

УДК 547  
ББК 24.2  
Г695

**Рецензенты:**

**Л. Д. Румш**, заведующий лабораторией Института  
биоорганической химии РАН, д-р хим. наук, профессор

**С. Н. Соловьев**, заведующий кафедрой общей  
и неорганической химии РХТУ, д-р хим. наук, профессор

**Г695 Горленко В. А., Кузнецова Л. В., Яныкина Е. А.**  
**Органическая химия: Учебное пособие. Ч. V, VI. – М.: Прометей, 2012. – 398 с.**

Данное издание представляет собой V и VI части учебного пособия по курсу «Органическая химия». Оно охватывает соединения циклического ряда и включает современные данные по номенклатуре и изомерии, электронному строению, способам получения и характерным химическим свойствам класса алициклических углеводов (циклоалканы), ароматических соединений, включая ряды бензола, полиядерных ароматических углеводов с изолированными и конденсированными ядрами, а также гетероциклических соединений с одним или более гетероатомами в цикле. Свойства рассматриваются в тесной взаимосвязи со строением органических соединений. Значительное внимание уделяется механизмам реакций, объясняющим особенности химического поведения. Изложение материала сопровождается иллюстрациями биологической роли органических веществ соответствующего класса.

В конце каждого раздела приведен список вопросов и заданий для повторения и закрепления материала.

Издание предназначено для студентов биолого-химических факультетов педагогических вузов, включая бакалавриат биолого-химического и биологического направлений.

**ISBN 978-5-7042-2377-1**

© В. А. Горленко, Л. В. Кузнецова, Е. А. Яныкина, 2012

© Издательство «Прометей», 2012

# Содержание

## Часть V.

## КАРБОЦИКЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ .....11

### 23. АЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ.....11

23.1. Циклоалканы (циклопарафины).....	14
23.1.1. Номенклатура и изомерия циклоалканов.....	15
23.1.2. Электронное строение циклопропана ....	24
23.1.3. Способы получения циклоалканов .....	27
23.1.4. Физические свойства циклоалканов .....	29
23.1.5. Химические свойства циклоалканов .....	30
23.2. Применение циклоалканов и их биологически активные производные.....	38
<i>Резюме</i> .....	41
<i>Вопросы и задания</i> .....	43

### 24. АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ (АРЕНЫ) И ИХ ЗАМЕЩЕННЫЕ .....45

24.1. Общие сведения.....	47
24.2. Изомерия и номенклатура углеводородов ряда бензола .....	49
24.3. Получение бензола и его гомологов .....	51
24.3.1. Природные источники.....	51
24.3.2. Синтетические способы получения бензола и его гомологов.....	52
24.3.2.1. Полимеризация алкинов .....	52
24.3.2.2. Реакция Вюрца-Фиттига (1864).....	52
24.3.2.3. Реакция Фриделя-Крафтса – алкилирование бензола.....	53
24.3.2.4. Декарбоксилирование ароматических кислот .....	53
24.4. Физические свойства бензола и его гомологов ..	54
24.5. Строение бензола .....	54
24.5.1. Концепция гибридизации .....	54
24.5.2. Квантово-химическое описание ароматических систем .....	58

24.5.3. Правило Хюккеля . . . . .	62
24.5.4. Критерии ароматичности . . . . .	68
24.6. Химические свойства бензола . . . . .	71
24.6.1. Реакции электрофильного замещения . . . . .	71
24.6.1.1. Механизм реакции электрофильного замещения $S_E2$ . . . . .	72
24.6.1.2. Реакция нитрования . . . . .	78
24.6.1.3. Сульфирование бензола и его производных. . . . .	80
24.6.1.4. Галогенирование . . . . .	84
24.6.1.5. Алкилирование по ядру . . . . .	86
24.6.1.6. Ацилирование . . . . .	89
24.6.2. Ориентация в реакциях электрофильного замещения и реакционная способность производных бензола. . . . .	91
24.6.2.1. Ориентанты I рода . . . . .	93
24.6.2.2. Ориентанты II рода . . . . .	101
24.6.2.3. Ориентация в дизамещенных бензола . . . . .	104
24.6.3. Реакции присоединения . . . . .	105
24.6.3.1. Гидрирование . . . . .	106
24.6.3.2. Присоединение галогенов. . . . .	106
24.6.4. Реакции окисления . . . . .	107
<b>Резюме</b> . . . . .	109
<b>Вопросы и задания</b> . . . . .	113
24.7 Гидроксипроизводные ароматического ряда . . . . .	115
24.7.1. Фенолы . . . . .	115
24.7.1.1. Физические свойства фенолов. . . . .	116
24.7.1.2. Способы получения фенолов . . . . .	118
24.7.1.3. Электронное строение фенола и реакционная способность . . . . .	126
24.7.1.4. Химические свойства фенолов . . . . .	128
24.7.2. Многоатомные фенолы . . . . .	142
24.7.3. Ароматические спирты . . . . .	145
24.7.4. Применение фенолов. . . . .	146
<b>Резюме</b> . . . . .	148
<b>Вопросы и задания</b> . . . . .	150
24.8. Альдегиды и кетоны ароматического ряда . . . . .	153
24.8.1. Номенклатура, изомерия, общая характеристика . . . . .	153

