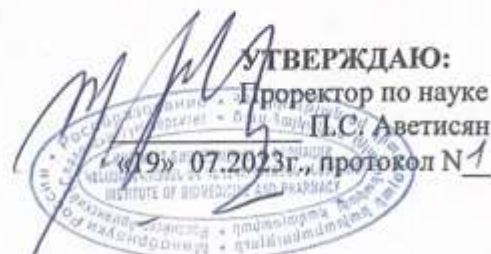


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, КУЛЬТУРЫ И СПОРТА РА  
ГОУ ВПО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Составлена в соответствии с федеральными  
Государственными требованиями к структуре  
основной профессиональной образовательной  
программы послевузовского профессионального  
образования (аспирантура)

Институт: Биомедицины и фармации  
Кафедра: Общей и фармацевтической химии



Учебная программа подготовки аспиранта и соискателя  
ДИСЦИПЛИНА: 2.1.1

Биоорганическая химия

наименование дисциплины (модуля) по учебному плану подготовки аспиранта

1.4.3.

-Шифр

Органическая химия

наименование научной специальности

Программа одобрена на заседании  
кафедры

протокол № 12 от 13.07. 2023 г.

Утверждена Ученым Советом ИБМиФ

протокол № 12 от 18.07. 2023 г.

Заведующий кафедрой

  
Подпись

к.х.н., доцент, Григорян А.М.

И.О.Ф, ученая степень, звание

Разработчик программы

  
Подпись

д.х.н., профессор, член корр. НАН РА Данагулян Г.Г.

И.О.Ф, ученая степень, звание

Ереван 2023г.

## Общие положения

Настоящая рабочая программа обязательной дисциплины (модуля) «**Биоорганическая химия**» образовательной программы послевузовского профессионального образования (ООП ППО) ориентирована на аспирантов университета, уже прослушавших общие и специальные курсы по различным разделам химии. Она разработана на основании законодательства Российской Федерации в системе послевузовского профессионального образования.

### 1. Цели изучения дисциплины (модуля)

Целью изучения дисциплины «**Биоорганическая химия**» является подготовка преподавателей и научных работников высшей квалификации, имеющих навыки чтения лекции по данной тематике, проведения соответствующих научных исследований на современном уровне, полезных как для теории, так и для практики.

Обучение в аспирантуре подразумевает как практическую работу аспиранта (или соискателя) над темой своей диссертации, проведения экспериментальных исследований, направленных на получение новых соединений, очистки и получения их в чистом виде, выяснение схем и механизмов химических реакций в рамках собственного исследования, доказательства строения синтезированных или выделенных из природного сырья веществ. Второй, не менее важной и неотъемлемой частью работы аспиранта и соискателя является освоение теоретических основ органической химии и сопутствующих, сопредельных дисциплин, таких как теоретические основы химических реакций в органической химии, основы спектральных и других аналитических и физико-химических методов исследования строения молекул, изучение методов синтеза и свойств различных классов соединений, в зависимости от диссертационной темы собственных исследований (например, химия гетероциклических соединений, химия природных веществ, химия биологически активных соединений, химия элементоорганических соединений и др.

Обучение в аспирантуре завершается сдачей экзамена (кандидатского минимума) по выбранной специальности и подготовкой и оформлением кандидатской диссертации на актуальную тему по указанной специальности.

Целью изучения дисциплины «Биоорганическая химия» является углубление знаний у аспирантов и будущих преподавателей и научных работников высшей квалификации в области методов синтеза, электронного строения, реакционной способности, биологической активности и значения различных классов органических соединений для сдачи кандидатского минимума (экзамена по специальности).

Задачи дисциплины заключаются в изучении:

- электронного и пространственного строения различных классов органических соединений – алифатических, ароматических, гетероциклических;
- основных методов получения различных классов соединений;
- связи между строением и химическими свойствами соединений, влияния функциональных групп на реакционную способность веществ;
- теоретических основ органической химии, различных теорий и подходов в объяснении механизмов и направлений реакций органических веществ;
- методов исследования и доказательства строения органических соединений;
- биологической роли природных и биогенных органических соединений.

