



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

« 17 » мая 2021 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 Органическая химия

Квалификация: Исследователь.
Преподаватель-исследователь.

Год набора: 2021

Иркутск

2021

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 № 5 от «17» мая 2021 г.

Начальник отдела аспирантуры к.х.н.

 Н.Н. Трофимова

1. Цели и задачи учебной дисциплины

Рассматриваемая дисциплина относится к основным дисциплинам при подготовке аспирантов, обучающихся по профилю Органическая химия.

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.ОД.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 вещества.

2.3. Освоение дисциплины «Органическая химия» необходимо 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 Органическая химия:

Универсальные компетенции:

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);
- готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);
- готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-4);
- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5)

Общепрофессиональные компетенции:

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);
- готовность организовать работу исследовательского коллектива в области химии и смежных наук (ОПК-2);
- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-3).

Профессиональные компетенции:

- углубленное знание теоретических и методологических основ органической химии, умение проводить анализ и отбор задач и проблем, самостоятельно ставить цель исследования наиболее актуальных проблем органической химии (ПК-1);
- способность ставить и решать инновационные задачи в области органической химии, связанные с получением органических веществ, их практическим применением, определением строения и реакционной способности с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний (ПК-2);
- владение базовыми представлениями о теоретических основах органической химии, механизмах органических реакций, стереохимии, химии элементоорганических и высокомолекулярных соединений (ПК-3);
- умение применять физико-химические методы исследования структуры вещества, знание основ квантово-химического моделирования строения молекул и реакционной способности вещества (ПК-4).

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 6 зачетных единиц (216 часов).

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	216	90	45	-	45	36	90	Экзамен

4.2. Содержание дисциплины

4.2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№	Наименование разделов и тем	Виды учебной работы и трудоемкость, ч						Формы текущего контроля успеваемости
		Всего	Лекц.	Лаб	Практ	СР	КСР	
Раздел 1. Закономерности строения и реакционной способности органических соединений								
1	Современные представления о природе химической связи	9	2	-	2	5	-	Устный групповой опрос
2	Сtereoхимия. Пространственное строение органических молекул. Пространственное взаимодействие несвязанных атомов и групп, ван-дер-ваальсовы радиусы	9	2	-	2	5	-	Устный групповой опрос
3	Классификация реакций по типу образования и разрыва связей в лимитирующей стадии, по типу реагента и по соотношению числа молекул реагентов и продуктов	9	2	-	2	5	-	Устный групповой опрос

4	Количественные теории кислот и оснований. Кинетическая и термодинамическая кислотность. Уравнение Бренстеда. Общий и специфический кислотно-основный катализ. Суперкислоты. Функции кислотности. Постулат Гаммета	9	2	-	2	5	-	Устный групповой опрос
5	Влияние среды на скорости и равновесие органических реакций	9	2	-	2	5	-	Устный групповой опрос
6	Основные типы интермедиа-тов органических реакций	8/9	2	-	2	4	9	Устный групповой опрос, семинар по разделу
Раздел 2. Основные типы органических реакций и их механизмы								
7	Нуклеофильное замещение в алифатическом ряду. Механизмы S_N1 и S_N2 , смешанный ионно-парный механизм.	11	3	-	3	5	-	Устный групповой опрос
8	Электрофильное замещение у атома углерода	11	3	-	3	5	-	Устный групповой опрос, решение задач
9	Реакции элиминирования	11	3	-	3	5	-	Устный групповой опрос
10	Реакции присоединения	11	3	-	3	5	-	Устный групповой опрос
11	Перегруппировки. Полимеризация, теломеризация. Электросинтез. Молекулярные и согласованные реакции. Основы фотохимии	11/9	3	-	3	5	9	Устный групповой опрос, семинар по разделу
Раздел 3. Принципы современного органического синтеза и установления строения органических соединений								
12	Выбор оптимального пути синтеза. Принцип ретросинтетического анализа. Элементоорганические соединения в органическом синтезе. Металлокомплексный катализ	11	3	-	3	5	-	Устный групповой опрос
13	Использование химических и физико-химических методов для установления структуры органических соединений. Принципы комбинаторной химии. Техника безопасности и экологические проблемы органического синтеза. «Зеленая химия».	11/9	3	-	3	5	9	Устный групповой опрос, семинар по разделу
Раздел 4. Основные классы органических веществ								
14	Углеводороды.	9	2	-	2	5	-	Устный групповой опрос

