

**УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная
академия ветеринарной медицины»**

Кафедра химии

**ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРОЕНИЯ И РЕАКЦИОННОЙ
СПОСОБНОСТИ ОСНОВНЫХ КЛАССОВ ОРГАНИЧЕСКИХ
СОЕДИНЕНИЙ: [электронный ресурс]**

Котович Игорь Викторович,
Елисейкин Дмитрий Владимирович,
Позывайло Оксана Петровна

**Общие закономерности строения и реакционной способности основ-
К 73 ных классов органических соединений: учеб.-метод. пособие / И.В. Ко-
тович, Д.В. Елисейкин, О.П. Позывайло. – Витебск: ВГАВМ, 2008. – 56 с.**

Витебск
ВГАВМ
2008

© Котович И.В., Елисейкин Д.В., Позывайло О.П., 2008
© УО «Витебская ордена «Знак Почёта» государственная
академия ветеринарной медицины», 2008

Учреждение образования
«Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия
ветеринарной медицины»

И.В. Котович, Д.В. Елисейкин, О.П. Позывайло

**ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРОЕНИЯ
И РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ОСНОВНЫХ КЛАССОВ
ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

ВИТЕБСК
ВГАВМ
2008

УДК 547 (075.8)
ББК 24.23 я73
К 73

Рекомендовано в качестве учебно-методического пособия
редакционно-издательским советом УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины»
(протокол № 7 от 19 июня 2008 г.)

Авторы:

канд. биол. наук, доц. *И.В. Котович*, канд. биол. наук, доц. *Д.В. Елисейкин*, канд. ветеринар. наук, доц. *О.П. Позывайло*

Рецензенты:

канд. ветеринар. наук, доц. *Л.Л. Руденко*, канд. ветеринар. наук, доц. *В.В. Великанов*

Котович, И. В.

Общие закономерности строения и реакционной способности
К 73 основных классов органических соединений: учеб.-метод. пособие /
И.В. Котович, Д.В. Елисейкин, О.П. Позывайло. – Витебск: ВГАВМ,
2008. – 56 с.

ISBN 978-985-512-123-8

Учебно-методическое пособие написано в соответствии с программой по органической и биологической химии. Оно предназначено для преподавателей, студентов факультета ветеринарной медицины, зооинженерного факультета и факультета заочного обучения. В пособии отражены данные о строении и физико-химических свойствах представителей основных классов органических соединений (галогенопроизводных углеводов, спиртов, фенолов, тиолов, аминов, оксосоединений и карбоновых кислот). Большое внимание уделено вопросам биологической роли данных соединений и их применению в ветеринарной медицине.

УДК 547
ББК 24.23

ISBN 978-985-512-123-8

© Котович И. В., Елисейкин Д. В.,
Позывайло О. П., 2008
© УО «Витебская ордена «Знак Почета»
государственная академия ветеринарной
медицины», 2008

СОДЕРЖАНИЕ	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ.....	5
1. Особенности соединений углерода, их многообразие и роль в живой природе.....	5
1.2. Классификация органических соединений.....	6
1.3. Номенклатура органических соединений.....	8
1.4. Изомерия органических соединений.....	11
1.5. Электронные эффекты в молекулах органических соединений.....	13
1.6. Типы органических реакций.....	16
1.7. Контрольные вопросы и задания	18
2. СТРОЕНИЕ И РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ОСНОВНЫХ КЛАССОВ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ.....	19
2.1. Галогенопроизводные углеводородов.....	19
2.2. Спирты.....	22
2.3. Фенолы.....	27
2.4. Тиолы и их производные.....	30
2.5. Амины.....	32
2.6. Оксосоединения.....	34
2.7. Карбоновые кислоты.....	40
2.8. Контрольные вопросы и задания	50
2.9. Примерные тестовые задания	51
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.....	54
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	56

ВВЕДЕНИЕ

Органическая химия – это наука, изучающая строение, реакционную способность и применение органических соединений. К органическим веществам относят углеводороды и их производные, которые образуются путем замещения одного или нескольких атомов водорода на соответствующее количество функциональных групп. Основными классами органических соединений являются галогенопроизводные углеводородов, спирты, фенолы, тиолы, амины, альдегиды, кетоны и карбоновые кислоты.

Значение данных классов органических веществ весьма велико. Многие из представителей этих классов соединений участвуют в биохимических процессах, протекающих в организме человека и животных. Более половины всех лекарственных веществ являются органическими соединениями.

Понимание биологической роли органических веществ невозможно без глубокого знания их строения, свойств и реакционной способности. Поэтому изучение данных вопросов будущими специалистами ветеринарного и зооинженерного профиля является актуальной задачей.

Учебно-методическое пособие «Общие закономерности строения и реакционной способности основных классов органических соединений» предназначено для преподавателей, студентов факультета ветеринарной медицины, зооинженерного факультета и факультета заочного обучения. Пособие написано в соответствии с программой курса «Органическая и биологическая химия».

В пособии представлены общие принципы классификации, номенклатуры и изомерии органических соединений, а также основные типы органических реакций. Подробно рассмотрены строение и свойства основных классов органических соединений – галогенопроизводных углеводородов, спиртов, фенолов, тиолов, аминов, альдегидов, кетонов и карбоновых кислот. Особое внимание уделяется биологическому значению соединений рассматриваемых классов и их использованию в ветеринарии и медицине.

Для закрепления изучаемого студентами материала в пособии приведены контрольные вопросы и тестовые задания, которые студентам необходимо выполнить по разделам «Теоретические основы органической химии» и «Строение и реакционная способность основных классов органических соединений».

В конце пособия приведены предметный указатель и список необходимой литературы.

Авторы считают необходимым выразить признательность заведующему кафедрой химии УО ВГАВМ кандидату биологических наук, доценту В.П. Барану и сотрудникам кафедры – кандидату сельскохозяйственных наук, доценту И.В. Сучковой и старшему преподавателю Н.В. Румянцевой за ценные советы и пожелания при анализе рукописи данного пособия.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Методические рекомендации при изучении раздела

Цель изучения раздела: ознакомиться с принципами классификации, номенклатуры, изомерии органических соединений, факторами, влияющими на их реакционную способность, а также с основными типами органических реакций.

Основные теоретические вопросы и практические задания при изучении раздела

- 1.1. Особенности соединений углерода, их многообразие и роль в живой природе.
- 1.2. Классификация органических соединений.
- 1.3. Номенклатура органических соединений.
- 1.4. Изомерия органических соединений.
- 1.5. Электронные эффекты в молекулах органических соединений.
- 1.6. Типы органических реакций.
- 1.7. Контрольные вопросы и задания.

1.1. Особенности соединений углерода, их многообразие и роль в живой природе

В настоящее время известно около 10 млн. органических соединений. Число это постоянно растет за счет открываемых природных и синтезируемых веществ. Необходимо отметить, что органические соединения являются основой жизнедеятельности всех организмов.

Важнейшие органические вещества, составляющие основу питания (белки, жиры, углеводы), человек получает из растительных и животных продуктов. Из этих же источников получают и ценные лекарственные соединения – алкалоиды и «сердечные» гликозиды. При помощи микробиологического синтеза в промышленном масштабе также получают некоторые органические вещества (аминокислоты, витамины).

Органические соединения обладают рядом *характерных особенностей*, отличающих их от большинства неорганических веществ:

1. Почти все органические соединения горят, в то время как подавляющее большинство неорганических веществ не обладает горючестью.
2. При незначительных внешних воздействиях, например при небольшом нагревании (иногда до 70 – 80 °С), многие органические вещества изменяются, разлагаются, что вызывает необходимость при работе с ними ряда специфических методов.
3. В молекулах органических соединений углерод может быть соединен с любым элементом периодической системы (кроме инертных газов). Ни один другой элемент такой способностью не обладает.
4. Молекулы органических веществ содержат несколько (часто большое число) однородных (в первую очередь углеродных) атомов. В молекулах неорганических соединений редко содержится большое количество однородных атомов. Две последние особенности отчасти объясняют многочисленность органических соединений.
5. Большая часть органических соединений не диссоциирует на ионы, тогда как большинство неорганических веществ распадается на ионы.
6. Реакции органических веществ (за немногими исключениями) протекают медленно, в большинстве случаев не доходят до конца и дают небольшие выходы. Неорганические соединения, реагирующие в виде ионов, взаимодействуют очень быстро, во многих случаях почти моментально.
7. Среди органических соединений встречается явление *изомерии*, что также обуславливает их многочисленность.

