3. Интермедиаты органических реакций.
4. Кинетических и термодинамический контроль органических реакций.
5. Качественные и количественные электронные эффекты заместителей на реакционную способность органических соединений.
6. Переходные состояния, поверхность изменения свободной энергии органических реакций.
7. Теории кислот и оснований.
8. Влияние растворителей на скорость и равновесие органических реакций
9. Принцип линейности изменений свободной энергии реакций. Уравнение Гаммета
10. Гомогенный катализ в органическом синтезе.
11. Металлокомплексный и гетерогенный катализ в органическом синтезе.
12. Межфазовый катализ в органическом синтезе.
13. Классификация органических реакций и реагентов.
14. Изомерия органических соединений.
15. Методы получения и химические свойства предельных углеводородов (алканы, циклоалканы).
16. Методы асимметрического синтеза.
17. Методы получения и химические свойства алкенов и диенов.
18. Методы получения и химические свойства алкинов.
19. Методы получения и химические свойства ароматических углеводородов.
20. Методы получения и химические свойства одноатомных и многоатомных спиртов.
21. Методы получения и химические свойства карбонильных соединений.
22. Методы получения и химические свойства карбоновых кислот.
23. Методы получения и химические свойства азотсодержащих соединений (амино, нитро).
24. Методы получения и химические свойства серосодержащих органических веществ.
25. Методы получения и химические свойства пяти- и шестичленных гетероциклов.
26. Методы получения, химические свойства и применение углеводов.
27. Биологически важные соединения – аминокислоты, белки, нуклеиновые кислоты.

## **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **Основная литература**

1. Илиел, Э. Основы органической стереохимии / Э. Илиел. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 703 с.
2. Реутов, О. А. Органическая химия: В 4-х т. Т. 1 / О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 567 с.
3. Реутов, О. А. Органическая химия: В 4-х т. Т. 2 / О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 623 с.
4. Реутов, О. А. Органическая химия: В 4-х т. Т. 3 / О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 544 с.
5. Реутов, О. А. Органическая химия: В 4-х т. Т. 4 / О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 726 с.
6. Смит, В. А. Основы современного органического синтеза. Учебное пособие / В. А. Смит, А. Д. Дильман. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 750 с.
7. Травень, В. Ф. Органическая химия: учебное пособие для вузов: В 3-ех т. Т. 1 / В. Ф. Травень. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 368 с.
8. Травень, В. Ф. Органическая химия: учебное пособие для вузов: В 3-ех т. Т. 2 / В. Ф. Травень. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 517 с.
9. Травень, В. Ф. Органическая химия: учебное пособие для вузов: В 3-ех т. Т. 3 / В. Ф. Травень. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 388 с.