15	Спирты, эпоксиды и простые эфиры	8	2	-	2	4	-	Устный групповой опрос
16	Карбонильные соединения.	8	2	-	2	4	-	Устный групповой опрос
17	Карбоновые кислоты и их производные. Углеводороды	8	2	-	2	4	-	Устный групповой опрос
18	Синтетическое использование реакций электрофильного замещения в ароматическом ряду	9	2	-	2	5	-	Устный групповой опрос
19	Методы синтеза и реакции ароматических гетероциклических соединений	8/9	2	-	2	4	9	Устный групповой опрос, семинар по разделу
Всего часов:		216	45	-	45	90	36	

4.2.2 Содержание разделов и тем дисциплины

Раздел 1. Закономерности строения и реакционной способности органических соединений

Тема 1. 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 σ - π -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.

Тема 2. 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 Кертвина—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.

Тема 3. 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 урав-

нения 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.

Тема 4. 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.

Тема 5. 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 Уинстейна 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.

Тема 6. 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 полиидентные 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

Тема 7. Нуклеофильное замещение в алифатическом ряду. Механизмы S_N1 и S_N2 , смешанный ионно-парный механизм. Влияние структуры субстрата и полярности растворителя на скорости и механизм реакции. Анхимерное содействие и синергетическое ускорение, участие соседних 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.

Тема 8. 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.

Тема 9. Реакции элиминирования (отщепления). Механизмы гетеролитического элиминирования E1 и E2. Стереoeлектронные требования и стереоспецифичность при E2-элиминировании. Термическое син-элиминирование.

Тема 10. 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).

Тема 11. 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 Корнблюма. 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

Тема 12. 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.

Тема 13. 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 гельпроникающая 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

Тема 14. 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 (дейтериевый обмен и галогенирование).

Циклоалканы. Методы синтеза и строение циклопропанов, циклобутанов, циклопентанов и циклогексанов. Синтез соединений со средним размером цикла (ацилоиновая 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 - галогенциклоалканоны).

Методы синтеза: элиминирование галогеноводородов из алкилгалогенидов, воды из спиртов. Синтез алкенов из четвертичных аммониевых солей (Гофман), N-окисей третичных аминов (Коуп). Стереоселективное восстановление алкинов. Стереоселективный синтез *цис*- и *транс*-алкенов из 1,2-диолюв (Кори, Уинтер). Региоселективный синтез алкенов из тозилгидразонов (Шапиро). Реакция Виттига как региоспецифический метод синтеза алкенов. Основания, используемые в реакции. Стабилизированные и нестабилизированные илиды. 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 оксиданов (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 трибутилловогидрида. Гетерогенное гидрирование: катализаторы, 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 силоксидиенов в синтезе алициклов и гетероциклов.

Тема 15. 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.

Тема 16. 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.

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

Тема 17. Методы синтеза кислот: окисление первичных спиртов и альдегидов, алкенов, алкинов, алкилбензолов, гидролиз нитрилов и других производных карбоновых кислот, синтез на основе металлорганических соединений, синтеза на основе малонового эфира.

Реакции карбоновых кислот: галогенирование по Геллю-Фольгардту-Зелинскому, пиролитическая кетонизация, электролиз по Кольбе, декарбоксилирование по Хундиккеру.

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, металлорганические соединения). Восстановление галогенангидридов до альдегидов по Розенмунду и комплексными гидридами металлов. Взаимо-

действие 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 α -галогенокислот в реакциях Реформатского. Ацетоуксусный эфир и его использование в синтезе.

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

Тема 18. 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. Сульфлирующие 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.

Тема 19. 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.

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 углеводов.
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.