При рассмотрении данных особенностей следует понимать, что ни одна из них не является абсолютным признаком органического соединения. Так, большинство органических соединений не диссоциирует на ионы, но среди них имеются и диссоциирующие вещества (карбоновые кислоты, аминокислоты). Однако, хотя каждый из перечисленных признаков

является относительным, взятые вместе особенности, характеризуют специфику органических веществ.

Существование огромного количества органических соединений предопределяет необходимость их строгой классификации и единых номенклатурных правил.

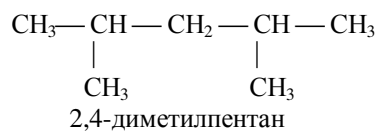
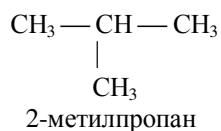
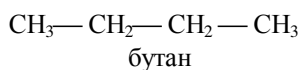
Для ветеринарии и медицины знание общих правил номенклатуры имеет большое значение, так как в соответствии с ними строятся названия многочисленных лекарственных веществ, с которыми врачи встречаются в своей профессиональной деятельности.

1.2. Классификация органических соединений

Органические соединения классифицируют: а) по строению углеродной цепи; б) по характеру связей между атомами углерода; в) с учетом присутствующих в молекуле функциональных групп.

В зависимости от строения углеродного скелета органические соединения делят на ациклические и циклические.

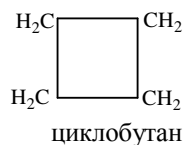
Ациклические соединения имеют незамкнутую (открытую) цепь атомов углерода, которая может быть разветвленной и неразветвленной.



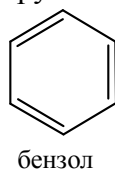
Циклические соединения имеют замкнутую углеродную цепь. В зависимости от природы атомов, составляющих цикл, различают карбоциклические и гетероциклические соединения.

Карбоциклические соединения содержат в цикле только атомы углерода. Они делятся на алициклические и ароматические соединения.

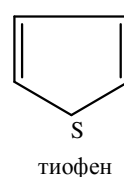
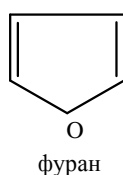
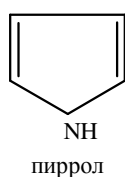
Простейшими представителями алициклических соединений является циклопропан и циклобутан.

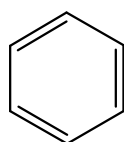


В структуре ароматических соединений присутствует ароматическое кольцо. Одним из простейших представителей этой группы веществ является бензол.

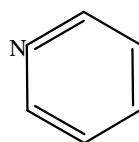


Гетероциклические соединения содержат в цикле, кроме атомов углерода, один или несколько атомов других элементов (гетероатомов, от греч. heteros – другой, иной). В роли гетероатомов выступают кислород, азот, сера. Примерами гетероциклических соединений являются пиррол, фуран, тиофен, пиридин, пиримидин.





N
пиридин

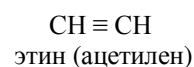
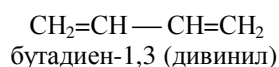
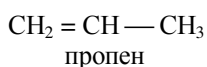


N
пиримидин

В зависимости от характера связей между атомами углерода различают предельные (насыщенные), непредельные (ненасыщенные) и ароматические соединения.

В предельных соединениях атомы углерода соединены только простыми (σ -) связями. Из вышеуказанных соединений к предельным относятся бутан, 2-метилпропан, 2,4-диметилпентан, циклопропан и циклобутан.

В непредельных соединениях имеется одна или несколько кратных (двойных или тройных) связей.



В ароматических соединениях, как было указано выше, содержится ароматическое кольцо. Примерами данной группы веществ являются бензол, пиррол, фуран, тиофен, пиридин, пиримидин.

Органические соединения можно рассматривать как углеводороды и их производные, полученные путем введения в их структуру вместо атомов водорода функциональных групп.

Функциональная группа – это атом или группа атомов, которые определяют принадлежность соединения к определенному классу и обуславливают его химические свойства.

В зависимости от природы функциональных групп производные углеводородов делят на классы (таблица 1.2.1).

Все классы органических соединений взаимосвязаны. Переход от одних классов к другим осуществляется в основном за счет превращения функциональных групп без изменения углеродного скелета.

Таблица 1.2.1 – Основные классы органических соединений, производные углеводородов

Название класса	Функциональная группа	Общая формула класса
Галогенопроизводные	— Hal (— F, — Cl, — Br, — I) галогены	R — Hal
Спирты	— OH гидроксильная	R — OH
Фенолы	— OH гидроксильная	Ar — OH
Простые эфиры	— O — R алкоксильная	R — O — R
Тиолы (тиоспирты, меркаптаны)	— SH тиольная	R — SH
Сульфоновые кислоты (сульфо кислоты)	— SO ₃ H сульфоновая	R — SO ₃ H
Амины	— NH ₂ амино	R — NH ₂
Нитросоединения	— NO ₂ нитро	R — NO ₂
Нитрилы	— C \equiv N циано	R — C \equiv N
Альдегиды	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{— C — H} \end{array}$ альдегидная	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R — C — H} \end{array}$
Кетоны	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{— C —} \end{array}$ карбонильная	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R — C — R} \end{array}$
Карбоновые кислоты	— COOH карбоксильная	R — COOH

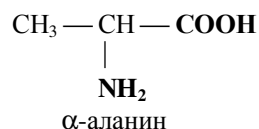
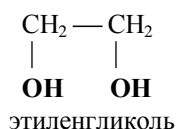
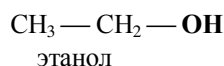
Соединения каждого класса объединены в гомологический ряд.

Гомологический ряд - это группа родственных органических соединений с однотипной структурой, каждый последующий представитель которой отличается от предыдущего на гомологическую разность (группу – CH_2 –).

Для построения гомологического ряда соединений того или иного класса необходимо знать гомологический ряд предельных углеводов (алканов). Ниже приведены первые 10 представителей данного класса органических соединений.

CH_4 метан	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}_3$ гексан
CH_3-CH_3 этан	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_5-\text{CH}_3$ гептан
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ пропан	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_6-\text{CH}_3$ октан
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_2-\text{CH}_3$ бутан	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}_3$ нонан
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_3$ пентан	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_8-\text{CH}_3$ декан

Соединения с одной функциональной группой называют *моnofункциональными* (например, этанол), с несколькими одинаковыми функциональными группами - *полифункциональными* (например, этиленгликоль), с несколькими разными функциональными группами – *гетерофункциональными* (например, α -аланин).



1.3. Номенклатура органических соединений

Номенклатура представляет собой систему правил, позволяющих дать однозначное название каждому индивидуальному соединению.

Номенклатура – это язык химии, используемый для передачи в названиях соединений их строения. В настоящее время общепринятой является *систематическая номенклатура ИЮПАК* (Международный союз теоретической и прикладной химии – International Union of Pure and Applied Chemistry – IUPAC).

Однако в органической химии сохраняются и *тривиальные* (от лат. *trivialis* – обыкновенный) названия, использовавшиеся еще до того, как становилось известным строение вещества. В этих названиях, как правило, отражались природные источники и способы получения, особо заметные свойства и области применения веществ. Например, лактоза (молочный сахар) выделена из молока (от лат. *lactum* – молоко), пальмитиновая кислота – из пальмового масла, пировиноградная кислота получена при пиролизе виноградной кислоты, в названии глицерина отражен его сладкий вкус (от греч. *glykus* – сладкий) и т.д.

Тривиальные названия особенно распространены среди природных соединений – аминокислот, углеводов, алкалоидов, стероидов. Употребление некоторых укоренившихся тривиальных названий (уксусная кислота, толуол, бензойная кислота и др.) разрешается правилами ИЮПАК.

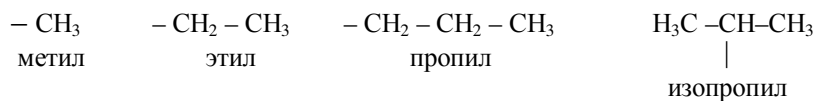
В правилах систематической номенклатуры используются *заместительная* и *радикально-функциональная* номенклатура.

Для использования *заместительной* номенклатуры необходимо знать следующие термины: родоначальная структура, органический радикал, функциональная группа, заместитель.

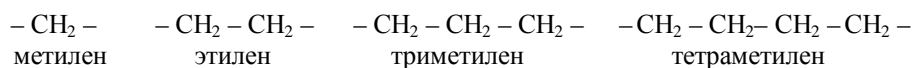
Родоначальная структура – химическая структура, составляющая основу называемого соединения. В ациклических соединениях в качестве родоначальной структуры выступает главная углеродная цепь, а в карбоциклических и гетероциклических соединениях – цикл.

