



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Иркутский государственный университет»**  
**(ФГБОУ ВО «ИГУ»)**  
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ  
Декан химического факультета  
доц. Вильмс А.И. /Вильмс А.И./  
“16” мая 2024 г.

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Наименование дисциплины (модуля): **Гетероциклические соединения**

**Научная специальность:**

**1.4.7 Высокмолекулярные соединения**

**Форма обучения:** очная

Согласовано с УМК химического факультета  
протокол № 4 от «13» мая 2024 г.  
Председатель УМК Вильмс А.И. /Вильмс А.И./

Программа рассмотрена на заседании кафедры  
органической химии и высокомолекулярных  
соединений  
«10» мая 2024 г. Протокол № 9  
Зав. кафедрой Кижняев В.Н. /Кижняев В.Н./

**Иркутск 2024 г.**

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Цели и задачи дисциплины
2. Требования к результатам освоения дисциплины
3. Объем дисциплины и виды учебной работы
4. Содержание дисциплины
  - 4.1. Содержание разделов и тем дисциплины
  - 4.2. Разделы и темы дисциплин и виды занятий
  - 4.3. Перечень тем семинарских занятий
5. Примерная тематика рефератов (при наличии)
  
6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:
  - а) федеральные законы и нормативные документы (при наличии);
  - б) основная литература;
  - в) дополнительная литература;
  - г) программное обеспечение;
  - д) базы данных, поисково-справочные и информационные системы
7. Материально-техническое обеспечение дисциплины
  
8. Образовательные технологии
  
9. Оценочные средства (ОС)
  - 9.1 Оценочные средства текущего контроля
  - 9.2 Оценочные средства для промежуточной аттестации

### 1. Цели и задачи дисциплины:

**Цель** – углубленное изучение теоретических основ химии ароматических азотистых гетероциклических соединений (азолов и азинов).

### Задачи:

- рассмотрение основных типов механизмов реакций для различных классов элементоорганических соединений;
- обобщение вопросов, связанных с оценкой реакционной способности различных элементоорганических соединений на основе электронных эффектов, кислотности и основности органических молекул, классификации органических реакций, типов реагентов, условий проведения реакций;
- получение фундаментальных представлений о возможности количественной оценки реакционной способности органических соединений, о регио- и стерео-направленности протекания реакций.

### 2. Требования к результатам освоения дисциплины.

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

#### **Знать:**

- фундаментальные разделы химии, касающиеся строения, номенклатуры, спектральных свойств, кислотно-основных свойств гетероароматических соединений;
- основные подходы синтеза, основные физические и химические свойства гетероциклических соединений;

#### **Уметь:**

- анализировать литературные и экспериментальные данные;
- дать оценку реакционной способности гетероциклических соединений, исходя из их строения;
- применять синтонный подход для синтеза гетероциклических соединений.

#### **Владеть навыками:**

- использования химического и физико-математического аппарата, необходимого для профессиональной деятельности;
- соотнесения свойств органического соединения с его структурой;
- рациональной схемы при выборе алгоритма методов синтеза и идентификации органических соединений.

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Виды учебной работы	Всего часов/ зачет-ных единиц	Курсы			
		1	2	3	4
Аудиторные занятия (всего)	36		36		
В том числе:					
Лекции	8		8		
Практические занятия	8		8		
<b>Контактная работа</b>	<b>16</b>		<b>16</b>		
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>18</b>		<b>18</b>		
В том числе:					
Анализ и реферирование учебной и научной литературы по теме					
Подготовка доклада, сообщения и презентации по теме курса					

Подготовка к выполнению тестовых заданий (текущих и итоговых)					
КРПА	1		1		
Общая трудоемкость	часы	36		36	

## 4. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Содержание тем и разделов

#### 1. Классификация и номенклатура азотистых гетероциклов

Роль гетероциклических соединений в живых системах. Гетероциклы на мировом рынке наукоемкой химии, технологии малотоннажных продуктов и лекарственных средств. Области применения гетероциклических соединений.

Классификация и номенклатура азотистых гетероциклов, конденсированных систем.