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования в рамках текущего контроля успеваемости по дисциплине (модулю)

Показатели	Критерии оценивания	Средства оценивания
Знать: методы получения, химические свойства и практическое использование основных классов органических соединений (УК 1,2,5; ОПК 1,2,3; ПК 1,2,3);	<i>низкий уровень:</i> имеет слабый уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями 35-40%	вопросы 10-27;
типичные методы органического синтеза, используемые реагенты и оборудование (УК 1,2,5; ОПК 1,2,3; ПК 1,2,3);	<i>средний уровень:</i> имеет хороший уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями 41-70%	вопросы 10-27;
механизмы основных органических реакций, подходы и методы изучения механизмов (УК 1,2,5; ОПК 1,2,3; ПК 1,2,3);	<i>высокий уровень:</i> имеет отличный уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями больше 71%	вопросы 1-13;
влияние строения на реакционную способность органических соединений (УК 1,2,5; ОПК 1,2,3; ПК 1,2,3);		вопросы 1-8;
физико-химические методы исследования строения органических соединений и органических реакций (УК 1,2,5; ОПК 1,2,3; ПК 1,2,3,4);		вопросы 14-27;
современную периодическую литературу (журналы) и электронные базы данных в области органической химии и методов поиска свойств и получения органических веществ (УК 1,2,3,4,5; ОПК 1,2,3; ПК 1,2);		вопросы 1-27;
принципы теоретических расчетов свойств органических соединений, термодинамических и кинетических параметров органических реакций (УК 1,2,5; ОПК 1; ПК 1,3,4);		вопросы 1-9;
роль и место органической химии в системе фундаментальных химических наук и производстве современной инновационной продукции (УК 1,2,3,4,5; ОПК 1,2,3; ПК 1,2,3).		вопросы 17-27;
Уметь: выбирать методы и реагенты для синтеза органических соединений (УК 1,2,5; ОПК 1,2,3;	<i>низкий уровень:</i> имеет слабый уровень теоретической и профессио-	вопросы 7,8,10-27;

ПК 1,2,3);	нальной подготовки, степень владения компетенциями 35-40% <i>средний уровень:</i> имеет хороший уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями 41-70% <i>высокий уровень:</i> имеет отличный уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями больше 71%	
планировать многостадийный органический синтез (УК 1,2,5; ОПК 1,2,3; ПК 1,2,3);		вопросы 15-27;
проводить разделение смесей органических веществ и идентификацию состава и строения с помощью химических и физико-химических методов анализа (УК 1,2,5; ОПК 1,2,3; ПК 1,2,3,4);		вопросы 15-27;
осуществлять поиск методов получения и свойств органических соединений с использованием современных баз данных и поисковых систем (УК 1,2,3,4,5; ОПК 1,2,3; ПК 1,2,3);		вопросы 13-27;
проводить моделирование химических реакций с использованием полуэмпирических и неэмпирических квантово-химических методов (УК 1,2,5; ОПК 1; ПК 1,2,3,4);		вопросы 1-9;
анализировать результаты теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию методов анализа, готовить научные публикации и заявки на изобретения (УК 1,2,3,4,5; ОПК 1,2,3; ПК 1,2,3,4);		вопросы 1-27;
использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ (УК 1,2,3,4,5; ОПК 1,2,3; ПК 1,2,3,4).		вопросы 1-27;
Иметь опыт:	<i>низкий уровень:</i> имеет слабый уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями 35-40% <i>средний уровень:</i> имеет хороший уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями 41-70% <i>высокий уровень:</i> имеет отличный уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями больше 71%	вопросы 10-27;
планирования и проведения органического синтеза (УК 1,2,3,4,5; ОПК 1,2,3; ПК 1,2,3,4);		вопросы 10-27;
очистки органических веществ и идентификации их строения с использованием химических и физико-химических методов (УК 1,2,5; ОПК 1,2,3; ПК 1,2,3,4);		вопросы 1-9;
моделирования свойств веществ и параметров органических реакций с использованием квантово-химических методов (УК 1,2,5; ОПК 1,2,3; ПК 1,2,3,4);		вопросы 1-27;
написания научных отчетов и статей (УК 1,2,3,4,5; ОПК 1,2,3; ПК 1,2,3,4).		вопросы 1-27;

* Жирным шрифтом выделены показатели, соответствующие **высокому уровню** сформированности компетенции

7.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация осуществляется в конце семестра и завершает изучение дисциплины «Органическая химия». Форма аттестации – экзамен, тематика вопросов представлена в программе кандидатского экзамена.

7.3. Итоговая аттестация

Форма аттестации – кандидатский экзамен (устно) (4 год обучения).

Экзаменационный билет состоит из трех теоретических вопросов, тематика которых представлена в программе кандидатского экзамена.

Образцы билетов Органическая химия

Билет 1

1. Типы связей в органической химии.
2. Алканы. Методы синтеза и реакционная способность.
3. Основы спектроскопии ЯМР. Применение спектроскопии ЯМР ^1H для изучения структуры органических соединений.

