

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                   |   |
|-------------------|---|
| Предисловие ..... | 9 |
|-------------------|---|

## ЧАСТЬ I.

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| ОСНОВЫ СТРОЕНИЯ И РЕАКЦИОННОЙ<br>СПОСОБНОСТИ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ..... | 11 |
|----------------------------------------------------------------------------|----|

### Глава 1. КЛАССИФИКАЦИЯ И НОМЕНКЛАТУРА

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ .....                                  | 13 |
| 1.1. Классификация .....                                       | 13 |
| 1.2. Номенклатура .....                                        | 18 |
| 1.2.1. Заместительная номенклатура .....                       | 21 |
| 1.2.2. Радикально-функциональная номенклатура .....            | 26 |
| 1.2.3. Построение структуры по систематическому названию ..... | 27 |

### Глава 2. ХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ И ВЗАИМНОЕ ВЛИЯНИЕ

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| АТОМОВ В ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЯХ .....           | 29 |
| 2.1. Электронное строение атома углерода .....    | 29 |
| 2.2. Химические связи атома углерода .....        | 32 |
| 2.2.1. $\sigma$ - и $\pi$ -Связи .....            | 32 |
| 2.2.2. Донорно-акцепторные связи .....            | 36 |
| 2.2.3. Водородные связи .....                     | 36 |
| 2.3. Сопряженные системы .....                    | 37 |
| 2.3.1. Системы с открытой цепью сопряжения .....  | 38 |
| 2.3.2. Системы с замкнутой цепью сопряжения ..... | 41 |
| 2.4. Электронные эффекты заместителей .....       | 43 |
| 2.4.1. Индуктивный эффект .....                   | 43 |
| 2.4.2. Мезомерный эффект .....                    | 44 |

### Глава 3. РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ УГЛЕВОДОРОДОВ ..... 47 |

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 3.1. Общая характеристика реакций органических соединений ..... | 47 |
| 3.1.1. Типы реакций и реагентов .....                           | 47 |
| 3.1.2. Факторы, определяющие реакционную способность .....      | 51 |
| 3.2. Наиболее важные реакции углеводородов .....                | 54 |
| 3.2.1. Реакционная способность насыщенных углеводородов .....   | 54 |

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.2. Реакционная способность ненасыщенных алифатических углеводов ..... | 57 |
| 3.2.3. Реакционная способность ароматических углеводов ..                 | 64 |

## ЧАСТЬ II.

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| БИОЛОГИЧЕСКИ ВАЖНЫЕ РЕАКЦИИ<br>МОНОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ..... | 71 |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|

### Глава 4. РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| СПИРТОВ, ТИОЛОВ И АМИНОВ .....                                  | 73 |
| 4.1. Общая характеристика .....                                 | 73 |
| 4.1.1. Одноатомные спирты, фенолы и их производные .....        | 73 |
| 4.1.2. Тиолы и их производные .....                             | 76 |
| 4.1.3. Амины .....                                              | 77 |
| 4.1.4. Реакционные центры в спиртах, тиолах и аминах .....      | 79 |
| 4.2. Кислотные и основные свойства .....                        | 80 |
| 4.2.1. Кислотные свойства .....                                 | 80 |
| 4.2.2. Основные свойства .....                                  | 83 |
| 4.3. Нуклеофильное замещение у насыщенного атома углерода. .... | 85 |
| 4.4. Реакции отщепления .....                                   | 89 |
| 4.5. Окисление .....                                            | 91 |

### Глава 5. РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ АЛЬДЕГИДОВ И КЕТОНОВ .93

|                                                    |     |
|----------------------------------------------------|-----|
| 5.1. Общая характеристика .....                    | 93  |
| 5.2. Реакционные центры альдегидов и кетонов ..... | 94  |
| 5.3. Нуклеофильное присоединение .....             | 95  |
| 5.4. Реакции конденсации .....                     | 101 |
| 5.5. Восстановление и окисление .....              | 103 |

### Глава 6. РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ И ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ .....