#### 2. Гетероароматичность и типы гетероатомов

Общие и отличительные признаки молекулярного строения гетероциклических и карбоциклических систем. Неароматические трех-, четырех- и семичленные гетероциклы. Гетероароматичность и типы гетероатомов.  $\pi$ -Избыточные,  $\pi$ -дефицитные и  $\pi$ -амфотерные гетероциклы. Критерии ароматичности: структурные, спектральные, энергетические, химические. Количественная оценка ароматичности азолов и азинов.

#### 3. Реакции гетероциклизации

Реакции гетероциклизации. Классификация, механизмы, термодинамика. Электролитические реакции: аддитивная таутомерия без миграции, с миграцией, гетероциклизация. Диполярное циклоприсоединение. Механизмы элементарных стадий. Конкретные примеры синтеза пятичленных гетероциклов с одним гетероатомом (фураны, тиофены, пирролы), азолов (пиразолы, имидазолы, тиазолы, оксазолы, триазолы, оксадиазолы, тетразолы), азинов (пиридины, ди-, три- и тетразины), конденсированных систем (индолы, бензофураны, бензотиофены, хинолины), пиримидинов и пуринов.

#### 4. Таутомерия гетероциклических соединений

Таутомерия гетероциклических соединений в растворах и в газовой фазе. Определение понятий таутомерии и изомерии применительно к гетероциклам. Прототропная, amino-иминная, кето-енольная, тион-тиольная, гидроксид (тиол)-цвиттерионная таутомерии. Влияние природы субстрата и растворителя на таутомерные равновесия. Экспериментальные методы исследования таутомерии.

#### 5. Кислотно-основные свойства азотистых гетероциклов

Кислотно-основные свойства азотистых гетероциклов в газовой фазе и в растворах. Влияние числа атомов азота, заместителей в цикле на константы основности и кислотности азолов и азинов. Взаимосвязь констант кислотности и основности. Особенности электронного строения нейтральных и заряженных (анионов и протонированных форм) гетероциклов

#### 6. Электрофильное замещение (присоединение) у атома азота в азолах, азилах

Электрофильное замещение (присоединение) у атома азота в азолах и азилах. Алкилирование тетразолов. Строение и формы существования гетероциклического субстрата, электрофильного реагента. Влияние реакционной среды на скорость и селективность электрофильных реакций с гетероциклическими субстратами. Катализ электрофильных реакций с участием тетразолов: кислотный, основной, межфазный.

#### 7. Электрофильное замещение у атома углерода в азолах и азилах

Электрофильное замещение у атома углерода в пирроле, фуране, тиофене, азолах и азинах. Влияние природы гетероатома на активность гетероциклов в реакциях электрофильного замещения и селективность реакций.

### 8. Нуклеофильное замещение в гетероциклах

Нуклеофильное замещение в гетероциклах. Механизмы АЕ, ЕА и АЕа. Нуклеофильное замещение водорода и галогенов в азинах, пирроле, фуране, тифене и азолах. Окислительно-восстановительные реакции, реакции Дильса-Альдера с участием гетероциклических соединений.

### 9. Гетероциклические системы как заместители в органических молекулах

Гетероциклические системы как заместители в органических молекулах. Влияние числа гетероатомов на значения электронных констант азольных и азинильных заместителей.

### 10. Винильные производные азолов. Синтез С- и N-винилазолов

Винильные производные азолов. Синтез С- и N-винилазолов и их полимеризация. Карбоцепные и гетероцепные полимеры с азольными циклами.

### 11. Синтез физиологически активных соединений на основе гетероциклических соединений. Гетероциклы в медицине

Синтез физиологически активных соединений на основе гетероциклических соединений. Гетероциклы в медицине.