Органический радикал – остаток молекулы, из которой удалены один или несколько атомов водорода или какая-то группа атомов. При этом остаются свободными соответственно одна или несколько валентностей.

Названия одновалентных радикалов обычно получают путем замены суффикса –ан на суффикс –ил.



Названия двухвалентных радикалов со свободными валентностями на концах углеродной цепи оканчиваются на –илен.



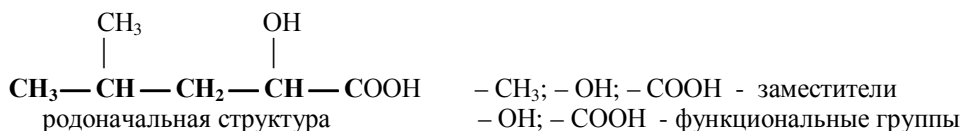
Распространены также такие углеводородные радикалы, как винил (CH₂=CH–), аллил (CH₂=CH–CH₂–), фенил (C₆H₅–), бензил (C₆H₅–CH₂–). Углеводородные радикалы алифатического ряда имеют общее название *алкилы* (–R), ароматического ряда – *арилы* (–Ar).

Радикалы могут быть образованы не только от углеводов, но и от других органических соединений. Например, от карбоновых кислот образуются радикалы *ацилы*.



Функциональная группа может быть связана с родоначальной структурой или (как в случае с альдегидной, оксо- или карбоксильной группой) может частично входить в ее состав.

Заместитель – любой атом или группа атомов, замещающие в исходном соединении атом водорода. Заместителем может быть любая функциональная группа или углеводородный радикал, присоединенные к родоначальной структуре.



В основе заместительной номенклатуры лежит выбор родоначальной структуры. Название соединения по данной номенклатуре строят как сложное слово, состоящее из корня (родоначальная структура); суффиксов, отражающих степень ненасыщенности (наличие двойных или тройных связей); префиксов и суффиксов, обозначающих число, характер и местонахождения заместителей.

Заместители подразделяют на два типа:

- углеводородные радикалы и функциональные группы, обозначаемые только префиксами;
- функциональные группы, обозначаемые как префиксами, так и суффиксами в зависимости от старшинства (таблица 1.3.1).

Из функциональных групп только префиксами обозначаются галогены и нитрогруппа.

Таблица 1.3.1 – Обозначение функциональных групп и порядок их старшинства

Функциональная группа (в порядке убывания старшинства)	Префикс	Суффикс
– (C)OOH*	–	-овая кислота
– SO ₃ H	сульфо-	-сульфоновая кислота
– (C)≡N	–	-нитрил
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{– (C) – H} \end{array}$	оксо-	-аль
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{– (C) –} \end{array}$	оксо-	-он
– OH	гидрокси-	-ол
– SH	меркапто-	-тиол
– NH ₂	амино-	-амин
– NO ₂	нитро-	–
– Hal (– Br, – I, – F, – Cl)	бром-, иод-, фтор-, хлор-	–

* Атом углерода, заключенный в скобки, входит в состав родоначальной структуры.

Составление названия органического соединения по заместительной номенклатуре производят в следующей последовательности:

1. Определяют родоначальную структуру и старшую функциональную группу с учетом относительного старшинства. Родоначальную структуру в алициклических соединениях выбирают по следующим критериям:

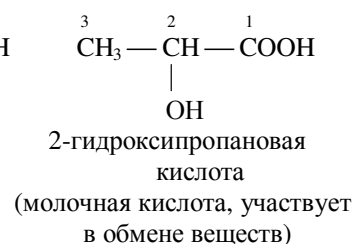
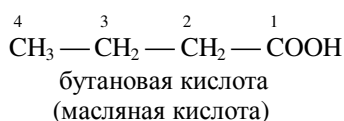
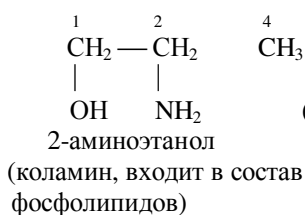
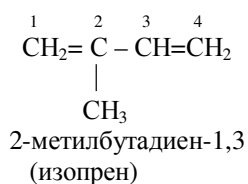
- а) максимальное количество функциональных групп, обозначаемых как префиксами, так и суффиксами;
- б) максимальное количество кратных связей;
- в) максимальная длина углеродной цепи;
- г) максимальное количество функциональных групп, обозначаемых только префиксами.

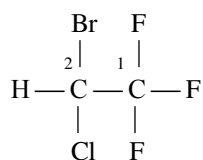
Каждый последующий критерий используется в том случае, если предыдущий не приводит к однозначному выводу.

2. Атомы родоначальной структуры нумеруют таким образом, чтобы старшая функциональная группа получила наименьший номер. В гетероцикле начало нумерации осуществляется с гетероатома.

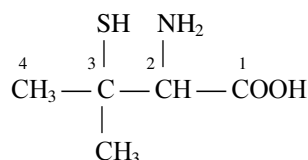
3. Старшую функциональную группу в названии родоначальной структуры обозначают суффиксом. Степень насыщенности родоначальной структуры отражают суффиксами: *-ан* (при отсутствии кратных связей), *-ен* (при наличии двойной связи), *-ин* (при наличии тройной связи).

4. Называют заместители, обозначаемые только префиксами, в едином алфавитном порядке. Положение каждого заместителя и каждой кратной связи указывают цифрами, соответствующими атому углерода, с которым связан заместитель (для кратной связи указывают наименьший номер). Цифры ставят перед префиксами и после суффиксов.

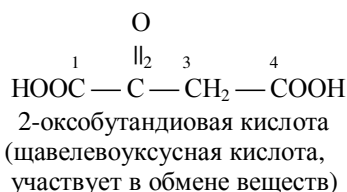




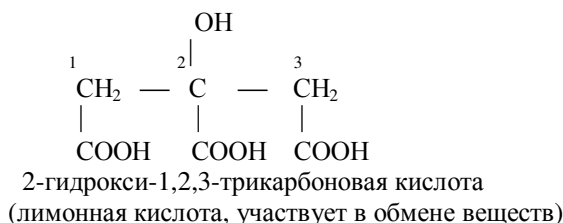
2-бром-1,1,1-трифтор-2-хлорэтан
(фторотан, средство для ингаляционного наркоза)



2-амино-3-меркапто-3-метилбутановая кислота
(пеницилламин; антидот, применяемый при отравлении тяжелыми металлами)



2-оксобутандиовая кислота
(щавелевоуксусная кислота, участвует в обмене веществ)



2-гидрокси-1,2,3-трикарбоновая кислота
(лимонная кислота, участвует в обмене веществ)

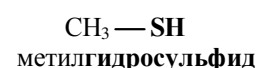
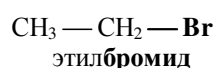
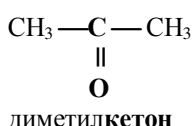
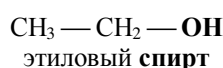
Радикально-функциональная номенклатура используется реже, чем заместительная. В основном она применяется для галогенопроизводных углеводородов (галогенидов), спиртов, кетонов и некоторых других классов органических соединений.

Для соединений с одной функциональной группой учитывается название углеводородного радикала, а наличие функциональной группы отражается названием соответствующего класса соединений (таблица 1.3.2).

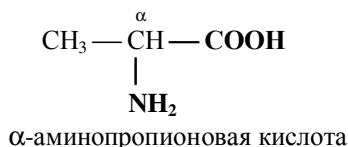
Таблица 1.3.2 – Названия классов соединений, наиболее часто используемых в радикально-функциональной номенклатуре

Название класса соединений	Функциональная группа
Кетон	$ \begin{array}{c} -\text{C}- \\ \\ \text{O} \end{array} $
Спирт	— OH
Гидросульфид	— SH
Фторид, хлорид, бромид, иодид	— F, — Cl, — Br, — I

Примеры названия соединений по радикально-функциональной номенклатуре:



Для соединений с разными функциональными группами в качестве названия класса используют название более старшего класса, а все остальные группы обозначают префиксами. При обозначении положения заместителей кроме цифр в радикально-функциональной номенклатуре можно использовать и буквы греческого алфавита.