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.1. Карбоновые кислоты .....                                        | 105 |
| 6.1.1. Общая характеристика .....                                    | 105 |
| 6.1.2. Реакционные центры в карбоновых кислотах .....                | 107 |
| 6.1.3. Кислотные свойства .....                                      | 108 |
| 6.1.4. Нуклеофильное замещение .....                                 | 109 |
| 6.2. Функциональные производные карбоновых кислот .....              | 112 |
| 6.2.1. Общая характеристика .....                                    | 112 |
| 6.2.2. Сравнительная характеристика<br>реакционной способности ..... | 114 |
| 6.2.3. Сложные эфиры .....                                           | 116 |

|                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------|-----|
| 6.2.4. Тиоэфиры.....                                         | 117 |
| 6.2.5. Амиды и гидразиды .....                               | 119 |
| 6.2.6. Ангидриды.....                                        | 121 |
| 6.3. Сульфоновые кислоты и их функциональные производные ... | 121 |

### ЧАСТЬ III.

|                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ПОЛИ- И ГЕТЕРОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ,<br>УЧАСТВУЮЩИЕ В ПРОЦЕССАХ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ..... | 123 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

#### Глава 7. СТЕРЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТРОЕНИЯ

|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| МОЛЕКУЛ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ .....               | 125 |
| 7.1. Конфигурация .....                             | 125 |
| 7.1.1. Энантиомерия .....                           | 126 |
| 7.1.2. Относительная и абсолютная конфигурации..... | 128 |
| 7.1.3. Диастереомерия.....                          | 133 |
| 7.2. Конформации .....                              | 136 |
| 7.2.1. Конформации ациклических соединений.....     | 137 |
| 7.2.2. Конформации шестичленных циклов .....        | 140 |

#### Глава 8. ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ

|                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ .....                                                               | 142 |
| 8.1. Общая характеристика .....                                                             | 142 |
| 8.1.1. Многоатомные спирты и фенолы .....                                                   | 142 |
| 8.1.2. Дикарбоновые кислоты .....                                                           | 143 |
| 8.1.3. Диамины.....                                                                         | 144 |
| 8.2. Реакционная способность и специфические реакции<br>многоатомных спиртов и фенолов..... | 144 |
| 8.3. Реакционная способность и специфические реакции<br>дикарбоновых кислот .....           | 149 |
| 8.4. Таутомерия β-дикарбонильных соединений.....                                            | 151 |
| 8.5. Функциональные производные угольной кислоты .....                                      | 152 |

#### Глава 9. ГЕТЕРОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ

|                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ .....                                                                                    | 156 |
| 9.1. Общая характеристика .....                                                                                  | 156 |
| 9.2. Реакционная способность и специфические свойства<br>биологически важных гетерофункциональных соединений ... | 158 |
| 9.2.1. Аминоспирты .....                                                                                         | 158 |
| 9.2.2. Гидроксикарбонильные соединения .....                                                                     | 160 |
| 9.2.3. Гидрокси- и аминокислоты.....                                                                             | 162 |
| 9.2.4. Оксокислоты .....                                                                                         | 167 |

|                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 9.3. Гетерофункциональные производные бензола<br>как лекарственные средства ..... | 170 |
| <b>Глава 10. ЛИПИДЫ</b> .....                                                     | 174 |
| 10.1. Классификация .....                                                         | 174 |
| 10.2. Структурные компоненты липидов .....                                        | 175 |
| 10.3. Простые липиды .....                                                        | 179 |
| 10.3.1. Воски .....                                                               | 179 |
| 10.3.2. Жиры и масла .....                                                        | 179 |
| 10.3.3. Церамиды .....                                                            | 180 |
| 10.4. Сложные липиды .....                                                        | 181 |
| 10.4.1. Фосфолипиды .....                                                         | 181 |
| 10.4.2. Сфинголипиды .....                                                        | 184 |
| 10.4.3. Гликолипиды .....                                                         | 184 |
| 10.5. Свойства липидов и их структурных компонентов .....                         | 185 |
| 10.5.1. Гидролиз .....                                                            | 187 |
| 10.5.2. Реакции присоединения .....                                               | 188 |
| 10.5.3. Реакции окисления .....                                                   | 188 |
| <b>ЧАСТЬ IV.</b>                                                                  |     |
| <b>БИОПОЛИМЕРЫ И ИХ СТРУКТУРНЫЕ КОМПОНЕНТЫ</b> .....                              | 191 |
| <b>Глава 11. УГЛЕВОДЫ</b> .....                                                   | 193 |
| 11.1. Моносахариды .....                                                          | 193 |
| 11.1.1. Строение и стереоизомерия .....                                           | 193 |
| 11.1.2. Цикло-оксо-таутомерия .....                                               | 201 |
| 11.1.3. Конформации .....                                                         | 203 |
| 11.1.4. Неклассические моносахариды .....                                         | 204 |
| 11.1.5. Химические свойства .....                                                 | 207 |
| 11.2. Олигосахариды .....                                                         | 213 |
| 11.2.1. Восстанавливающие дисахариды .....                                        | 213 |
| 11.2.2. Невосстанавливающие дисахариды .....                                      | 216 |
| 11.2.3. Химические свойства .....                                                 | 217 |
| 11.3. Полисахариды .....                                                          | 218 |
| 11.3.1. Гомополисахариды .....                                                    | 219 |
| 11.3.2. Гетерополисахариды .....                                                  | 223 |
| <b>Глава 12. <math>\alpha</math>-АМИНОКИСЛОТЫ, ПЕПТИДЫ И БЕЛКИ</b> .....          | 226 |
| 12.1. $\alpha$ -Аминокислоты .....                                                | 226 |
| 12.1.1. Классификация .....                                                       | 226 |
| 12.1.2. Стереоизомерия .....                                                      | 231 |