24.8.2. Получение карбонильных соединений . .	155
24.8.3. Химические свойства . . . . .	157
24.8.3.1. Реакции нуклеофильного присоединения . . . . .	157
24.8.3.2. Реакции конденсации . . . . .	160
24.8.3.3. Взаимодействие с аминами . . . . .	161
24.8.3.4. Реакции окисления альдегидов и кетонов . . . . .	162
24.8.3.5. Взаимодействие ароматических альдегидов с хлором . . . . .	165
24.8.3.6. Галоформная реакция. . . . .	165
24.8.3.7. Восстановление ароматических альдегидов и кетонов . . . . .	166
24.8.4. Реакции по ароматическому ядру . . . . .	167
<b>Резюме</b> . . . . .	167
<b>Вопросы и задания.</b> . . . .	170
24.9. Карбоновые кислоты ароматического ряда . . . .	171
24.9.1. Общая характеристика ароматических карбоновых кислот. . . . .	173
24.9.2. Получение ароматических карбоновых кислот . . . . .	174
24.9.3. Химические свойства . . . . .	176
24.9.3.1. Реакции по карбоксильной группе .	176
24.9.3.2. Реакции по ароматическому ядру .	181
24.9.4. Фенолоксилоты. . . . .	182
24.9.4.1. Салициловая (о-гидроксibenзойная) кислота . . . . .	182
24.9.4.2. Галловая кислота (3,4,5-тригидроксibenзойная). . . . .	184
<b>Резюме</b> . . . . .	185
<b>Вопросы и задания.</b> . . . .	187
24.10. Амины ароматического ряда . . . . .	188
24.10.1. Общая характеристика аминов ароматического ряда . . . . .	189
24.10.2. Получение ароматических аминов . . . .	191
24.10.3. Химические свойства . . . . .	195
24.10.3.1. Реакции по аминогруппе . . . . .	195
24.10.3.2. Реакции по ароматическому ядру .	202
<b>Резюме</b> . . . . .	206
<b>Вопросы и задания.</b> . . . .	207

24.11. Ароматические диазо- и азосоединения. . . . .	209
24.11.1 Структура солей диазония. . . . .	211
24.11.2. Получение солей диазония – реакция диазотирования . . . . .	212
24.11.3. Реакции солей диазония с выделением азота. . . . .	215
24.11.4. Реакции солей диазония без выделения азота. . . . .	220
24.11.4.1. Восстановление солей диазония . . .	220
24.11.4.2. Реакция азосочетания – получение азокрасителей . . . . .	220
24.11.4.3. Примеры азокрасителей . . . . .	223
24.11.4.4. Хромоизомерия азокрасителей. . . .	225
<b>Резюме</b> . . . . .	227
<b>Вопросы и задания</b> . . . . .	128

## 25. ПОЛИЯДЕРНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ АРОМАТИЧЕСКОГО РЯДА . . . . . 231

25.1. Полиядерные ароматические углеводороды с изолированными бензольными ядрами . . . . .	232
25.1.1. Способы получения полиядерных ароматических соединений с изолированными ядрами . . . . .	233
25.1.2. Химические свойства . . . . .	236
25.1.2.1. Реакции электрофильного замещения . . . . .	236
25.1.2.2. Свойства ди- и трифенилметанов по центральному углеродному атому. . . . .	237
25.1.2.3. Красители трифенилметанового ряда. . . . .	242
<b>Резюме</b> . . . . .	245
<b>Вопросы и задания</b> . . . . .	247
25.2. Полиядерные соединения с конденсированными ядрами. . . . .	248
25.2.1. Ароматичность конденсированных углеводородов. . . . .	252
25.2.2. Химические свойства конденсированных ароматических углеводородов . . . . .	254
25.2.2.1. Реакции электрофильного замещения . . . . .	254