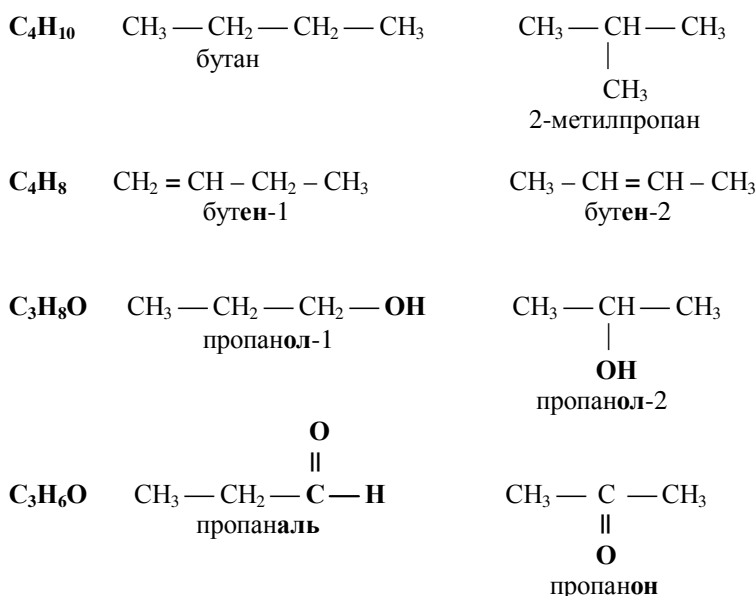
1.4. Изомерия органических соединений

Изомерия – это явление существования изомеров, т.е. веществ, имеющих одинаковый качественный и количественный состав, но отличающихся последовательностью связывания атомов в молекуле и (или) расположением их в пространстве. Изомеры различаются также по физическим и химическим свойствам.

Различают *структурную* и *пространственную изомерию (стереоизомерию)*.

Структурная изомерия включает:

- изомерию углеродной цепи (бутан и 2-метилпропан);
- изомерию положения кратных связей (бутен-1 и бутен-2);
- изомерию положения функциональных групп (пропанол-1 и пропанол-2);
- межклассовую изомерию (пропаналь и пропанон).



Стереоизомеры – это соединения, в молекулах которых имеется одинаковая последовательность соединения атомов в молекуле, но расположение этих атомов в пространстве различное.

К стереоизомерам относятся конфигурационные изомеры, которые представляют собой соединения с различным расположением в пространстве валентно несвязанных между собой атомов или групп атомов относительно друг друга. Примерами конфигурационных изомеров являются геометрические изомеры – цис-бутен-2 и транс-бутен-2, а также цис- и транс-2-бутендиовые кислоты (соответственно малеиновая и фумаровая кислоты).



Разновидностью стереоизомерии является *оптическая изомерия*. Существование оптических изомеров обусловлено отсутствием у ряда соединений плоскости симметрии и на-

неподеленную пару электронов (атомы галогенов, гидроксильная группа, аминогруппа, рисунок 2) или π -связь (например, карбонильная и карбоксильная группы, рисунок 3). Графически мезомерный эффект показывается изогнутой стрелкой, конец которой направлен к атому, к которому смещается электронная плотность.

Электродонорные заместители ($-F$; $-Cl$; $-Br$; $-I$; $-OH$; $-NH_2$) проявляют положительный мезомерный эффект ($+M$ -эффект) и повышают электронную плотность (δ^-) в сопряженной системе в орто- и пара-положениях.

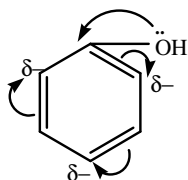


Рисунок 2 – Положительный мезомерный эффект ($+M$ -эффект) в молекуле фенола.

Именно в эти положения и направляется новый заместитель в реакциях электрофильного замещения. Поэтому вышеуказанные заместители называют орто-пара-ориентантами или заместителями I-рода. Примерами реакций с участием ориентантов является сульфирование хлорбензола (раздел 2.1), нитрование или бромирование фенола (раздел 2.3).

Электроакцепторные заместители проявляют отрицательный мезомерный эффект ($-M$ -эффект) и снижают электронную плотность в сопряженной системе. К таким заместителям относятся следующие функциональные группы: $-SO_3H$; $-NO_2$; альдегидная группа; $-COOH$. Данные функциональные группы образуют с бензольным кольцом общую сопряженную систему. Поскольку в них содержатся более электроотрицательные атомы (сера, азот, кислород), то общее π -электронное облако смещается в сторону данных групп.

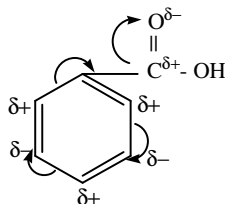


Рисунок 3 – Отрицательный мезомерный эффект ($-M$ -эффект) в молекуле бензойной кислоты.

Электронная плотность бензольного кольца в целом снижается, происходит ее перераспределение с возникновением частичного отрицательного заряда (δ^-) в мета-положении, куда и направляется новая группа в реакциях замещения. В связи с этим электроакцепторные заместители называют заместителями II-рода или мета-ориентантами.

Примером реакции, протекающей с участием ориентанта II-рода, является нитрование бензойной кислоты (раздел 2.1). Следует, однако, заметить, что реакции электрофильного замещения для производных бензола, имеющих заместители II-рода, протекают очень медленно. Так, нитрование бензойной кислоты по сравнению с аналогичной реакцией, протекающей с самим бензолом, происходит в 10 000 раз медленнее.

При оценке влияния заместителей на распределение электронной плотности в молекуле органического соединения следует учитывать суммарное действие индуктивного и мезомерного эффектов (таблица 1.5.1).

Примером мезомерного эффекта в незамкнутой системе является эффект сопряжения, наблюдаемый в карбоксильной группе карбоновых кислот (раздел 2.7).

Таблица 1.5.1 – Электронные эффекты некоторых заместителей

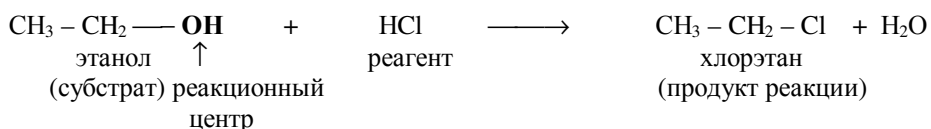
Заместитель	Электронные эффекты		Характер совместного действия электронных эффектов
	индуктивный	мезомерный	
Алкильные группы (R): метил, этил, пропил и др.	+ I	–	Электронодонорный
Аминогруппа (–NH ₂)	– I	+ M	
Гидроксильная группа (–OH)	– I	+ M	
Галогены (–F; –Cl; –Br; –I)	– I	+ M	Электроноакцепторный
Нитрогруппа (–NO ₂)	– I	– M	
Сульфогруппа (–SO ₃ H)	– I	– M	
Оксогруппа (–C=O) 	– I	– M	
Карбоксильная группа (–COOH)	– I	– M	

1.6. Типы органических реакций

Органические реакции классифицируют:

- по типу реагента и характеру изменения связей в субстрате;
- в соответствии с направлением (конечным результатом) реакций и их молекулярностью.

В химической реакции различают субстрат и реагент. *Субстратом* называют основное вещество, участвующее в реакции. Действующее на субстрат соединение называется *реагентом*. При этом в ходе превращения затрагивается не вся молекула субстрата, а только определенная ее часть, называемая *реакционным центром*.



Органические реагенты подразделяют на *радикалы (R)*, *электрофилы (E)*, *кислотные реагенты*, *нуклеофилы (N)*, *основные реагенты*, *окислители* и *восстановители*.

Радикалами являются частицы с неспаренным электроном (например, Br·, Cl·, HO·, HOO·, R·).

Электрофилы (E), от англ. electrophile) представляют собой частицы с положительным зарядом (Br⁺, H⁺, R₃C⁺) или электронейтральные молекулы (AlCl₃, SO₃). Они образуют новую ковалентную связь за счет электронной пары субстрата.

Кислотными реагентами являются нейтральные молекулы (CH₃COOH, HCl) или положительно заряженные частицы (NH₄⁺, H₃O⁺). Они способны быть донором протона по отношению к субстрату.

Нуклеофилы (N), англ. nucleophile) – частицы, несущие отрицательный заряд (H⁻, Cl⁻, HO⁻, RO⁻) или электронейтральные соединения (NH₃, H₂O, C₆H₆, CH₂=CH₂). Нуклеофильные реагенты образуют новую связь с молекулой субстрата, предоставляя для этого свою электронную пару.

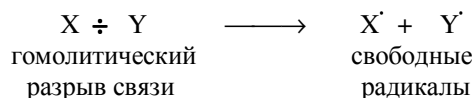
Основные реагенты (HO⁻, RO⁻, NH₃, H₂O) способны оторвать протон от реакционного центра субстрата.

Окислители (O₂, Fe²⁺, органические окислители) принимают электроны или атомы водорода от субстрата.