|                                                                                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 12.1.3. Кислотно-основные свойства .....                                          | 233        |
| 12.1.4. Аналитически важные реакции $\alpha$ -аминокислот.....                    | 236        |
| 12.1.5. Биологически важные химические реакции.....                               | 239        |
| 12.2. Первичная структура пептидов и белков .....                                 | 243        |
| 12.2.1. Строение пептидной группы.....                                            | 244        |
| 12.2.2. Состав и аминокислотная последовательность .....                          | 245        |
| 12.2.3. Строение и номенклатура пептидов .....                                    | 246        |
| 12.3. Вторичная структура полипептидов и белков .....                             | 248        |
| <b>Глава 13. БИОЛОГИЧЕСКИ ВАЖНЫЕ</b><br><b>ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ .....</b> | <b>251</b> |
| 13.1. Общая характеристика .....                                                  | 251        |
| 13.1.1. Классификация .....                                                       | 251        |
| 13.1.2. Номенклатура .....                                                        | 253        |
| 13.2. Реакционная способность ароматических гетероциклов .....                    | 253        |
| 13.2.1. Ароматические свойства.....                                               | 253        |
| 13.2.2. Кислотно-основные и нуклеофильные свойства .....                          | 256        |
| 13.2.3. Особенности реакций электрофильного замещения ..                          | 257        |
| 13.3. Пятичленные гетероциклы .....                                               | 258        |
| 13.3.1. Гетероциклы с одним гетероатомом .....                                    | 258        |
| 13.3.2. Гетероциклы с двумя гетероатомами .....                                   | 259        |
| 13.4. Шестичленные гетероциклы.....                                               | 261        |
| 13.4.1. Гетероциклы с одним гетероатомом .....                                    | 261        |
| 13.4.2. Гетероциклы с двумя гетероатомами .....                                   | 264        |
| 13.5. Конденсированные гетероциклы .....                                          | 267        |
| 13.5.1. Гидроксипурины.....                                                       | 267        |
| 13.5.2. Аминопурины .....                                                         | 268        |
| 13.6. Алкалоиды .....                                                             | 270        |
| 13.6.1. Алкалоиды группы пирролидина, пиридина<br>и пиперидина.....               | 270        |
| 13.6.2. Алкалоиды группы тропана .....                                            | 271        |
| 13.6.3. Алкалоиды группы хинолина и изохинолина .....                             | 272        |
| 13.6.4. Протоалкалоиды.....                                                       | 273        |
| <b>Глава 14. НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ.</b><br><b>НУКЛЕОТИДНЫЕ КОФЕРМЕНТЫ .....</b>     | <b>274</b> |
| 14.1. Нуклеотиды .....                                                            | 274        |
| 14.1.1. Нуклеозиды .....                                                          | 274        |
| 14.1.2. Нуклеотиды .....                                                          | 277        |
| 14.2. Структура нуклеиновых кислот.....                                           | 280        |
| 14.2.1. Первичная структура.....                                                  | 280        |
| 14.2.2. Вторичная структура ДНК .....                                             | 282        |