Билет 2

1. Электронные эффекты. Электроотрицательность атомов и групп.
2. Алкены. Номенклатура и строение. Методы синтеза.
3. Основы спектроскопии ЯМР. Применение спектроскопии ЯМР ^{13}C для изучения структуры органических соединений.

Билет 3

1. Концепция ароматичности. Правило Хюккеля. Мезоионные соединения. Антиароматичность.
2. Реакционная способность алкенов.
3. Основы спектроскопии ЯМР. Применение спектроскопии ЯМР на ядрах гетероатомов для изучения структуры органических соединений.

Билет 4

1. Понятие о конформации молекулы. Вращение вокруг связей: величины и симметрия потенциальных барьеров. Факторы, определяющие энергию конформеров.
2. Строение и номенклатура алкинов. Методы получения и свойства ацетиленовых соединений.
3. Основы спектроскопии ЯМР. Применение двумерной спектроскопии ЯМР для изучения структуры органических соединений.

Билет 5

1. 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.
2. Полиеновые соединения. Особенности синтеза и реакционной способности.
3. Применение спектроскопии ЭПР в органической химии.

Билет 6

1. Кислоты Бренстеда и Льюиса. Кислотно-основное равновесие. Понятие pH. Кинетическая и термодинамическая кислотность. Уравнение Бренстеда. Общий и специфический кислотно-основный катализ. Суперкислоты. Функции кислотности.
2. Спирты. Методы синтеза и реакции одноатомных спиртов.
3. Применение колебательной и электронной спектроскопии для изучения структуры органических соединений.

Билет 7

1. Нуклеофильное замещение в алифатическом ряду. Механизмы SN1 и SN2. Влияние структуры субстрата и полярности растворителя на скорости и механизм реакции.
2. Методы синтеза и реакции двухатомных спиртов.
3. Применение масс- и хромато-масс-спектрометрии для изучения структуры органических соединений.

Билет 8

1. Нуклеофильное замещение при кратной углерод-углеродной связи и в ароматическом ядре. Типичные механизмы нуклеофильного замещения у sp^2 -гибридного атома углерода.
2. Методы синтеза и реакции простых эфиров.
3. Хроматографические методы и их применение в органическом синтезе.

Билет 9

1. Электрофильное замещение у атома углерода. Механизмы замещения SE_1 , SE_2 , SE_i . Нуклеофильный катализ электрофильного замещения. Влияние структуры субстрата и эффектов среды на скорость и направление реакций.
2. Альдегиды и кетоны. Номенклатура. Особенности строения. Методы получения альдегидов и кетонов.
3. Рентгеноструктурный анализ и его применение для изучения структуры органических веществ.

Билет 10

1. Реакции элиминирования (отщепления). Механизмы гетеролитического элиминирования E_1 и E_2 . Стереoeлектронные требования и стереоспецифичность при E_2 -элиминировании.
2. Реакции альдегидов и кетонов. Обращение полярности карбонильной группы.
3. Современные методы обработки реакционных масс, очистки и выделения продуктов реакций.

Билет 11

1. Присоединение по кратным углерод-углеродным связям. Электрофильное присоединение. Сильные и слабые электрофилы, механизм и стереохимия присоединения, регио- и стереоселективность реакций. Присоединение к сопряженным системам.
2. Непредельные альдегиды и кетоны. Методы получения и реакции.
3. Основы спектроскопии ЯМР. Применение спектроскопии ЯМР 1H для изучения структуры органических соединений.

Билет 12

1. Нуклеофильное присоединение к карбонильной группе.
2. Карбоновые кислоты. Номенклатура. Особенности строения. Методы получения и типичные реакции.
3. Основы спектроскопии ЯМР. Применение спектроскопии ЯМР ^{13}C для изучения структуры органических соединений.

Билет 13

1. Перегруппировки в карбокатионных интермедиатах.
2. Методы получения и свойства производных карбоновых кислот: галогенангидридов, ангидридов, сложных эфиров, нитрилов, амидов. Кетены, их получение и свойства.
3. Основы спектроскопии ЯМР. Применение спектроскопии ЯМР на ядрах гетероатомов для изучения структуры органических соединений.