## 4.2. Разделы и темы дисциплин и виды занятий

№ п.п.	Наименование раздела дисциплины	Лекции	Практ. зан.	СРС	Всего
1.	Классификация, номен-клатура гетероциклических соединений. Гетероароматичность	1	1	2	4
2.	Реакции гетероциклизации. Классификация, конкретные примеры	1	1	4	6
3.	Строение, физико-химические, спектральные свойства гетероциклических соединений	1	1	4	6
4.	Химические свойства гетероциклических соединений	2	1	4	7
5.	Гетероциклические системы как заместители в органических молекулах	2	2	2	6
6.	Винильные производные азолов. Синтез С- и N-винилазолов Синтез физиологически активных соединений на основе гетероциклических соединений.	1	2	2	5
		8	8	18	36

#### 4.3 Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ темы дисциплины	Наименование семинарских занятий	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства
1.	1	Классификация и номенклатура гетероциклов, упражнения, контроль знаний.	2	компьютер – раздел №1 обучающей системы
2.	1	Признаки и критерии ароматичности, типы гетероатомов. Структурный, спектральный, энергетический и химический критерии ароматичности. Расчет ароматичности гетероциклов.	2	(компьютер – раздел №1 обучающей системы), коллоквиум
3.	2	Образование гетероциклической системы. Классификация основных процессов. Механизмы элементарных стадий. Разбор конкретных примеров	4	компьютер – раздел №3 обучающей системы
4.	3	Кислотно-основные свойства. Кислотность и основность азолов в газовой фазе и в растворах. Взаимосвязь констант кислотности и основности.	4	компьютер – раздел №3 обучающей системы
5.	4	Таутомерия. Определение понятий таутомерии и изомерии применительно к гетероциклам. Прото-тропная, аминокимная, кетонольная, тион-тиольная, гидроксид(тиол)-цивиттерионная таутомерии	4	компьютер – раздел №4 обучающей системы
6.	5	Гетероциклические системы как заместители в органических молекулах. Электронные эффекты, значения электронных и пространственных констант для анализа в рамках уравнений ЛСЭ	2	компьютер – раздел №5 обучающей системы
7.	6	Электрофильное замещение (присоединение) у атомов азота гетероциклов. Влияние реакционной среды на скорость и селективность электрофильных. Катализ электрофильных реакций с участием гетероциклических субстратов: кислотный, основной, межфазный	2	компьютер – раздел №6 обучающей системы, коллоквиум
8.	6	Электрофильное замещение у атома углерода в пирроле, фуране, тиофене, азолах и азинах. Влияние природы гетероатома на активность гетероциклов.	2	компьютер – раздел №6 обучающей системы
9.	6	Нуклеофильное замещение атома водорода в гетероароматических системах. Реакции N, O и C-нуклеофилов с гетероароматическими субстратами.	2	компьютер – раздел №6 обучающей системы, коллоквиум

**5. Примерная тематика рефератов, докладов, проектов (при наличии); перечень вопросов к зачетам, экзаменам и т.п.: не предполагается.**

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

**а) основная литература**

1. **Органическая химия:** учеб.пособие : в 2 ч. / О. А. Эдельштейн [и др.] ; рец.: А. В. Иванов, А. В. Рохин ; Иркут. гос. ун-т, Хим. фак. - Иркутск : Изд-во ИГУ. - 21 см. - ISBN 978-5-9624-0809-5. **Ч. 2** : Нуклеофильные реакции в органической химии. - 2014. - 95 с. : ил. - Библиогр.: с. 95. - ISBN 978-5-9624-1144-6 : - 36 экз.
2. **Травень Ф. В.** Органическая химия. Т. 1 [Электронный ресурс] / Ф. В. Травень. - 4-е изд. - Москва : Бином. Лаборатория знаний, 2015. - 401 с. - (Учебник для высшей школы). - **Режим доступа:** [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=84108](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=84108). - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-9963-2939-7 :
3. **Травень Ф. В.** Органическая химия. Т. 2 [Электронный ресурс] / Ф. В. Травень. - 4-е изд. - Москва : Бином. Лаборатория знаний, 2015. - 550 с. - (Учебник для высшей школы). - **Режим доступа:** [https://e.lanbook.com/book/84109#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/84109#book_name). - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань".-Неогранич. доступ.- ISBN 978-5-9963-2940-3 :
4. **Травень Ф. В.** Органическая химия. Т. 3 [Электронный ресурс] / Ф. В. Травень. - 4-е изд. - Москва : Бином. Лаборатория знаний, 2015. - 391 с. - (Учебник для высшей школы). - **Режим доступа:** [https://e.lanbook.com/book/84110#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/84110#book_name). - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". -Неогранич. доступ.-ISBN 978-5-9963-2941-0 :