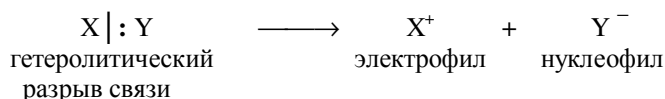
Восстановители (H₂, Fe³⁺, H⁻, органические восстановители) отдают электроны или атомы водорода субстрату.

Характер изменения связей в реакционном центре молекулы субстрата под действием реагента может быть *гомолитическим* и *гетеролитическим*.

При гомолитическом (свободнорадикальном) разрыве у каждого из ранее связанных атомов остается по одному свободному электрону. Гомолиз протекает при высокой температуре или при облучении, а также при проведении реакции в газовой фазе.

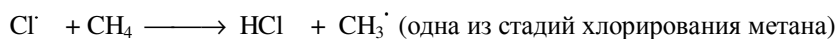


При гетеролитическом разрыве электронную пару, связывавшую атомы, забирает один из партнеров по связи. При этом образуются нуклеофильные и электрофильные частицы.

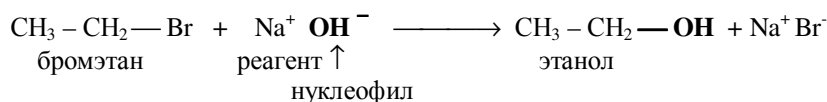
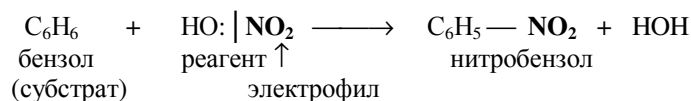


В соответствии с характером разрыва связи в субстрате различают *радикальные* и *ионные* реакции.

В *радикальных реакциях* (символ R, от англ. radical) участвуют радикалы и *происходит гомолитический разрыв* связей в субстрате.

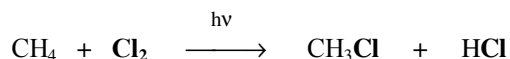


Для *ионных реакций* характерен *гетеролитический разрыв* связей. В зависимости от природы реагента они могут быть электрофильными и нуклеофильными.



По направлению (конечному результату) различают реакции *замещения* (символ S, от англ. substitution), *присоединения* (символ A, от англ. addition), *отщепления* (элиминирования, символ E, от англ. elimination) и *окислительно-восстановительные*.

Для алканов характерны реакции *радикального замещения* S_R , лежащие в основе получения галогенопроизводных углеводородов.



В свою очередь реакция получения спиртов из галогенопроизводных углеводородов происходит по типу *нуклеофильного замещения* S_N .

Примером реакции *электрофильного замещения* S_E является образование нитробензола, а реакции нуклеофильного замещения – получение этанола из бромэтана.

Для алкенов характерны реакции *электрофильного присоединения* A_E , а для альдегидов и кетонов – нуклеофильного A_N присоединения.



14. Привести уравнение реакции между толуолом (метилбензолом) и тремя молекулами азотной кислоты. Назвать продукт данной химической реакции и указать ее тип.
15. Написать уравнение реакции между пентанолом-2 и бромоводородом. Указать тип реакции и назвать ее продукт.

2. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРОЕНИЯ И РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ОСНОВНЫХ КЛАССОВ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Методические рекомендации при изучении раздела

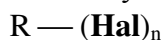
Цель изучения раздела: разобрать строение, физико-химические свойства и медико-биологическое значение основных классов органических соединений.

Основные теоретические вопросы при изучении раздела

- 2.1. Галогенопроизводные углеводородов.
- 2.2. Спирты.
- 2.3. Фенолы.
- 2.4. Тиолы и их производные.
- 2.5. Амины.
- 2.6. Оксосоединения (альдегиды и кетоны).
- 2.7. Карбоновые кислоты.
- 2.8. Контрольные вопросы и задания.
- 2.9. Примерные тестовые задания.

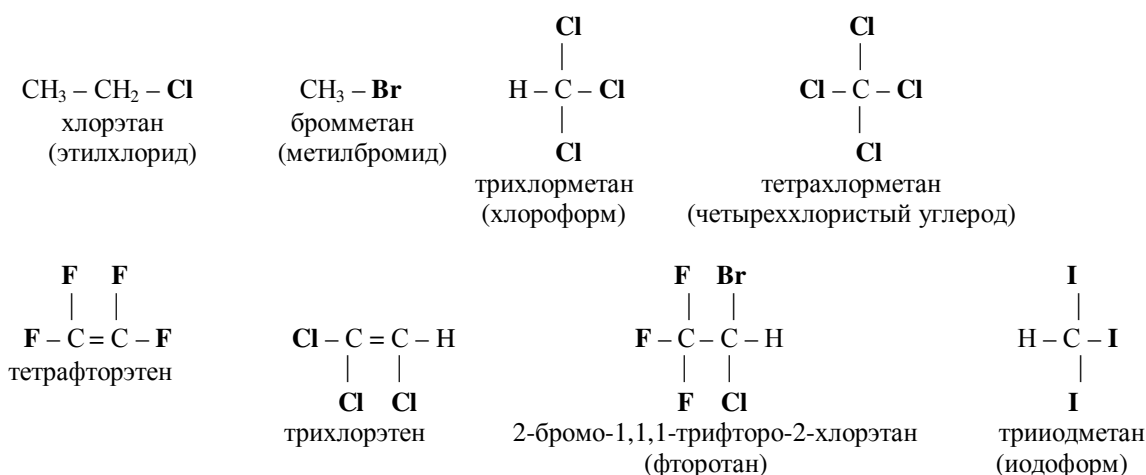
2.1. Галогенопроизводные углеводородов

Галогенопроизводными называются производные углеводородов, в которых один или несколько атомов водорода замещены соответствующим количеством атомов галогена:

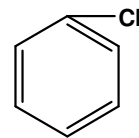
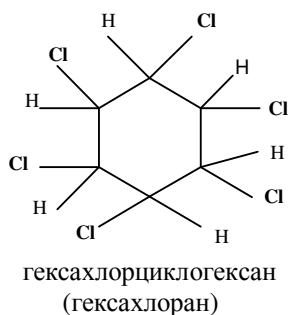


По характеру атомов галогена различают *фтор-, хлор-, бром- и иодпроизводные* углеводородов. В зависимости от числа атомов галогена их подразделяют на моно-, ди-, трехзамещенные и т.д. В зависимости от природы углеводородного радикала галогенопроизводные делятся на *ациклические и циклические*. Среди циклических наиболее распространены ароматические *галогенопроизводные*.

Ациклические галогенопроизводные углеводородов



Циклические галогенопроизводные углеводородов



хлорбензол

Номенклатура. При составлении названий галогенопроизводных углеводородов по *заместительной* номенклатуре называют родоначальную структуру, а наличие галогена показывают цифрой и в виде префикса. Если в молекуле имеется несколько заместителей, включая галоген, то их перечисляют в алфавитном порядке. По *радикально-функциональной* номенклатуре атом галогена отражает основу названия класса соединения (галогениды), а наличие радикала показывается в виде префикса. Например, хлорэтан по радикально-функциональной номенклатуре имеет название этилхлорид.

Многие галогенопроизводные имеют *тривиальные названия*.

Физические свойства. В зависимости от числа атомов углерода галогенопроизводные условно подразделяются на низшие, средние и высшие. Низшие галогеналканы – газы или жидкости, средние – жидкости, высшие – жидкости или твердые вещества. При одинаковых радикалах температуры кипения возрастают в ряду: фтор-, хлор-, бром-, иодзамещенные. Так, у фторметана температура кипения составляет $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$, у хлорметана она равна $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$, у бромметана и у иодметана она положительная (соответственно 4°C и 49°C).

С увеличением длины углеводородного радикала и числа атомов галогена в молекуле температуры кипения также возрастают.

Низшие галогеналканы почти не растворимы в воде, но растворяются в спиртах и других органических растворителях.

Хлорпроизводные алканов несколько легче воды (плотность хлорэтана составляет 0,91), а бром- и иодпроизводные тяжелее (у бромэтана 1,43; у иодэтана – 1,93).

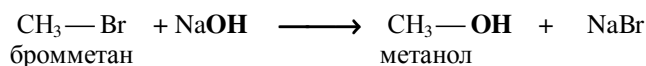
Фторированные углеводороды, в молекулах которых все атомы водорода замещены на атомы фтора, заметно отличаются по свойствам от других галогенопроизводных. Они чрезвычайно устойчивы, негорючи и нетоксичны.

Химические свойства. В отличие от углеводородов молекулы галогенопроизводных полярны, что обусловлено высокой электроотрицательностью атомов галогенов по сравнению с атомом углерода. В результате этого атомы галогена прочно удерживают электроны и не образуют межмолекулярных водородных связей, в следствие чего галогеноуглеводороды практически не растворимы в воде.