|                                                        |            |
|--------------------------------------------------------|------------|
| 14.3. Нуклеотидные коферменты.....                     | 283        |
| 14.3.1. Нуклеозидполифосфаты.....                      | 283        |
| 14.3.2. Никотинамиднуклеотиды.....                     | 285        |
| <b>Глава 15. НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ БИОРЕГУЛЯТОРЫ .....</b> | <b>288</b> |
| 15.1. Терпеноиды.....                                  | 288        |
| 15.2. Каротиноиды.....                                 | 291        |
| 15.3. Стероиды.....                                    | 292        |
| 15.3.1. Стерины.....                                   | 295        |
| 15.3.2. Желчные кислоты.....                           | 296        |
| 15.3.3. Кортикостероиды.....                           | 297        |
| 15.3.4. Половые гормоны.....                           | 298        |
| 15.3.5. Сердечные гликозиды.....                       | 300        |
| 15.4. Жирорастворимые витамины.....                    | 301        |
| 15.5. Флавоноиды.....                                  | 304        |
| 15.6. Антибиотики.....                                 | 306        |
| Список литературы.....                                 | 309        |
| Приложение.....                                        | 310        |
| Глоссарий.....                                         | 376        |
| Предметный указатель.....                              | 390        |

# Глава 1

## КЛАССИФИКАЦИЯ И НОМЕНКЛАТУРА ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

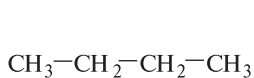
В настоящее время известно более 10 млн органических соединений. Такое громадное количество соединений требует строгой классификации и единых международных номенклатурных правил. Этому вопросу уделяется особое внимание в связи с использованием компьютерных технологий для создания разнообразных баз данных.

### 1.1. Классификация

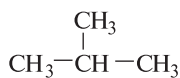
Строение органических соединений описывается с помощью структурных формул.

Структурной формулой называют изображение последовательности связывания атомов в молекуле при помощи химических символов.

С понятием последовательности соединения атомов в молекуле непосредственно связано явление *изомерии*, т. е. существования соединений одинакового состава, но различного химического строения, называемых *структурными* изомерами (изомеры *строения*). Важнейшей характеристикой большинства неорганических соединений служит *состав*, выражаемый молекулярной формулой, например хлороводородная кислота  $\text{HCl}$ , серная кислота  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Для органических соединений состав и соответственно молекулярная формула не являются однозначными характеристиками, так как одному и тому же составу может соответствовать много реально существующих соединений. Например, структурные изомеры бутан и изобутан, имея одинаковую молекулярную формулу  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ , различаются последовательностью связывания атомов и имеют разные физико-химические характеристики.



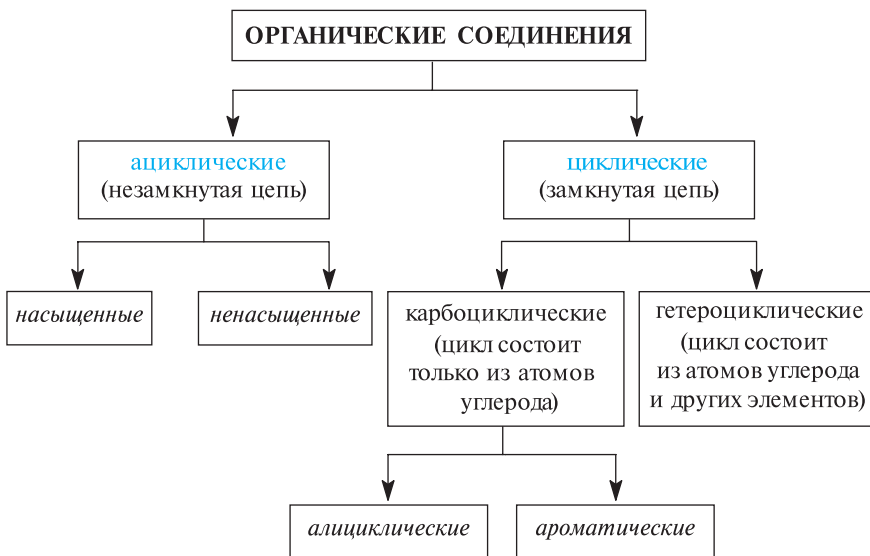
*n*-бутан  
т. кип. 0,5 °C



2-метилпропан (изобутан)  
т. кип. -12 °C

Первым классификационным критерием служит деление органических соединений на группы с учетом строения углеродного скелета (схема 1.1).