### **Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура)**

Предмет «Биоорганическая химия» занимает свое - важное место в ряду других химических дисциплин и является связующим звеном между химическими и биологическими, а также медицинскими и фармацевтическими дисциплинами, поскольку большинство процессов протекающих в живой природе в своей природе основаны на превращениях между органическими веществами и включают процессы и закономерности, присущие органической химии.

## **2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля)**

Аспирант должен

**- знать о:**

- связи между строением (структурой) и химическими и физическими свойствами соединений, влиянии функциональных групп на реакционную способность веществ;
- электронном и пространственном строении различных классов органических соединений, включая  $\pi$ -избыточные,  $\pi$ -дефицитные и  $\pi$ -амфотерные;
- основных методах синтеза различных классов органических соединений, включая так называемые “именные реакции”;
- биологической роли природных и биогенных органических соединений в жизнедеятельности живых организмов.

**- уметь:**

- классифицировать органические соединения по их строению и свойствам;

- пользоваться принятой номенклатурой органических веществ и самостоятельно их называть;
- объяснять протекание органических реакций и выбирать условия их осуществления;
- объяснять свойства органических соединений в соответствии с типом заместителей и их расположением в молекуле;
- пользоваться современными интернет-ресурсами и специальными программами в поиске публикаций по своей и смежным тематикам.
- интерпретировать спектральные данные и определять по ним строение синтезированных или выделенных веществ.

**- Владеть:**

- методами исследования и доказательства строения органических соединений;
  - теоретическими основами органической химии, теорией, объясняющей протекание органических реакций в различных направлениях;
  - навыками лабораторной работы и поиска методик по синтезу и анализу полученных результатов; знаниями по всему курсу органической химии;
- умением объяснять химические свойства, проявляемые различными классами органических соединений.

**- демонстрировать**

- знания по всему курсу органической химии;
- умение объяснять химические свойства, проявляемые различными классами органических соединений.

### 3. Объем дисциплины (модуля) и количество учебных часов

Вид учебной работы	Кол-во зачетных единиц*/уч.часов
Аудиторные занятия	26/0.72
Лекции (минимальный объем теоретических знаний)	8
Семинар	
Практические занятия	18
Другие виды учебной работы(авторский курс,учитывающий результаты исследований научных школ Университета, в т.ч. региональных)	
Формы текущего контроля успеваемости аспирантов	
Внеаудиторные занятия:	10/0.28

Самостоятельная работа аспиранта	10
ИТОГО	36/1
Вид итогового контроля	Составляющая экзамена кандидатского минимума <b>зачет</b>

#### 4. Содержание дисциплины (модуля)

##### 4.1 Содержание лекционных занятий

№п /п	Содержание	Кол-во уч. часов
1	Принципы современного органического синтеза и установления строения органических соединений. Выбор оптимального пути синтеза. Основные пути построения углеродного скелета. Методы введения важнейших функциональных групп и пути перехода от одних функций к другим. Синтетические методы в органической химии и химические свойства соединений.	1
2	Алканы. Методы синтеза алканов. Реакции алканов. Циклоалканы.	0.5
3	Алкены. Методы синтеза алкенов. Реакции алкенов.	0.5
4	Алкины. Методы синтеза алкинов. Реакции алкинов.	0.5
5	Алкадиены. Методы синтеза 1,3-диенов. Реакции 1,3-диенов.	0.5
6	Спирты и простые эфиры. Методы синтеза одноатомных спиртов. Реакции одноатомных спиртов. Двухатомные спирты.	1
7	Методы синтеза простых эфиров. Реакции простых эфиров. Гидропероксиды. Краун-эфиры, их получение и применение в синтезе. Оксираны.	1
8	Альдегиды и кетоны. Методы получения альдегидов и кетонов. Реакции альдегидов и кетонов. $\alpha, \beta$ -Непредельные альдегиды и кетоны.	1
9	Карбоновые кислоты и их производные. Методы синтеза карбоновых кислот. Реакции карбоновых кислот. Методы получения производных карбоновых кислот. Реакции производных карбоновых кислот. Методы синтеза и свойства $\alpha, \beta$ -непредельных карбоновых кислот.	1
10	Арены. Синтетическое использование реакций электрофильного замещения в ароматическом ряду. Нитрование. Галогенирование. Сульфирование. Алкилирование аренов по Фриделю-Крафтсу. Ацилирование аренов.	1
Всего:		8