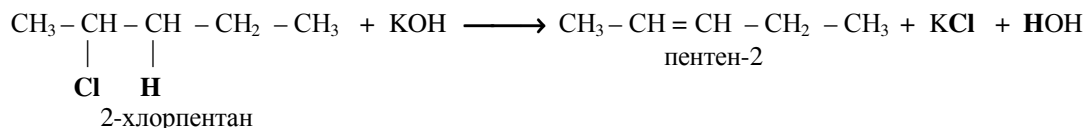
Высокая полярность и поляризуемость связи $\text{C} - \text{Hal}$ обуславливает возможность ее гетеролитического разрыва и высокую реакционную способность алкилгалогенидов в реакциях *нуклеофильного замещения* S_{N} . Атом углерода приобретает при этом частично положительный заряд $\delta+$ и становится электрофильным центром, который может подвергаться атаке нуклеофильным реагентом.

По легкости гетеролитического разрыва связи галогенопроизводные располагаются в ряд: $\text{C} - \text{I} > \text{C} - \text{Br} > \text{C} - \text{Cl} > \text{C} - \text{F}$. Поэтому среди галогенопроизводных в химическом отношении наиболее реакционноспособны иодпроизводные, а фторуглеводороды являются наиболее инертными соединениями.

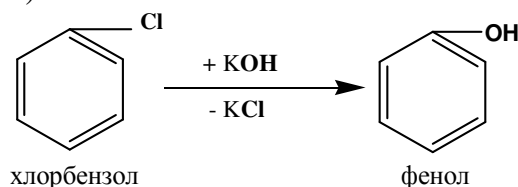
Взаимодействие галогеноалканов с водными растворами щелочей приводит к образованию спиртов.



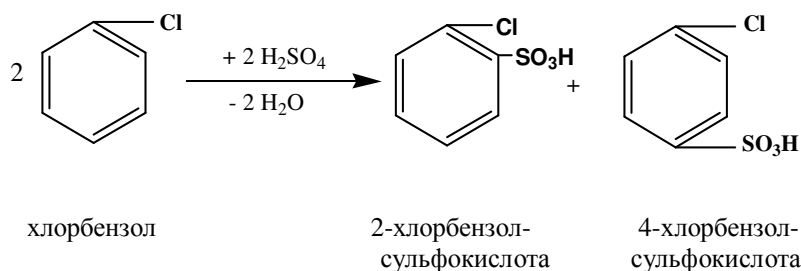
Галогенопроизводные алканов вступают также в реакции элиминирования E, что приводит к образованию алкенов.



В арилгалогенидах атом галогена прочно связан с sp^2 -гибридизованным атомом углерода ароматического кольца. Поэтому галогенопроизводные ароматических углеводородов менее реакционноспособны, чем сами арены. Так реакцию взаимодействия хлорбензола со щелочами с получением фенолов удастся осуществить лишь в жестких условиях (температура 300 °C и давление 150 атм).



В то же время ароматические галогенопроизводные проявляют все характерные свойства бензола и для них свойственны реакции нуклеофильного замещения S_N . Однако наличие связанного с ароматическим кольцом галогена накладывает на эти реакции определенные особенности. Атом галогена в ароматических производных проявляет отрицательный индуктивный (в силу высокой электроотрицательности) и положительный мезомерный (наличие неподеленной электронной пары) эффект. Причем $-I$ -эффект выражен намного сильнее $+M$ -эффекта. Поэтому в ароматическом кольце происходит снижение электронной плотности, но наименее выражено оно в орто- и пара-положениях. Таким образом, галоген в реакциях замещения ведет себя в арилгалогенидах как ориентант I рода.



Биологическая роль галогенопроизводных углеводородов и их использование в ветеринарии и медицине. Введение галогена в ациклический углеводород оказывает сильное влияние на физиологическую активность соединения, а введение галогена в ароматическое кольцо повышает его токсичность.

Этилхлорид представляет собой газ, легко сжижающийся при температуре 12 °C в бесцветную жидкость, применяется как местноанестезирующее средство (например, при травмах спортсменов во время соревнований). Такое действие вызвано тем, что он быстро испаряется и вызывает сильное охлаждение и понижение чувствительности участка кожи.

Хлороформ – средство для ингаляционного наркоза. Его преимущества - невоспламеняемость и быстрое действие. Однако данное соединение токсичное, поэтому его применение

ние ограничено. В чистом виде для наркоза может применяться собакам и свиньям, для других животных используется редко. Общая доза наркоза не должна превышать 3-4 мл/кг массы.

Иодоформ является антисептическим (обеззараживающим средством). Используется наружно в виде присыпок, 10 % мази для лечения инфицированных ран, язв, флегмонов, абсцессов, дерматитов. Иногда применяется как противобродильное и антисептическое средство при инфекциях желудочно-кишечного тракта у животных. Недостатком иодоформа является очень специфический запах.

Трихлорэтен (трихлорэтилен) представляет собой мощное наркотическое средство, особенно при необходимости кратковременного наркоза.

Тетрахлорметан (четырёххлористый углерод) легко испаряется при соприкосновении с огнем. При этом тяжелые пары тетрахлорметана стелятся над поверхностью пламени и ограничивают доступ кислорода. На этом основано использование данного соединения в специальных огнетушителях. Хорошо растворяет и экстрагирует жиры и масла. В ветеринарной медицине применяется в качестве антигельминтика, однако из-за своей высокой токсичности и гепатотропного действия это применение резко ограничено.

Фторотан применяется как ингаляционный наркотик для всех видов животных. Более эффективен для свиней, собак, кошек, пушных зверей. Фторотаном целесообразно поддерживать хирургический наркоз после применения хлоральгидрата. Смесь фторотана с эфиром (2 : 1) действует быстрее и сильнее.

При полимеризации *тетрафторэтена* образуется инертный полимер *тефлон*, широко используемый в промышленности, в том числе для изделий медицинской техники.

Перфторуглеводороды, являющиеся продуктами полного фторирования углеводородов, обладают способностью растворять и переносить кислород по кровяному руслу, что очень важно при больших кровопотерях. Это свойство перфторуглеводородов позволяет рассматривать их в качестве химической основы для создания кровезаменителей (перфторан, или «голубая кровь»).

Следует отметить, что практическое использование многих полигалогенопроизводных (например гексахлорана, полихлорированных бифенилов) сопряжено с экологической опасностью, так как большинство из них обладают высокой устойчивостью, медленно разлагаются в природных условиях и способны накапливаться в живых организмах. В связи с этим их применение стараются ограничить или полностью запретить.

2.2. Спирты

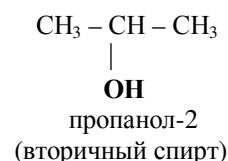
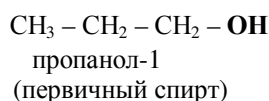
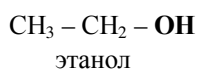
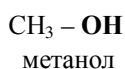
Спиртами называются производные углеводородов, в которых один или несколько атомов углерода замещены на соответствующее число гидроксильных групп: $R - (OH)_n$

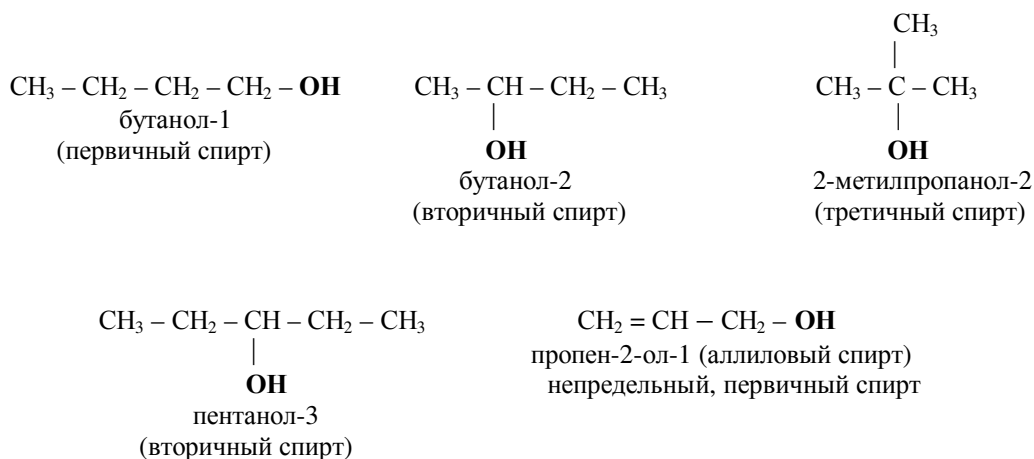
В зависимости от числа гидроксильных групп различают спирты *одноатомные*, *двухатомные*, *трехатомные* и т.д. Спирты, содержащие две и более гидроксильных групп, называют многоатомными (*полиолами*).