Билет 14

1. Радикальные и ион-радикальные реакции присоединения, замещения и элиминирования.
2. Классификация реакций ароматического электрофильного замещения. Влияние заместителей.
3. Основы спектроскопии ЯМР. Применение двумерной спектроскопии ЯМР для изучения структуры органических соединений.

Билет 15

1. Принцип ретросинтетического анализа. Синтоны и синтетические эквиваленты.
2. Методы синтеза и свойства гетероароматических соединений.
3. Применение спектроскопии ЭПР в органической химии.

Кандидатский экзамен проводится в присутствии не менее 2 членов экзаменационной комиссии из состава, утвержденного приказом по ИрИХ СО РАН, в устном или письменном виде с последующим устным собеседованием по вопросам, указанным в экзаменационном билете. На подготовку ответов в письменном виде отводится 1 академический час.

Критерии оценивания ответа аспиранта

«Отлично»	Минимум 3 вопроса билета (из 3) имеют полные ответы. Содержание ответов свидетельствует об отличных знаниях выпускника и о его умении решать профессиональные задачи, соответствующие его будущей квалификации.
«Хорошо»	Минимум 2 вопроса билета (из 3) имеют полные ответы. Содержание ответов свидетельствует о хороших знаниях выпускника и о его умении решать профессиональные задачи, соответствующие его будущей квалификации.
«Удовлетворительно»	Минимум 1 вопрос билета (из 3) имеет полный и правильный ответ, 2 вопроса раскрыты не полностью. Содержание ответов свидетельствует о недостаточных, но удовлетворительных знаниях выпускника и о его ограниченном умении решать профессиональные задачи.
«Неудовлетворительно»	Три вопроса билета (из трех) не имеют ответа. Содержание ответов свидетельствует об отсутствии знаний выпускника и о его неумении решать профессиональные задачи.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.

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 ацетиленов: 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. Илиел, Э. Основы органической стереохимии / Э. Илиел. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 703 с.
8. Коваленко, Л. В. Биохимические основы химии биологически активных веществ: учебное пособие / Л. В. Коваленко. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014 – 229 с.
9. 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.
10. Лау, А. К. Нано- и биоконпозиты / А. К. Лау, Ф. Хусейн, Х. Лафди. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 392 с.
11. Романовский, Б. В. Основы катализа: учебное пособие / Б. В. Романовский. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 172 с.
12. Рыжонков, Д. И. Наноматериалы: учебное пособие / Д. И. Рыжонков, В. В. Лёвина, Э. Л. Дзидзигури. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 365 с.
13. Семенов, А. А. Биологическая активность природных соединений / А. А. Семенов, В. Г. Карцев. – М.: МБФНП, 2012. – 520 с.
14. Сильверстейн, Р. Спектрометрическая идентификация органических соединений / Р. Сильверстейн, Ф. Вебстер, Д. Кимл. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 557 с.
15. Смит, В. А. Основы современного органического синтеза. Учебное пособие / В. А. Смит, А. Д. Дильман. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 750 с.
16. 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.
17. 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.
18. Старостин, В. В. Материалы и методы нанотехнологии: учебное пособие / В. В. Старостин. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 431 с.
19. Титце, Л. Domino-реакции в органическом синтезе / Л. Титце, Г. Браше, К. Герике; пер. с англ. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2010. – 671 с.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. Трофимов, Б. А. Химия пиррола. Новые страницы / Б. А. Трофимов, А. И. Михалева, Е. Ю. Шмидт, Л. Н. Собенина. – Новосибирск: Наука, 2012. – 383 с.
25. Хельвинкель, Д. Систематическая номенклатура органических соединений / Д. Хельвинкель. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 232 с.
26. Чернова, С. В. Фармацевтическая химия: учебник для вузов / С. В. Чернова; под ред. Г. В. Раменской. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 472 с.
27. Шишкин, Г. Г. Наноэлектроника. Элементы, приборы, устройства: учебное пособие / Г. Г. Шишкин, И. М. Агеев. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2011. – 408 с.
28. Эльшенбройх, К. Металлоорганическая химия / К. Эльшенбройх. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 750 с.
29. 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 "Лаборатория 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 углеводородов [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. Зефирова. — 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. Зефирова. — 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 "Ла-

- боратория 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, воздуховодом. Аспиранты имеют возможность использовать материально-технические средства ла-

бораторий, 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 дизелькометр.

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

Автор-составитель рабочей программы учебной дисциплины:

 / Коровин Ф.А. /