##### 4.2 Практические занятия

№п	Содержание	Кол-во уч. часов
----	------------	------------------

/П		
1	Нуклеофильное замещение в алифатическом ряду. Нуклеофильное замещение в ароматическом ядре.	2
2	Электрофильное замещение у атома углерода. Замещение в ароматическом кольце. Генерирование электрофильных реагентов. Правила ориентации их молекулярно-орбитальная интерпретация	2
3	Присоединение по кратным углерод-углеродным связям. Электрофильное присоединение.	2
4	Нуклеофильное присоединение к карбонильной группе. Альдегиды и кетоны.	2
5	Реакции 1,3-диенов. Галогенирование и гидрогалогенирование, 1,2- и 1,4-присоединение. Реакция Дильса—Альдерас алкенами и алкинами, ее типы: карбо-реакция, гетеро-реакция. Диены и диенофилы.	2
6	Карбоновые кислоты и их производные.	2
7	Классификация реакций ароматического электрофильного замещения. Влияние заместителей в бензольном кольце на скорость и направление электрофильного замещения. Согласованная и несогласованная ориентация.	2
8	Методы получения аминов. Перегруппировки Гофмана и Курциуса.	2
9	Использование химических и физико-химических методов для установления структуры органических соединений. Спектроскопия ЯМР, масс- и хромато-масс-спектрометрия. Газожидкостная и жидкостная хроматография, Рентгеноструктурный анализ. Практические занятия.	2
	Всего:	18

*Другие виды учебной работы*

№ п/п	Содержание	Кол-во уч. часов
1	Контрольная работа	1
...		
	Всего:	1

*Самостоятельная работа аспиранта*

№ п/п	Виды самостоятельной работы	Кол-во уч. часов
1	Алканы, номенклатура, классификация. Нуклеофильное замещение в алифатическом ряду. Механизмы реакций.	1
2	Алкены и алкины. Методы синтеза, свойства. Реакции присоединения и элиминирования.	1
3	Алкадиены. Методы синтеза и свойства 1,3-диенов, 1,2- и 1,4-присоединение. Реакция Дильса—Альдера. Диены и диенофилы, [4+2]-циклоприсоединение.	1
4	Подготовка по лекциям посвященным спиртам и простым эфирам. Методы синтеза, свойства.	1
5	Альдегиды и кетоны. $\alpha,\beta$ -Непредельные альдегиды и кетоны – получение и свойства.	1

6	Карбоновые кислоты и их производные. Карбоновые кислоты, содержащие иные функциональные группы. $\beta$ -Дикарбонильные соединения, таутомерия.	1
7	Арены. Электрофильное замещение в ароматическом ряду. Нуклеофильное замещение в ароматических и гетероароматических системах.	1
8	Механизмы реакций нуклеофильного замещения в ароматическом ряду.	1
9	Нитро-, нитрозо-, amino- соединения.	1
10	Спектральные методы в органической химии.	1
Всего:		10

#### **4 Перечень контрольных мероприятий и вопросы к экзаменам кандидатского минимума**

Итоговая аттестация аспиранта включает сдачу кандидатских экзаменов и представление диссертации в Диссертационный совет. Порядок проведения кандидатских экзаменов включает в кандидатский экзамен по научной специальности дополнительные разделы, обусловленные спецификой научной специальности. Билеты кандидатского экзамена по специальной дисциплине в соответствии с темой диссертации на соискание ученой степени кандидата наук должны охватывать разделы Специальной дисциплины отрасли науки и научной специальности (ОД.А.) и Дисциплины научной специальности по выбору аспиранта (ОДН.А.).

