

М. А. Юровская

# ХИМИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

2-Е ИЗДАНИЕ, ЭЛЕКТРОННОЕ



Москва  
Лаборатория знаний  
2020

УДК 547  
ББК 24.236я73  
Ю78

*Серия основана в 2009 г.*

**Юровская М. А.**

**Ю78** Химия ароматических гетероциклических соединений / М. А. Юровская. — 2-е изд., электрон. — М. : Лаборатория знаний, 2020. — 211 с. — (Учебник для высшей школы). — Систем. требования: Adobe Reader XI ; экран 10". — Загл. с титул. экрана. — Текст : электронный.

ISBN 978-5-00101-832-2

В учебном пособии, написанном профессором химического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова, приведены сведения о методах получения и химических свойствах основных классов ароматических гетероциклических соединений. Рассмотрены классические и специальные методы, которые включают последние достижения в области металлокомплексного катализа, реакций циклоприсоединения, фотохимических, многокомпонентных и каскадных процессов и др.

Для студентов и преподавателей химических специальностей.

УДК 547  
ББК 24.236я73

**Деривативное издание на основе печатного аналога:**  
Химия ароматических гетероциклических соединений / М. А. Юровская. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. — 208 с. : ил. — (Учебник для высшей школы). — ISBN 978-5-9963-0537-7.

**В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации**

ISBN 978-5-00101-832-2

© Лаборатория знаний, 2015

# Содержание

<b>Предисловие</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Пятичленные гетероциклы с одним гетероатомом</b> .....	<b>5</b>
1.1. Методы синтеза пятичленных гетероциклов с одним гетероатомом .....	6
1.1.1. Общие методы синтеза с образованием связи C–X .....	7
1.1.2. Специфические методы синтеза с образованием связи C–X. ....	10
1.1.3. Синтезы с образованием связи C <sub>(3)</sub> –C <sub>(4)</sub> .....	17
1.1.4. Образование связи C <sub>(2)</sub> –C <sub>(3)</sub> .....	25
1.1.5. Образование связей C <sub>(2)</sub> –C <sub>(3)</sub> и C <sub>(4)</sub> –C <sub>(5)</sub> .....	27
1.2. Химические свойства пятичленных гетероциклов с одним гетероатомом .....	29
1.2.1. Химические свойства пирролов .....	29
1.2.2. Химические свойства фуранов .....	33
1.2.3. Химические свойства тиафенов .....	36
Литература .....	38
<b>2. Конденсированные пятичленные гетероциклы с одним гетероатомом</b> .....	<b>40</b>
2.1. Индолы .....	40
2.1.1. Синтезы индолов .....	40
2.1.1.1. Аннелирование пиррольного кольца. ....	40
2.1.1.1.1. Образование связи C <sub>(2)</sub> –N .....	40
2.1.1.1.2. Образование связи C <sub>(3)</sub> –C <sub>(3a)</sub> .....	50
2.1.1.1.3. Образование связи C <sub>(2)</sub> –C <sub>(3)</sub> .....	63
2.1.1.1.4. Образование связи C <sub>(7a)</sub> –N .....	68
2.1.1.1.5. Образование связей C <sub>(3)</sub> –C <sub>(3a)</sub> и C <sub>(2)</sub> –N .....	70
2.1.1.2. Аннелирование бензольного кольца к пиррольному. ....	70
2.1.1.3. Одновременное образование бензольного и пиррольного колец. ....	77
2.1.2. Химические свойства индолов .....	81
2.2. Бензофураны и бензотиафены .....	85
2.2.1. Общие методы синтеза. ....	85
2.2.1.1. Образование связи C <sub>(3)</sub> –C <sub>(3a)</sub> .....	85
2.2.1.2. Образование связи C <sub>(2)</sub> –C <sub>(3)</sub> .....	85
2.2.2. Специфические методы синтеза .....	86
2.3. Изоиндолы. ....	87
2.3.1. Построение пиррольного кольца. ....	87