**Схема 1.1.** Классификация органических соединений по строению углеродного скелета



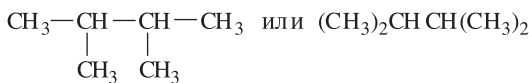
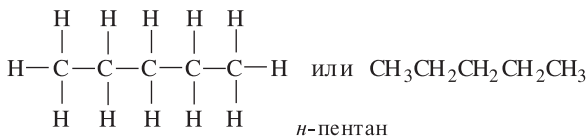
**Ациклические соединения** – это соединения с незамкнутой цепью атомов углерода.

Алифатические (от греч. *áleiphar* – жир) углеводороды – простейшие представители ациклических соединений – содержат только атомы углерода и водорода и могут быть *насыщенными* (алканы) и *ненасыщенными* (алкены, алкадиены, алкины). Их структурные формулы часто записывают в сокращенном (сжатом) виде, как показано на примере *n*-пентана и 2,3-диметилбутана. При этом обозначение одинарных связей опускают, а одинаковые группы заключают в скобки и указывают число этих групп.

Углеродная цепь может быть *неразветвленной* (например, в *n*-пентане) и *разветвленной* (например, в 2,3-диметилбутане и изопрене).

## АЛИФАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ

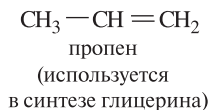
## АЛКАНЫ



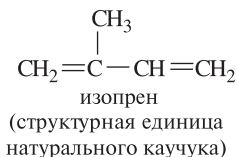
2,3-диметилбутан

(развернутая и сокращенная запись структурной формулы)

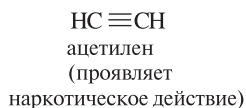
## АЛКЕНЫ



## АЛКАДИЕНЫ



## АЛКИНЫ



**Циклические соединения** — это соединения с замкнутой цепью атомов.

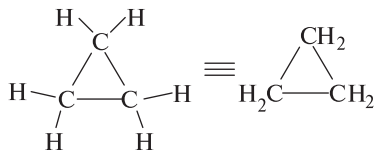
В зависимости от природы атомов, составляющих цикл, различают карбоциклические и гетероциклические соединения.

**Карбоциклические соединения** содержат в цикле только атомы углерода и делятся на *ароматические* и *алициклические* (циклические неароматические). Число атомов углерода в циклах может быть различным. Известны большие циклы (макроциклы), состоящие из 30 атомов углерода и более.

Для изображения циклических структур удобны *скелетные формулы*, в которых опускают символы атомов углерода и водорода, но символы остальных элементов (N, O, S и др.) указывают. В таких

## АЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ

## ЦИКЛОАЛКАНЫ



циклопропан

(развернутая и сокращенная запись)



циклопропан



циклопентан



циклогексан

(скелетные формулы)

формулах каждый угол многоугольника означает атом углерода с необходимым числом атомов водорода (с учетом четырехвалентности атома углерода).

Родоначальником ароматических углеводородов (аренов) является бензол. Нафталин, антрацен и фенантрен относятся к полициклическим аренам. Они содержат конденсированные бензольные кольца.

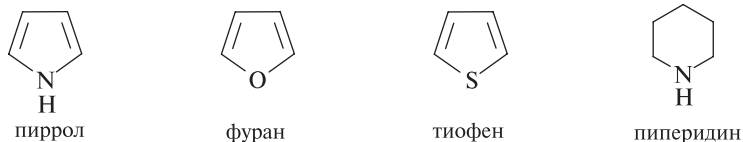
## АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ

### АРЕНЫ



**Гетероциклические соединения** содержат в цикле, кроме атомов углерода, один или несколько атомов других элементов – гетероатомов (от греч. *heteros* – другой, иной): азот, кислород, серу и др.

## ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ



Большое многообразие органических соединений можно рассматривать в целом как углеводороды или их производные, полученные путем введения в структуру углеводородов функциональных групп.

**Функциональная группа** – это гетероатом или группа атомов неуглеводородного характера, определяющие принадлежность соединения к определенному классу и ответственных за его химические свойства.

Вторым, более существенным классификационным критерием, служит деление органических соединений на классы в зависимости от природы функциональных групп. Общие формулы и названия важнейших классов приведены в табл. 1.1.

Соединения с одной функциональной группой называют монофункциональными (например, этанол), с несколькими одинаковыми функциональными группами – полифункциональными (например,