##### ***Перечень вопросов к экзаменам кандидатского минимума:***

1. Современные электронные представления о природе химической связи.
2. Типы связей в органической химии. Гибридизация атомов углерода и азота.
3. Электронные эффекты. Электроотрицательность атомов и групп.
4. Основные положения квантовой химии. Атомные и молекулярные орбитали (АО и МО).
5. Понятие о резонансе (сопряжении) в классической и квантовой химии. Метод граничных орбиталей.
6. Концепция ароматичности. Правило Хюккеля. Антиароматичность.
7. Стереохимия. Пространственное строение органических молекул. Пространственное взаимодействие несвязанных атомов и групп.
8. Понятие о конформации молекулы. Вращение вокруг связей: величины и симметрия потенциальных барьеров. Влияние эффектов сопряжения на стабильность конформеров.
9. Угловое напряжение и другие типы напряжения в циклических системах. Средние циклы и трансаннулярные взаимодействия. Инверсия циклов и азотсодержащих соединений. Номенклатура конформеров.

10. Связь конформации и реакционной способности. Стереоселективность и стереоспецифичность.
11. Пространственное строение этиленовых и диеновых систем. Номенклатура геометрических изомеров. Конформация диенов и триенов. Атропоизомерия.
12. Энантиомерия. Асимметрия и хиральность.
13. Номенклатура оптических антиподов. Неуглеродные атомы как центры хиральности.
14. Способы получения и разделения энантиомеров. Оптическая чистота и методы ее определения. Определение абсолютной и относительной конфигурации. Понятие о дисперсии оптического вращения и круговом дихроизме.
15. Классификация реакций по типу образования и разрыва связей в лимитирующей стадии, по типу реагента и по соотношению числа молекул реагентов и продуктов.
16. Теория переходного состояния. Термодинамические параметры активации. Кинетические уравнения основных типов реакций.
17. Межфазный катализ. Краун-эфиры - катализаторы межфазного переноса. Понятие о супрамолекулярной химии.
18. Карбениевые ионы (карбокатионы). Строение карбокатионов. Основные типы реакций карбокатионов и области их синтетического использования.
19. Карбанионы и СН-кислоты. Влияние структурных факторов и эффектов среды на стабилизацию карбанионов. Основные реакции карбанионов, анионные перегруппировки.
20. Амбидентные и полидентные анионы.
21. Карбены. Методы генерации карбенов и использование их в органическом синтезе.
22. Нитрены, их генерация, строение и свойства.
23. Свободные радикалы и ион-радикалы. Методы генерирования радикалов. Типы стабильных свободных радикалов. Основы метода ЭПР.
24. Катион- и анион-радикалы. Методы генерирования и свойства. Основные реакции ион-радикалов. Комплексы с переносом заряда.
25. Механизмы  $S_N1$  и  $S_N2$ , смешанный ионно-парный механизм. Влияние структуры субстрата и полярности растворителя на скорости и механизм реакции.
26. Типичные механизмы нуклеофильного замещения у  $sp^2$ -гибридного атома углерода. Моно- и бимолекулярные процессы нуклеофильного замещения в ароматическом ряду.
27. Нуклеофильное замещение в нитропроизводных бензола. Комплексы *Мейзенгеймера*. Нуклеофильное замещение в ароматических гетероциклах. *Кине*-замещение.
28. Механизмы замещения  $S_E1$ ,  $S_E2$ ,  $S_Ei$ . Влияние структуры субстрата и эффектов среды на скорость и направление реакций.