2.3.1.1. Образование связи C–N	87
2.3.1.2. Образование связи $C_{(1)}-C_{(1a)}$	88
2.3.1.3. Образование связей $C_{(1)}-C_{(1a)}$ и $C_{(3)}-C_{(3a)}$	89
2.3.2. Построение бензольного кольца	90
2.4. Индолизины	90
2.4.1. Образование связи $C_{(1)}-C_{(2)}$	91
2.4.2. Образование связи $C_{(2)}-C_{(3)}$	93
2.4.3. Конкурентное образование связей $C_{(1)}-C_{(2)}$ или $C_{(2)}-C_{(3)}$ при обработке солей N-β-оксоалкил-2-алкилпиридиния ангидридами кислот в присутствии оснований	94
2.4.4. Образование связи $C_{(3)}-N$	95
2.4.5. Образование связи $C_{(1)}-C_{(8a)}$	97
2.4.6. Образование связей $C_{(1)}-C_{(8a)}$ и $C_{(2)}-C_{(3)}$	97
2.5. Химические свойства конденсированных пятичленных гетероциклов	98
2.5.1. Химические свойства бензофуранов	98
2.5.2. Химические свойства бензотиофенов	99
2.5.3. Химические свойства изоиндолов	101
2.5.4. Химические свойства индолизинов	101
Литература	102
<b>3. Пятичленные гетероциклы с двумя гетероатомами</b>	<b>105</b>
3.1. 1,2-Азолы	105
3.1.1. Образование связей $C_{(3)}-N$ и $X-C_{(5)}$	105
3.1.2. Образование связей $C_{(3)}-C_{(4)}$ и $C_{(5)}-X$	108
3.1.3. Образование связи N–X	110
3.1.4. Рециклизации других гетероциклов	112
3.1.5. Образование связей C–N или C–X	113
3.2. 1,3-Азолы	116
3.2.1. Методы синтеза	116
3.2.1.1. Образование связей C–N и C–X	116
3.2.1.2. Синтез 1,3-азолов из фрагментов $C_{(4)}-C_{(5)}-N_{(1)}$ и $C_{(2)}-N$	117
3.2.1.3. Образование связи $C_{(4)}-N$	119
3.3. Химические свойства азолов	120
3.3.1. Химические свойства 1,2-азолов	120
3.3.2. Химические свойства 1,3-азолов	122
Литература	126
<b>4. Шестичленные гетероциклы с одним гетероатомом</b>	<b>128</b>
4.1. Пиридины	128
4.1.1. Методы синтеза	128
4.1.1.1. Образование связи C–N	128
4.1.1.2. Образование связи $C_{(2)}-C_{(3)}$	133
4.1.1.3. Образование связи $C_{(3)}-C_{(4)}$	135

4.1.1.4. Одновременное образование связей $C_{(2)}-C_{(3)}$ и $C_{(3)}-C_{(4)}$ .....	139
4.1.1.5. Одновременное образование связей $C_{(2)}-C_{(3)}$ и $C_{(4)}-C_{(5)}$ .....	140
4.1.1.6. Образование связей $C_{(3)}-C_{(4)} + C_{(4)}-C_{(5)} + C-N$ .....	142
4.1.2. Химические свойства пиридина .....	144
4.2. Азаиндолы .....	151
4.2.1. Синтезы азаиндолов .....	151
4.2.2. Химические свойства азаиндолов .....	153
4.3. Соли пирилия и пироны .....	155
4.3.1. Методы синтеза .....	156
4.3.1.1. Образование связи $C-O$ .....	156
4.3.1.2. Образование связей $C_{(3)}-C_{(4)}$ и $C_{(4)}-C_{(5)}$ и $C-O$ .....	156
4.3.1.3. Образование связей $C_{(3)}-C_{(4)}$ и $C-O$ .....	159
4.3.1.4. Образование связей $C_{(4)}-C_{(5)}$ и $C-O$ .....	159
Литература .....	160
<b>5. Конденсированные шестичленные гетероциклы с одним гетероатомом .....</b>	<b>162</b>
5.1. Хинолины .....	162
5.1.1. Методы синтеза .....	162
5.1.1.1. Образование связи $N-C_{(2)}$ .....	162
5.1.1.2. Образование связей $C_{(3)}-C_{(4)}$ .....	163
5.1.1.3. Образование связей $C_{(4)}-C_{(4a)}$ .....	164
5.2. Изохинолины .....	169
5.2.1. Методы синтеза .....	170
5.2.1.1. Образование связи $C-N$ .....	170
5.2.1.2. Образование связей $C_{(1)}-C_{(1a)}$ .....	170
5.2.1.3. Образование связей $C_{(4)}-C_{(4a)}$ .....	172
5.3. Химические свойства хинолинов и изохинолинов .....	174
Литература .....	178
<b>6. Шестичленные гетероциклы с двумя гетероатомами .....</b>	<b>180</b>
6.1. Пиримидины .....	180
6.1.1. Методы синтеза .....	180
6.1.2. Химические свойства производных пиримидина .....	185
6.2. Пиридазины .....	189
6.2.1. Методы синтеза .....	190
6.2.2. Химические свойства пиридазинов .....	193
6.3. Пиразины .....	195
6.3.1. Методы синтеза .....	195
6.3.2. Химические свойства пиразинов .....	197
6.4. Пурины .....	198
6.4.1. Методы синтеза .....	199
6.4.2. Химические свойства пуринов .....	201
Литература .....	204