По характеру связи между атомами углерода спирты подразделяются на *предельные*, *непредельные* и *ароматические*.

По положению гидроксильной группы спирты делятся на *первичные*, *вторичные* и *третичные*.

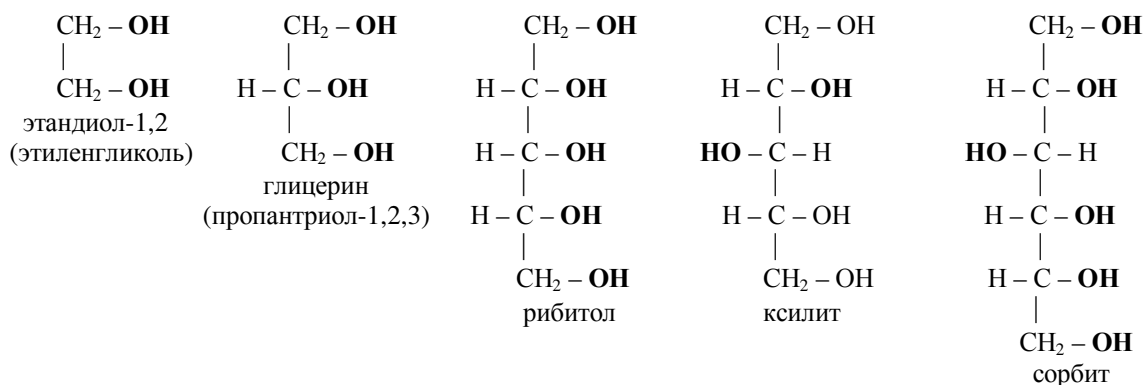
Одноатомные спирты



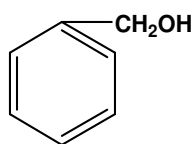


В первичных спиртах гидроксильная группа располагается у первичного атома углерода, во вторичных – у вторичного, у третичных – у третичного. Первичный углерод связан только с одним атомом углерода, вторичным – с двумя, а третичный – с тремя углеродными атомами. В связи с тем, что углерод в органических соединениях четырехвалентен, четвертичных спиртов быть не может.

Многоатомные спирты



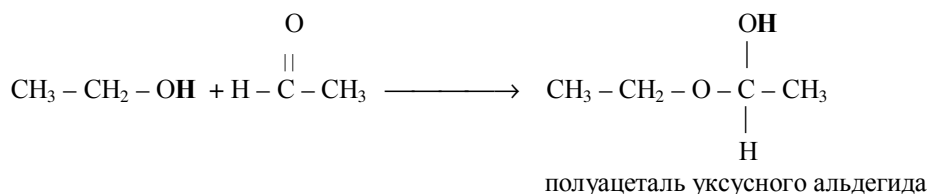
Простейшим ароматическим спиртом является бензиловый спирт.



Номенклатура. В названии спиртов по заместительной номенклатуре указывается название родоначальной структуры, наличие гидроксильной группы отражают суффиксом –ол, а цифрой – ее местоположение. Количество гидроксильных групп отражается множителем ди-, три- и т.д. При этом нумерация углеродной цепи в ациклических спиртах начинается с того конца цепи, к которому ближе гидроксильная группа.

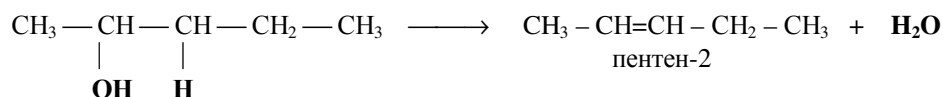
При названии многих спиртов (особенно многоатомных) употребляется и тривиальная номенклатура.

Изомерия предельных одноатомных спиртов структурная и обусловлена разветвлением углеродной цепи и положением гидроксильной группы. Так, из вышеуказанных примеров спиртов бутанол-2 и 2-метилпропанол-2 являются изомерами по разветвлению углеродной цепи, а пропанол-1 и пропанол-2, а также бутанол-1 и бутанол-2 – изомерами по положению гидроксильной группы.



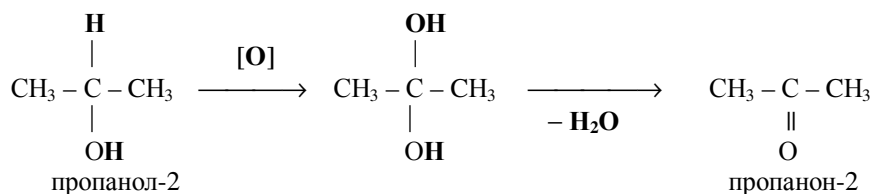
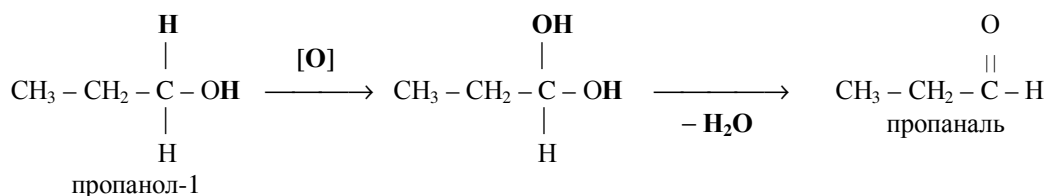
Реакции элиминирования (отщепления)

Дегидратация спиртов (отщепление от них воды) приводит к образованию алкенов.

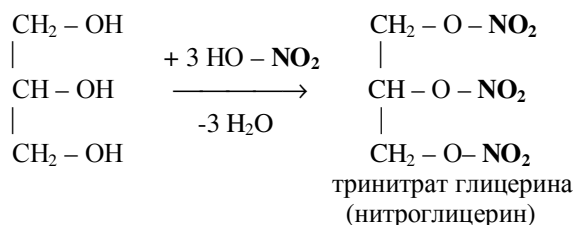


Реакции окисления

При *окислении* первичных спиртов образуются *альдегиды*, а при окислении вторичных – *кетоны*.

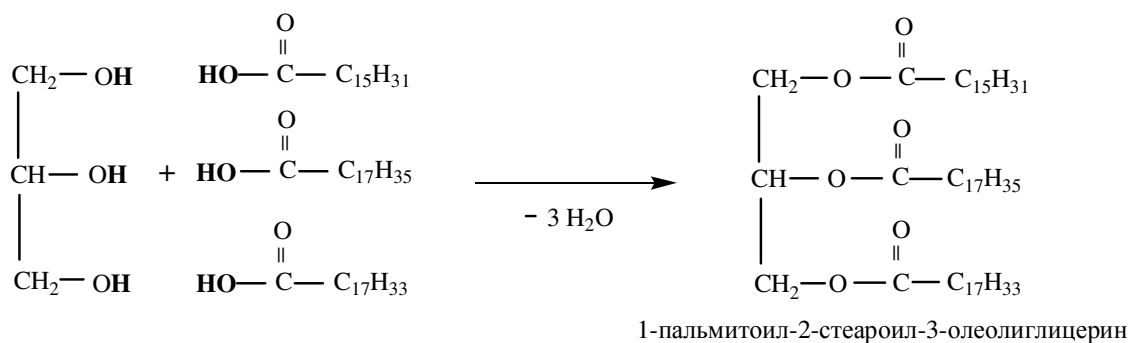


Особенности химических свойств многоатомных спиртов. Многоатомные спирты вступают в те же реакции, что и одноатомные. При этом в реакции может участвовать как одна, так и несколько гидроксильных групп.

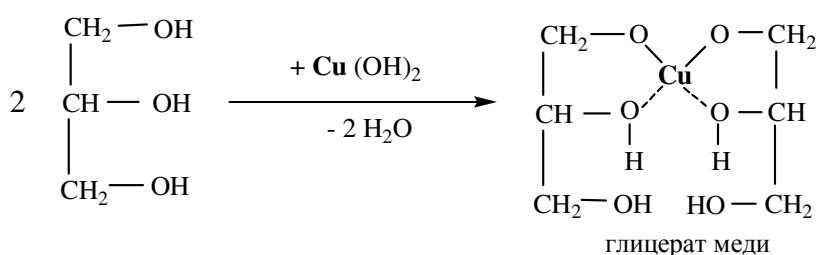


Нитроглицерин в виде 1 % раствора в этаноле используется как сосудорасширяющее средство.