25.2.2.2. Реакции присоединения к конденсированным ароматическим углеводородам . . . . .	261
25.2.2.3. Окисление . . . . .	263
25.2.2.4. Получение гидрокси- и аминозамещенных конденсированных углеводородов . . . . .	265
<b>Резюме</b> . . . . .	268
<b>Вопросы и задания</b> . . . . .	270

## Часть VI.

## ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ . . . . .272

### 26. ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ С ОДНИМ ГЕТЕРОАТОМОМ . . . . .273

26.1. Пятичленные гетероциклы с одним гетероатомом . . . . .	274
26.1.1. Общая характеристика, изомерия, номенклатура, биологическая роль производных . . . . .	274
26.1.2. Способы получения . . . . .	277
26.1.2.1. Получение фурана . . . . .	277
26.1.2.2. Получение пиррола . . . . .	278
26.1.2.3. Получение тиюфена . . . . .	279
26.1.3. Физические свойства . . . . .	280
26.1.4. Строение и сравнительная характеристика ароматичности . . . . .	281
26.1.5. Химические свойства . . . . .	286
26.1.5.1. Реакции электрофильного замещения ( $S_E2$ ) . . . . .	286
26.1.5.2. Кислотно-основные свойства . . . . .	296
26.1.5.3. Реакции присоединения . . . . .	300
26.1.5.4. Окисление . . . . .	302
<b>Резюме</b> . . . . .	304
<b>Вопросы и задания</b> . . . . .	305
26.2. Шестичленные гетероциклы с одним гетероатомом. Пиридин . . . . .	306
26.2.1. Общая характеристика. Физические свойства . . . . .	307

26.2.2. Способы получения . . . . .	308
26.2.3. Электронное строение молекулы пиридина . . . . .	309
26.2.4. Химические свойства . . . . .	312
26.2.4.1. Свойства пиридина как основания и нуклеофила . . . . .	312
26.2.4.2. Реакции электрофильного замещения ( $S_E2$ ) . . . . .	314
26.2.4.3. Реакции нуклеофильного замещения ( $S_N$ ) . . . . .	317
26.2.4.4. Окисление и восстановление . . . . .	321
26.2.5. Понятие об алкалоидах . . . . .	323
<b>Резюме</b> . . . . .	325
<b>Вопрос</b> . . . . .	325

## 27. ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ С НЕСКОЛЬКИМИ ГЕТЕРОАТОМАМИ . . . . .327

27.1. Пятичленные гетероциклы с двумя гетероатомами . . . . .	327
27.1.1. Основные представители и их биологическая роль . . . . .	327
27.1.2. Строение и свойства имидазола . . . . .	330
27.2. Шестичленные гетероциклы с двумя гетероатомами. Диазины . . . . .	338
27.2.1. Общая характеристика. Физические свойства . . . . .	338
27.2.2. Получение . . . . .	340
27.2.3. Строение и химические свойства . . . . .	341
27.2.4. Пиримидиновые основания . . . . .	344
<b>Резюме</b> . . . . .	346
<b>Вопрос</b> . . . . .	347

## 28. КОНДЕНСИРОВАННЫЕ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ . . . . .350

28.1. Индол . . . . .	351
28.1.1. Биологическое значение производных индола . . . . .	351
28.1.2. Физические свойства . . . . .	352
28.1.3. Строение . . . . .	353
28.1.4. Химические свойства . . . . .	354

28.2. Хинолин и изохинолин . . . . .	361
28.2.1. Биологически активные производные хинолина и изохинолина . . . . .	361
28.2.2. Способы получения . . . . .	363
28.2.3. Физические свойства . . . . .	364
28.2.4. Строение и химические свойства . . . . .	365
28.3. Пурин . . . . .	370
28.3.1. Биологическое значение производных пурина . . . . .	371
28.3.2. Строение, свойства и способы получения . . . . .	373
28.3.3. Гидрокси- и аминопроизводные пурина. Аденин и гуанин . . . . .	377
28.3.4. Понятие о строении нуклеиновых кислот . . . . .	381
<i>Резюме</i> . . . . .	383
<i>Вопрос</i> . . . . .	385

<b>29. КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИЕ ШЕСТИЧЛЕННЫЕ ГЕТЕРОЦИКЛЫ И ПРОИЗВОДНЫЕ НА ИХ ОСНОВЕ. ПОНЯТИЕ О БИОФЛАВНОИДАХ И АНТОЦИАНАХ. . . . .</b>	<b>387</b>
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ . . . . .	394