### Дополнительная литература

1. Бабкин, В. А. Биомасса лиственницы: от химического состава до инновационных продуктов / В. А. Бабкин, Л. А. Остроухова, Н. Н. Трофимова; отв. ред. А. А. Семенов; ИРИХ им. А. Е. Фаворского СО РАН. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. – 236 с.
2. Бердетт, Дж. Химическая связь: пер. с англ. / Дж. Бердетт. – М.: Мир; Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 245 с.
3. Голобокова, Т. В. Неконденсированные вицинальные триазолы: справ.пособие / Т. В. Голобокова, Л. И. Верещагин, Р. Г. Житов, В. Н. Кижняев; отв. ред. А. И. Смирнов. – Иркутск: ИГУ, 2012. – 133 с.
4. Гонсалвес, К. Наноструктуры в биомедицине / К. Гонсалвес, К. Хальберштадт, К. Лоренсин, Л. Наир – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. – 520 с.
5. Гусарова, Н. К. Химия ацетилена: Новые главы / Н. К. Гусарова, А. И. Михалева, Е. Ю. Шмидт, А. Г. Малькина. – Новосибирск: Наука, 2013. – 368 с.
6. Жауен, Ж. Биометаллоорганическая химия / Ж. Жауен. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 496 с.
7. Коваленко, Л. В. Биохимические основы химии биологически активных веществ: учебное пособие / Л. В. Коваленко. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014 – 229 с.
8. Кузнецов, Н. Т. Основы нанотехнологии: учебник / Н. Т. Кузнецов, В. М. Новоторцев, В. А. Жабрев, В. И. Марголин. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 397 с.
9. Лау, А. К. Нано- и биокомпозиты / А. К. Лау, Ф. Хусейн, Х. Лафди. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 392 с.
10. Романовский, Б. В. Основы катализа: учебное пособие / Б. В. Романовский. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 172 с.
11. Рыжонков, Д. И. Наноматериалы: учебное пособие / Д. И. Рыжонков, В. В. Лёвина, Э. Л. Дзидзигури. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 365 с.
12. Семенов, А. А. Биологическая активность природных соединений / А. А. Семенов, В. Г. Карцев. – М.: МБФНП, 2012. – 520 с.
13. Сильверстейн, Р. Спектрометрическая идентификация органических соединений / Р. Сильверстейн, Ф. Вебстер, Д. Кимл. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 557 с.
14. Солдатенков, А. Т. Пестициды и регуляторы роста: прикладная органическая химия / А. Т. Солдатенков, Н. М. Колядина, А. Ле Туан. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 223 с.
15. Солдатенков, А. Т. Пестициды и регуляторы роста: прикладная органическая химия / А. Т. Солдатенков, Н. М. Колядина, А. Ле Туан. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 223 с.
16. Старостин, В. В. Материалы и методы нанотехнологии: учебное пособие / В. В. Старостин. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 431 с.
17. Титце, Л. Domino-реакции в органическом синтезе / Л. Титце, Г. Браше, К. Герице; пер. с англ. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2010. – 671 с.
18. Толстиков, Г. А. Смоляные кислоты хвойных России. Химия, фармакология / Г. А. Толстиков, Т. Г. Толстикова, Э. Э. Шульц, С. Е. Толстиков, М. В. Хвостов; НИОХ им. Н. Н. Ворожцова СО РАН. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2011. – 395 с.
19. Трофимов, Б. А. Химия пиррола. Новые страницы / Б. А. Трофимов, А. И. Михалева, Е. Ю. Шмидт, Л. Н. Собенина. – Новосибирск: Наука, 2012. – 383 с.
20. Хельвинкель, Д. Систематическая номенклатура органических соединений / Д. Хельвинкель. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 232 с.
21. Чернова, С. В. Фармацевтическая химия: учебник для вузов / С. В. Чернова; под ред. Г. В. Раменской. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 472 с.
22. Шишкин, Г. Г. Наноэлектроника. Элементы, приборы, устройства: учебное пособие / Г. Г. Шишкин, И. М. Агеев. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2011. – 408 с.
23. Эльшенбройх, К. Металлоорганическая химия / К. Эльшенбройх. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 750 с.
24. Юровская, М. А. Химия ароматических гетероциклических соединений / М. А. Юровская. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 208 с.

### Электронные ресурсы

1. Аристова, Н.В. Тестовый контроль по курсу органической химии. Углеводороды [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.В. Аристова, В.Г. Урядов, Е.Н. Офицеров. — Электрон. дан. — Казань: КНИТУ, 2004. — 254 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/13336>. — Загл. с экрана.
2. Березин, Д.Б. Базовый курс органической химии [Электронный ресурс]: учебное пособие / Д.Б. Березин, О.В. Шухто, С.А. Сырбу. — Электрон. дан. — Иваново: ИГХТУ, 2011. — 168 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/4523>. — Загл. с экрана.
3. Березин, Д.Б. Органическая химия [Электронный ресурс]: учебное пособие / Д.Б. Березин, О.В. Шухто, С.А. Сырбу, О.И. Койфман. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2014. — 240 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/44754>. — Загл. с экрана.
4. Боровлев, И.В. Органическая химия: термины и основные реакции [Электронный ресурс]: учебное пособие / И.В. Боровлев. — Электрон. дан. — Москва: Издательство "Лаб-оратория знаний", 2015. — 362 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/70742>. — Загл. с экрана.
5. Бурангулова, Р.Н. Органическая химия. Ациклические углеводороды [Электронный ресурс]: учебное пособие / Р.Н. Бурангулова, Р.Ф. Каримова, М.А. Петрова. — Электрон. дан. — Казань: КНИТУ, 2016. — 112 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/102078>. — Загл. с экрана.
6. Бухаров, С.В. Химия и технология продуктов тонкого органического синтеза [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.В. Бухаров. — Электрон. дан. — Казань: КНИТУ, 2013. — 268 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/73483>. — Загл. с экрана.
7. Васильева, И.В. Основы органической химии [Электронный ресурс]: учебное пособие / И.В. Васильева, М.А. Захаренко, И.В. Проскунов. — Электрон. дан. — Кемерово: КемГУ, 2017. — 72 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/102672>. — Загл. с экрана.
8. Веревкин, А.Н. Органическая химия. Учебное пособие для выполнения лабораторных работ по синтезу органических веществ [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Н. Веревкин, В.И. Азаров, Т.И. Нилова. — Электрон. дан. — Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 39 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/104638>. — Загл. с экрана.
9. Веревкин, А.Н. Органическая химия. Учебное пособие для выполнения лабораторных работ по основным методам очистки и выделения органических веществ [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Н. Веревкин, В.И. Азаров, Т.И. Нилова, Г.Н. Кононов. — Электрон. дан. — Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. — 33 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/104805>. — Загл. с экрана.
10. Винославский, В.А. Органическая химия [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.А. Винославский, И.М. Осовцова, В.И. Азаров. — Электрон. дан. — Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. — 56 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/104624>. — Загл. с экрана.
11. Вшивков, А.А. Органическая химия: основные понятия [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.А. Вшивков, А.В. Пестов. — Электрон. дан. — Екатеринбург: УрФУ, 2012. — 188 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/98443>. — Загл. с экрана.
12. Вшивков, А.А. Органическая химия: задачи и упражнения [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.А. Вшивков, А.В. Пестов. — Электрон. дан. — Екатеринбург: УрФУ, 2015. — 344 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/98413>. — Загл. с экрана.
13. Денисов, В.Я. Сборник задач по органической химии [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Я. Денисов, Д.Л. Мурышкин, Т.Б. Ткаченко, Т.В. Чуйкова. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2014. — 544 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/45971>. — Загл. с экрана.
14. Денисов, В.Я. Сборник контрольных заданий по органической химии. Ч. 3: Ароматические и гетероциклические соединения [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Я. Денисов, Д.Л. Мурышкин, Т.Б. Ткаченко, Т.В. Чуйкова. — Электрон. дан. — Кемерово:

- КемГУ, 2009. — 86 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/30112>. — Загл. с экрана.
15. Дычко, К.А. Семинарские занятия по органической химии [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / К.А. Дычко, Т.Т. Куряева, С.С. Кравцова, Т.Н. Матвеева. — Электрон. дан. — Томск: ТГУ, 2013. — 80 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/44990>. — Загл. с экрана.
  16. Зыкова, М.В. Органическая химия. Классификация и номенклатура органических соединений [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.В. Зыкова, Г.А. Жолобова, О.Ф. Прищепова. — Электрон. дан. — Томск: СибГМУ, 2014. — 111 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/105885>. — Загл. с экрана.
  17. Кравцова, С.С. Органическая химия. Часть 1 [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.С. Кравцова, Т.Т. Куряева, Т.Н. Матвеева, Б.С. Прялкин. — Электрон. дан. — Томск: ТГУ, 2013. — 92 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/44989>. — Загл. с экрана.
  18. Кувшинова, Е.М. Органическая химия. Карбонилпроизводные углеводов [Электронный ресурс]: учебное пособие / Е.М. Кувшинова. — Электрон. дан. — Иваново: ИГХТУ, 2011. — 80 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/4530>. — Загл. с экрана.
  19. Кузнецов, Д.Г. Органическая химия [Электронный ресурс]: учебное пособие / Д.Г. Кузнецов. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2016. — 556 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/72988>. — Загл. с экрана.
  20. Лабораторный практикум по курсу органической химии [Электронный ресурс]: учебное пособие / под ред. А.М. Голубева. — Электрон. дан. — Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 40 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/52564>. — Загл. с экрана.
  21. Ливанцов, М.В. Органическая химия. Задачи по общему курсу с решениями : в 2 ч [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.В. Ливанцов, Г.С. Зайцева, Л.И. Ливанцова, Н.С. Гулюкина ; под ред. Н. С. Зефилова. — Электрон. дан. — Москва: Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 258 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/84111>. — Загл. с экрана.
  22. Ливанцов, М.В. Органическая химия. Задачи по общему курсу с решениями : в 2 ч. II ч [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.В. Ливанцов, Г.С. Зайцева, Л.И. Ливанцова, Н.С. Гулюкина ; под ред. Н. С. Зефилова. — Электрон. дан. — Москва: Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 717 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/84112>. — Загл. с экрана.
  23. Органическая химия [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / сост. Т. Н. Грищенко, Г. Е. Соколова. — Электрон. дан. — Кемерово: КемГУ, 2015. — 115 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/80075>. — Загл. с экрана.
  24. Органическая химия [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / сост. С.С. Кравцова, Т.Н. Матвеева. — Электрон. дан. — Томск: ТГУ, 2015. — 44 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/80212>. — Загл. с экрана.
  25. Пресс, И.А. Основы органической химии для самостоятельного изучения [Электронный ресурс]: учебное пособие / И.А. Пресс. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2016. — 432 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/71727>. — Загл. с экрана.
  26. Реутов, О.А. Органическая химия. В 4 ч. Ч. 1 [Электронный ресурс]: учебник / О.А. Реутов, А.Л. Курц, К.П. Бутин. — Электрон. дан. — Москва: Издательство "Лаборатория знаний", 2017. — 570 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/94167>. — Загл. с экрана.
  27. Реутов, О.А. Органическая химия. В 4 ч. Ч. 2 [Электронный ресурс]: учебник / О.А. Реутов, А.Л. Курц, К.П. Бутин. — Электрон. дан. — Москва: Издательство "Лаборатория знаний", 2017. — 626 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/94168>. — Загл. с экрана.
  28. Реутов, О.А. Органическая химия : в 4 ч. Ч. 4 [Электронный ресурс]: учебник / О.А. Реутов, А.Л. Курц, К.П. Бутин. — Электрон. дан. — Москва: Издательство "Лаборатория знаний", 2016. — 729 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/84139>. — Загл. с экрана.