**б) Дополнительная литература**

1. **Неконденсированные вицинальные триазолы** [Текст] : справ.пособие / Иркут. гос. ун-т ; сост. Т. В. Голобокова [и др.] ; рец.: А. Ф. Шмидт, Г. А. Гареев. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2012. - 133 с. ; 21 см. - Библиогр.: с. 133. - ISBN 978-5-9624-0666-4 :- 11 экз.

**в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы**

<http://www.chem.msu.ru/> - портал химического образования России

<http://www.chem.msu.ru/rus/elibrary/>

Электронная библиотека по химии <http://www.chemistry.narod.ru/>

Мир химии <http://www.chem.km.ru/>

<http://www.informika.ru/text/database/chemy/START.html> Электронный справочник

"Химия для всех"

<http://www.uic.ssu.samara.ru/~chemistry/index.htm> Органическая химия

<http://formula44.narod.ru/> Органическая химия

<http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/yurovska/welcome.html> Химия гетероциклических соединений

**7. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

№ п/п	Наименование	Количество
1.	Персональные компьютеры	3
2.	Мультимедийный проектор	1
3.	Таблицы-схемы	10

## 8. Образовательные технологии:

Из комплекса эффективных педагогических методик и технологий, способствующих вовлечению аспирантов в поиск и управление знаниями, приобретению опыта самостоятельного решения разнообразных задач, в процессе преподавания дисциплины «Гетероциклические соединения» используются следующие:

- педагогические технологии на основе активизации и интенсификации деятельности учащихся (проблемное обучение);
- проведение занятий в аудиториях, оснащенных современными техническими средствами;
- письменные и устные домашние задания;
- подготовка к текущему и промежуточному контролю;
- консультации преподавателя.

Самостоятельная работа аспирантов направлена на решение следующих задач:

- логическое мышление, навыки создания научных работ естественнонаучного направления, ведения научных дискуссий;
- осуществление эффективного поиска информации и анализа источников;
- формирование и аргументированное отстаивание собственной позиции по различным проблемам химии.

Для решения указанных задач аспирантам предлагаются задания по поиску информации по различным разделам химии гетероциклических соединений. Проверка выполнения заданий осуществляется как на семинарских занятиях с помощью устных выступлений студентов и их коллективного обсуждения, так и с помощью письменных самостоятельных (контрольных) работ, коллоквиумы.

## 9. Фонды оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

### 9.1 Оценочные средства текущего контроля:

Для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации разработаны ОС, которые включают:

- контрольные вопросы по темам и типовые задания для зачета

#### Темы коллоквиумов

1. Признаки и критерии ароматичности, типы гетероатомов. Структурный, спектральный, энергетический и химический критерии ароматичности. Расчет ароматичности гетероциклов
2. Образование гетероциклической системы. Классификация основных процессов. Электролитические реакции – аддитивная таутомерия без миграции, с миграцией, гетероциклизация. Дипольное циклоприсоединение. Механизмы элементарных стадий. Разбор конкретных примеров.
3. Кислотно-основные свойства. Кислотность и основность азолов в газовой фазе и в растворах. Влияние числа атомов азота, заместителей в гетероцикле, среды на константы кислотности и основности азолов. Взаимосвязь констант кислотности и основности. Гетероциклические слабые основания. Основность азинов. Особенность электронного строения нейтральных и заряженных (анионов и протонированных форм), а также соответствующих ионных пар и комплексов.
4. Таутомерия. Определение понятий таутомерии и изомерии применительно к гетероциклам. Прототропная, аминок-иминная, кето-енольная, тион-тиольная, гидрокси(тиол)-цвиттерионная таутомерии  
Влияние природы субстрата и растворителя на таутомерные равновесия.
5. Электрофильное замещение (присоединение) у атомов азота гетероциклов. Алкилирование, ацилирование, электрофильное аминирование, окси- и аминометилирование. Строение и формы существования гетероциклического субстрата, электрофильного реагента. Влияние



реакционной среды на скорость и селективность электрофильных реакций с гетероциклическими субстратами. Катализ электрофильных реакций с участием гетероциклических субстратов: кислотный, основной, межфазный.