29. 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.
30. Механизмы гетеролитического элиминирования E1 и E2.
31. Электрофильное присоединение. Сильные и слабые электрофилы, механизм и стереохимия присоединения, регио- и стереоселективность реакций. Присоединение к сопряженным системам. Катионная полимеризация олефинов.
32. 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.
33. Присоединение к карбонилсодержащим соединениям оснований, включая карбанионы, металлоорганических соединений. Реакция *Анри*.
34. Енолизация альдегидов и кетонов. Метод ЯМР в его определении. Механизм этерификации кислот и получение ацеталей. Конденсации карбонильных соединений, карбоновых кислот и их производных.
35. Классификация перегруппировок: пинаколиновая и ретропинаколиновая, перегруппировка *Демьянова*. Перегруппировка *Вагнера—Мейервейна*. Перегруппировки с миграцией к атому азота (*Гофмана*, *Курциуса*, *Бекмана*). Реакция *Байера—Виллигера*.
36. Цепные радикальные реакции. Полимеризация, теломеризация, реакции автоокисления. Ингибиторы, инициаторы и промоторы цепных реакций.
37. Концепция сохранения орбитальной симметрии и правила *Вудворда—Гофмана*. Электроциклические реакции, сигматропные перегруппировки. Перициклические реакции [2+2] и [2+4]-циклоприсоединения. 1,3-Диполярное циклоприсоединение.
38. Прототропные и сигматропные перегруппировки. Правило *Корнблума*. Кето-енольное равновесие. Нитросоединения и нитроновые кислоты, нитрозосоединения и оксимы. Металлотропия.
39. Производные фосфора, бора, лития, магния, олова в органическом синтезе.
40. Спектроскопия ЯМР, ЭПР, колебательная и электронная спектроскопия, масс- и хромато-масс-спектрометрия. Рентгеноструктурный анализ.
41. Газожидкостная и жидкостная хроматография, ионообменная хроматография, электрофорез.
42. Гидрирование непредельных углеводородов, электролиз солей карбоновых кислот (*Кольбе*), восстановление карбонильных соединений.

43. Реакции алканов. Галогенирование, сульфохлорирование. Селективность радикальных реакций и относительная стабильность алкильных радикалов. Термический и каталитический крекинг.
44. Методы синтеза и строение циклоалканов. Типы напряжения в циклоалканах, их подразделение на малые, средние и макроциклы. Конформационный анализ циклогексана, аксиальные и экваториальные связи.
45. 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* ( $\alpha$ -галогенциклоалканы).
46. Элиминирование галогеноводородов из алкилгалогенидов, воды из спиртов. Синтез алкенов из четвертичных аммониевых солей (*Гофман*), N-окисей третичных аминов (*Коун*). Реакция *Виттига* как региоспецифический метод синтеза алкенов.
47. Реакции алкенов. Электрофильное присоединение галогенов, галогеноводородов, воды. Процессы, сопутствующие AdE-реакциям: сопряженное присоединение, гидридные и алкильные миграции. Окисление алкенов до оксиранов (*Прилежаев*). Цис-гидроксилирование алкенов по *Вагнеру* ( $\text{KMnO}_4$ ).
48. Радикальные реакции алкенов: присоединение бромистого водорода по *Харашу*, сероводорода и тиолов. Аллильное галогенирование по *Циглеру*.
49. Методы синтеза алкинов. Отщепление галогеноводородов. Усложнение углеродного скелета алкинов: реакции ацетиленидов натрия и меди, магнийорганических производных алкинов. Конденсация алкинов-1 с кетонами и альдегидами (*Фаворский, Ренне*).
50. Галогенирование, гидрогалогенирование, гидратация (*Кучеров*) алкинов. Ацетилен-алленовая изомеризация.
51. Методы синтеза 1,3-диенов.
52. 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. Катализ в реакции *Дильса—Альдера*. Стереохимия реакции.
53. Региоселективность [4+2]-циклоприсоединения в случае несимметричных диенов и диенофилов. Ретро-реакция *Дильса—Альдера*.
54. Методы синтеза одноатомных спиртов. Получение спиртов из алкенов, карбонильных соединений, сложных эфиров и карбоновых кислот.
55. Реакции одноатомных спиртов. Замещение гидроксильной группы в спиртах на галоген (под действием галогеноводородов, галогенидов фосфора и хлористого тионила). Дегидратация спиртов. Окисление первичных и вторичных спиртов.