29. Романовский, Б.В. Основы катализа [Электронный ресурс]: учебное пособие / Б.В. Романовский. — Электрон. дан. — Москва: Издательство "Лаборатория знаний", 2017. — 175 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/94126>. — Загл. с экрана.
30. Травень, В.Ф. Органическая химия. В 3 т. Т. 1 [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Ф. Травень. — Электрон. дан. — Москва: Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 401 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/84108>. — Загл. с экрана.
31. Травень, В.Ф. Органическая химия. В 3 ч. Т. 2 [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Ф. Травень. — Электрон. дан. — Москва: Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 550 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/84109>. — Загл. с экрана.
32. Травень, В.Ф. Органическая химия. В 3 т. Т. 3 [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Ф. Травень. — Электрон. дан. — Москва: Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 391 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/84110>. — Загл. с экрана.
33. Хелевина, О.Г. Органическая химия. Полифункциональные производные углеводов [Электронный ресурс]: учебное пособие / О.Г. Хелевина, А.С. Малясова, С.А. Сырбу. — Электрон. дан. — Иваново: ИГХТУ, 2016. — 97 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/96111>. — Загл. с экрана.
34. Шабаров, Ю.С. Органическая химия [Электронный ресурс]: учебник / Ю.С. Шабаров. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2011. — 848 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/4037>. — Загл. с экрана.
35. Шипуля, А.Н. Курс лекций по органической химии [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Н. Шипуля, Ю.А. Безгина, Е.В. Волосова, Е.В. Пашкова. — Электрон. дан. — Ставрополь: СтГАУ, 2014. — 116 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/61142>. — Загл. с экрана.
36. Юровская, М.А. Основы органической химии [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.А. Юровская, А.В. Куркин. — Электрон. дан. — Москва: Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 239 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/66365>. — Загл. с экрана.

#### Интернет-ресурсы

- [Taylor & Francis](#) (журналы издательства)
- [American Chemical Society](#)
- [Thieme Chemistry](#)
- [Wiley Online Library](#)
- [Royal Society Chemistry](#)
- [Springer](#)
- [Sci Finder \(Chemical Abstracts Service\)](#)
- [Web of Science](#)
- [Реферативная база данных ГПНТБ СО РАН](#)
- [E-library](#)
- [ЭБС «Издательство «Лань»](#)

#### 9. Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

Для освоения программы обучения и для выполнения научно-исследовательских работ по теме диссертации каждому аспиранту предоставлено индивидуальное рабочее место, оборудованное приточно-вытяжной вентиляцией, водопроводом, водоотведением, воздухопроводом. Аспиранты имеют возможность использовать материально-технические средства лабораторий, в которых выполняют квалификационные и диссертационные работы (оргтехника, реактивы, расходные материалы, лабораторная посуда, измерительное оборудование).

Основу материально-технической базы института составляют два цифровых мульти-ядерных Фурье-спектрометра ЯМР (DPX 400 и AVANCE 400), рентгеновский дифрактометр Bruker D8 ADVANCE, рентгеновский дифрактометр D2 PHASER, инфракрасный Фурье-спектрометр Vertex 70 с Раман приставкой, инфракрасный Фурье-спектрометр Excalibur HE

3100 Varian, микроанализатор Flash EA 1112 CHN-O/MAS 200, микроанализатор Termo Flash EA 2000 CHNS, ЭПР-спектрометр ELEXSYS E580, установка наносекундного импульсного фотолиза, хроматомасс-спектрометр QP-5050A, хроматомасс-спектрометр Agilent 5975 с химической ионизацией, тандемный TOF/TOF масс-спектрометр Ultra Flex, электронный микроскоп ТМ 3000 Hitachi, спектрофлуориметр FLPS920 Edinburg Instruments, УФ/ВИД-спектрометр LAMBDA 35 и диэлькометр.

Для проведения квантово-химических расчетов имеется вычислительный кластер 39Гц/112Гб/14Тб и необходимое программное обеспечение (GAUSSIAN, GAMESS, DALTON и DIRAC).