5. Нуклеофильное замещение атома водорода в гетероароматических системах. Реакции N, O и C-нуклеофилов с гетероароматическими субстратами. Механизмы нуклеофильного замещения атома водорода.

### **ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЗАЧЕТУ**

1. Классификация и номенклатура азотистых гетероциклов, конденсированных систем.
2. Гетероароматичность и типы гетероатомов.  $\pi$ -Избыточные,  $\pi$ -дефицитные и  $\pi$ -амфотерные гетероциклы.
3. Критерии ароматичности: структурные, спектральные, энергетические, химические. Количественная оценка ароматичности азолов и азинов.
4. Реакции гетероциклизации. Классификация, механизмы, термодинамика. Электролитические реакции: аддитивная таутомерия без миграции, с миграцией, гетероциклизация. Диполярное циклоприсоединение. Механизмы элементарных стадий.
5. Конкретные примеры синтеза пятичленных гетероциклов с одним гетероатомом (фураны, тиофены, пирролы), азолов (пиразолы, имидазолы, тиазолы, оксазолы, триазолы, оксадиазолы, тетразолы).
6. Конкретные примеры синтеза шестичленных гетероциклов азинов (пиридины, ди-, три- и тетразины), конденсированных систем (индолы, бензофураны, бензотиофены, хинолины), пиримидинов и пуринов.
7. Таутомерия гетероциклических соединений в растворах и в газовой фазе. Определение понятий таутомерии и изомерии применительно к гетероциклам. Прототропная, аминок-иминная, кето-енольная, тион-тиольная, гидроксид-тиол-цивиттерионная таутомерии. Влияние природы субстрата и растворителя на таутомерные равновесия. Экспериментальные методы исследования таутомерии.
8. Кислотно-основные свойства азотистых гетероциклов в газовой фазе и в растворах. Влияние числа атомов азота, заместителей в цикле на константы основности и кислотности азолов и азинов.
9. Взаимосвязь констант кислотности и основности. Особенности электронного строения нейтральных и заряженных (анионов и протонированных форм) гетероциклов.
10. Электрофильное замещение (присоединение) у атома азота в азолах и азинах. 11. Алкилирование тетразолов. Строение и формы существования гетероциклического субстрата, электрофильного реагента. Влияние реакционной среды на скорость и селективность электрофильных реакций с гетероциклическими субстратами. Катализ электрофильных реакций с участием тетразолов: кислотный, основной, межфазный.
12. Электрофильное замещение у атома углерода в пирроле, фуране, тиофене, азолах и азинах. Влияние природы гетероатома на активность гетероциклов в реакциях электрофильного замещения и селективность реакций.
13. Нуклеофильное замещение в гетероциклах. Механизмы АЕ, ЕА и АЕа. Нуклеофильное замещение водорода и галогенов в азинах, пирроле, фуране, тиофене и азолах.
14. Гетероциклические системы как заместители в органических молекулах. Влияние числа гетероатомов на значения электронных констант азиольных и азинильных заместителей.
15. Винильные производные азолов. Синтез С- и N-винилазолов и их полимеризация. Карбоцепные и гетероцепные полимеры с азольными циклами.
16. Синтез физиологически активных соединений на основе гетероциклических соединений. Гетероциклы в медицине.

### **9.2. Оценочные средства для промежуточной аттестации**

Сдача коллоквиумов.

Формой итогового контроля является зачет.

**Разработчик:**

Профессор кафедры теоретической и прикладной органической химии и полимеризационных процессов химического факультета

д.х.н., профессор



Кижняев Валерий Николаевич

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической и прикладной органической химии и полимеризационных процессов химического факультета

«10» мая 2024 г. Протокол № 9

Зав. кафедрой, к.х.н., профессор



В.Н.Кижняев