56. Двухатомные спирты. Методы синтеза и реакции двухатомных спиртов. Окислительное расщепление 1,2-диолов (иодная кислота, тетраацетат свинца). Пинаколиновая перегруппировка.
57. Методы синтеза простых эфиров. Образование оксониевых солей, расщепление кислотами.
58. Краун-эфиры, их получение и применение в синтезе.
59. Оксираны. Способы получения. Раскрытие оксиранового цикла под действием электрофильных и нуклеофильных агентов.
60. Методы получения альдегидов и кетонов. Получение из спиртов, производных карбоновых кислот, алкенов (озонолиз), алкинов (гидроборирование), на основе металлорганических соединений. Ацилирование и формилирование аренов.
61. Реакции альдегидов и кетонов. Присоединение к альдегидам и кетонам воды, спиртов, тиолов. 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*.
62. Енамины, их алкилирование и ацилирование. Альдольно-кетоновая конденсация альдегидов и кетонов как метод усложнения углеродного скелета. Конденсация альдегидов и кетонов с малоновым эфиром и другими соединениями с активной метиленовой группой (*Кневенагель*). Аминометиление альдегидов и кетонов (*Манних*).
63. Бензоиновая конденсация. Конденсация альдегидов с нитроалканами (*Андри*). Восстановление альдегидов и кетонов до спиртов. Дезоксигенирование альдегидов и кетонов: реакции *Клемменсена* и *Кижнера—Вольфа*. Окисление альдегидов. Окисление кетонов надкислотами по *Байеру—Виллигеру*.
64. Методы получения  $\alpha$ ,  $\beta$ -непредельных альдегидов и кетонов и реакции 1,2- и 1,4-присоединения цианистого водорода, галогеноводородов. Эпоксидирование  $\alpha,\beta$ -непредельных кетонов. Сопряженное присоединение енолятов и енаминов к  $\alpha,\beta$ -непредельным альдегидам и кетонам (*Михаэль*).
65. Методы синтеза карбоновых 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.
66. Реакции карбоновых кислот, синтез галогенангидридов, ангидридов, сложных эфиров, нитрилов, амидов. Кетены, их получение и свойства.
67. Реакции производных карбоновых кислот. Восстановление галогенангидридов до альдегидов по *Розенмунду* и комплексными гидридами металлов. Взаимодействие галогенангидридов с диазометаном (реакция *Арндта-Эйстерта*).
68. Малоновая кислота: синтезы с малоновым эфиром, реакция *Михаэля*, конденсации с альдегидами (*Кневенагель-Дебнер*). Сложноэфирная и ацилоиновая конденсации.

69. Особенности эфиров двухосновных кислот (образование карбоциклов) в этих реакциях. Сложные эфиры  $\alpha$ -галогеносоединений в реакциях *Реформатского*. Ацетоуксусный эфир и его использование в синтезе.
70. Методы синтеза и свойства  $\alpha,\beta$ -непредельных карбоновых кислот. Дегидратация гидроксикислот, реакции *Кневенагеля*, *Виттига*, *Перкина* (синтез коричневых кислот). Реакции присоединения по двойной связи. Бром- и иодолактонизация  $\alpha,\beta$ -непредельных карбоновых кислот.
71. Классификация реакций ароматического электрофильного замещения. Влияние заместителей в бензольном кольце на скорость и направление электрофильного замещения. Согласованная и несогласованная ориентация.
72. Нитрующие агенты. Механизм реакции нитрования. Нитрование бензола и его замещенных. Нитрование бифенила, нафталина, ароматических аминов и фенола. Восстановление нитрогруппы в различных условиях.
73. Галогенирующие агенты. Механизм галогенирования аренов и их производных.
74. Сульфирование. Сульфирующие агенты. Сульфирование фенола и нафталина. Превращение сульфогруппы.
75. Алкилирование аренов по Фриделю-Крафтсу. Алкилирующие агенты. Механизм реакции. Полиалкилирование. Побочные процессы: изомеризация алкилирующего агента и конечных продуктов.
76. Ацилирование аренов. Ацилирующие агенты. Механизм реакции. Региоселективность ацилирования. Особенности ацилирования фенолов, перегруппировка *Фриса*. Формилирование по *Гаттерману-Коху*, *Гаттерману* и *Вильсмейеру*.
77. Нитросоединения и амины. Алкилирование аммиака и аминов по *Гофману*, фталимида калия (*Габриэль*), восстановление азотсодержащих производных карбонильных соединений и карбоновых кислот, нитросоединений, алкилазидов. Перегруппировки *Гофмана* и *Курциуса*.
78. Пятичленные гетероциклы с одним гетероатомом. Фуран, пиррол, тиофен. Синтез из 1,4-дикарбонильных соединений (*Пааль—Кнорр*). Синтез пирролов по *Кнорру* и по *Ганчу*.
79. Реакции электрофильного замещения в пятичленных ароматических гетероциклах: нитрование, сульфирование, галогенирование, формилирование, ацилирование.
80. Индол. Синтез производных индола из фенилгидразина и кетонов (*Фишер*). Реакции электрофильного замещения в пиррольном кольце индола: нитрование, формилирование, галогенирование.
81. 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 *Скрауну* и *Дебнеру—Миллеру*.

82. Реакции пиридина и хинолина с алкилгалогенидами. Окисление и восстановление пиридина и хинолина. Реакции электрофильного замещения в пиридине и хинолине: нитрование, сульфирование, галогенирование. *N*-Оксиды пиридина и хинолина и их использование в реакции нитрования.

83. 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.

84. Пиримидин, синтез и строение. Таутомерия в ряду азинов на примере производных пиримидина.

85. Нуклеофильные реакции в ряду пиримидина – реакции замещения и рециклизации. Механизмы реакций нуклеофильного замещения в ряду гетероциклов –  $S_{N2}Ar$ ,  $S_{NH}$ , теле- и кинезамещение,  $S_{N}ANRORC$ .

86. Ароматичность и правило Хюккеля. Гетероароматические системы.  $\pi$ -избыточность и  $\pi$ -дефицитность.

87.  $\pi$ -Избыточные гетарены. Электрофильное замещение в ряду  $\pi$ -избыточных гетаренов.

88. Классификация и номенклатура гетероциклов.

89. Рециклизации с включением фрагмента нуклеофила. Перегруппировки Димрота, Коста-Сагитуллина.

90.  $\pi$ -Амфотерность азолов на примере пиразола и имидазола. Таутомерия имидазола и пиразола.

## **5 Образовательные технологии**

В процессе обучения применяются следующие образовательные технологии:

1. Сопровождение лекций показом визуального материала.
2. Проведение лекций с использованием интерактивных методов обучения.

## **6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебно-методические и библиотечно-информационные ресурсы обеспечивают учебный процесс и гарантируют качественное освоение аспирантом образовательной программы. Университет располагает обширной библиотекой, включающей научно-экономическую

литературу, научные журналы и труды научно-практических конференций по основополагающим проблемам науки и практики управления.

### **7.1. Основная литература:**

Ингольд К. *Теоретические основы органической химии*. М.: Мир, 1973.

Марч Дж. *Органическая химия*, Т. 1-4. М.: Мир, 1987.

Реутов О.А., Курц А.Л., Бутин К.П. *Органическая химия*. Ч. 1-4. М.: Бином, 2007.

Кери Ф., Сандберг Р. *Углубленный курс органической химии*. Кн. 1, 2. М.: Химия, 1981.

Сайкс П. *Механизмы реакций в органической химии. Вводный курс*. М.: Химия, 2000.

Минкин В.И., Симкин Б.Я., Миняев Р.М. *Теория строения молекул*. Ростов-на-Дону: Феникс, 1997.

Потапов В.М. *Стереохимия*. М.: Химия, 1988.

*Органикум: Практикум по органической химии* / Г. Беккер, В. Бергер и др. Т. 1, 2. М.: Мир, 1992.

Джоуль Дж., Миллс К. *Химия гетероциклических соединений*. Изд. "Мир", Москва, 2004

Юровская М.А., Куркина А.В. *Основы органической химии*. "Бином", Москва, 2010

Пожарский А. Ф. *Теоретические основы химии гетероциклов*. М., "Химия", 1985.

### **7.2. Дополнительная литература**

Юровская М.А. *Химия ароматических гетероциклических соединений*. "Бином", Москва, Лаборатория знаний. 2015.

Титце Л., Айхер Т. *Препаративная органическая химия. Реакции и синтезы в практикуме органической химии и научно-исследовательской лаборатории*. М.: Мир, 1999.

Джилкрист Т.Л. *Химия гетероциклических соединений*. М.: Мир, 1996.

### **7.3. Интернет-ресурсы**

Сайты химических факультетов ведущих российских, европейских и американских университетов.