Взаимодействие глицерина с высшими жирными кислотами позволяет получить триацилглицерины (жиры).



Многоатомные спирты в отличие от одноатомных могут реагировать с основаниями. Качественная реакция на многоатомные спирты - взаимодействие их с гидроксидом меди (II). В результате данной реакции образуются комплексные соединения хелатного типа, окрашенные в синий цвет.



Биологическое значение спиртов, их использование в ветеринарии и медицине. Введение гидроксильной группы в молекулу повышает растворимость вещества в воде и увеличивает его физиологическую активность (наркотическое действие и токсичность).

Метанол (метилвый спирт) – сильный яд. В пищеварительном тракте превращается в формальдегид и муравьиную кислоту. Попадание в организм даже небольших количеств (5-10 г) вызывает слепоту, в дозе 30 г приводит к летальному исходу. Используется в качестве исходного сырья для промышленного органического синтеза.

Этанол (этиловый спирт) используется в медицине как растворитель для приготовления настоек, экстрактов, применяется в качестве обеззараживающего средства (для дезинфекции рук хирурга и операционного поля). В концентрации 70 % обладает выраженным антимикробным действием, убивает микроорганизмы, отнимая у них воду и коагулируя белок (90 – 95 % спирт микробы не убивает). В ветеринарии используется также как наркотическое средство (для крупного и мелкого рогатого скота) и в качестве болеутоляющего, противобродильного, руминаторного средства при желудочно-кишечной патологии. Как противовоспалительное и болеутоляющее средство применяется при травмах, дерматитах, артритях, миозитах.

Аллиловый спирт является промежуточным компонентом в промышленном синтезе глицерина.

Бутиловые (C₄) и амиловые (C₅) спирты входят в состав *сивушных масел*.

Глицерин входит в состав липидов, используется для получения нитроглицерина. Благодаря гигроскопичности предохраняет смазанные предметы от высыхания, поэтому применяется также в косметике, кожевенной и текстильной отраслях промышленности. На поверхности кожи и слизистых оболочек проявляет смягчительное, слабораздражающее несильное бактериостатическое действие. При энтеральном применении стимулирует секрецию и перистальтику.

Рибитол является составной частью витамина B₂ (рибофлавина).

Ксилит и **сорбит** используются в качестве заменителей глюкозы у больных сахарным диабетом.

2.3. Фенолы

Фенолами называются производные ароматических углеводородов, в которых атом водорода, связанный с углеродом ароматического кольца, замещен на гидроксильную группу (Ar — OH).

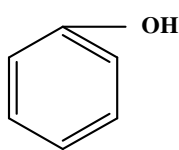
В зависимости от числа гидроксильных групп различают одноатомные, двухатомные и трехатомные фенолы.

Для названия фенолов чаще всего употребляется тривиальная номенклатура.

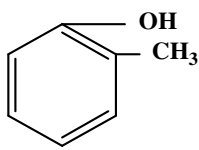
По номенклатуре ИЮПАК для названия родоначальной структуры фенолов сохранено тривиальное название «фенол». Если с ароматическим кольцом связано несколько заместителей, то их положение нумеруют с учетом старшинства.

Для монозамещенных производных фенола (например, крезол) возможны три структурных изомера – орто, мета и пара.

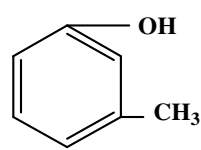
Одноатомные фенолы



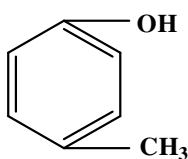
фенол



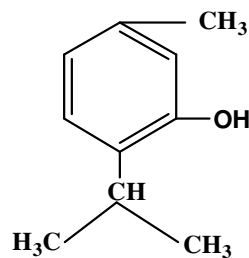
2-метилфенол
(орто-крезол)



3-метилфенол
(мета-крезол)

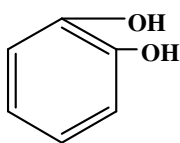


4-метилфенол
(пара-крезол)

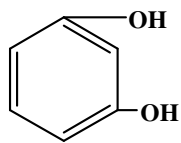


2-изопропил-5-метилфенол
(тимол)

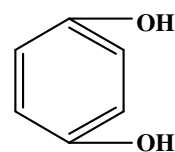
Двухатомные фенолы



1,2-дигидроксибензол
(пирокатехин)

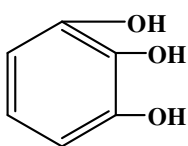


1,3-дигидроксибензол
(резорцин)

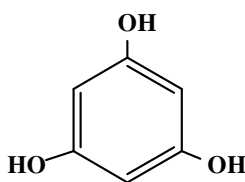


1,4-дигидроксибензол
(гидрохинон)

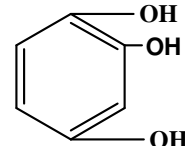
Трехатомные фенолы



1,2,3-тригидроксибензол
(пирогаллол)



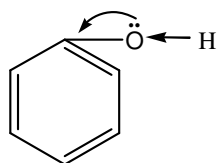
1,3,5-тригидроксибензол
(флороглюцин)



1,2,4-тригидроксибензол
(оксигидрохинон)

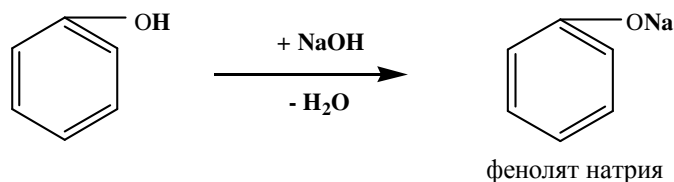
Физические свойства. Фенолы в основном представляют собой кристаллические вещества, лишь некоторые из них (например, мета-крезол) – жидкости. Большинство фенолов обладает сильным характерным запахом. Фенолы плохо растворимы в воде, но хорошо растворяются в водных растворах щелочей. Для фенолов характерны высокие температуры кипения (например, у фенола она составляет 182 °С) благодаря тому, что они образуют водородные связи.

Химические свойства фенолов определяются наличием в их молекуле как гидроксильной группы, так и бензольного кольца, которые оказывают друг на друга взаимное влияние. Неподделенная пара электронов атома кислорода находится в сопряжении с π -электронами бензольного кольца. Поэтому в фенолах гидроксильная группа, кроме отрицательно индуктивного эффекта ($-I$), обладает положительным *мезомерным эффектом* ($+M$). Причем величина $+M$ эффекта больше, чем $-I$ эффекта, вследствие чего гидроксильная группа является донором по отношению к бензольному кольцу. Частичное смещение электронной плотности от атома кислорода в сторону ароматического кольца приводит к увеличению полярности связи $O-H$ и повышению подвижности атома водорода гидроксильной группы.

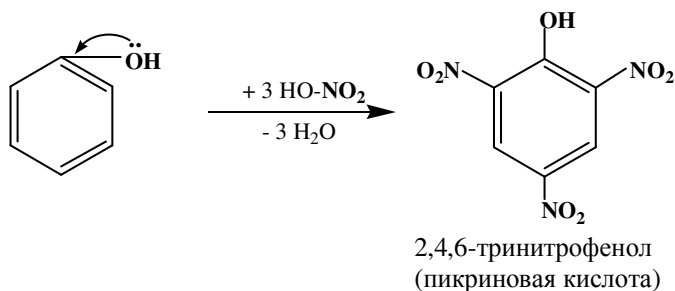


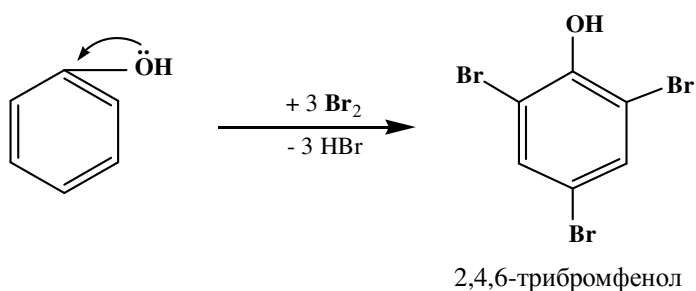
Большая подвижность атома водорода гидроксильной группы фенолов по сравнению со спиртами предопределяет и их большую кислотность. Участие неподделенной пары электронов атома кислорода в сопряжении с π -электронами бензольного кольца понижает способность атома кислорода принимать протон и уменьшает основность фенолов.

Доказательством большей кислотности фенолов в сравнении со спиртами, является взаимодействие фенолов с водными растворами *щелочей*. Образующиеся при этом соли (феноляты или феноксиды), сравнительно устойчивы.



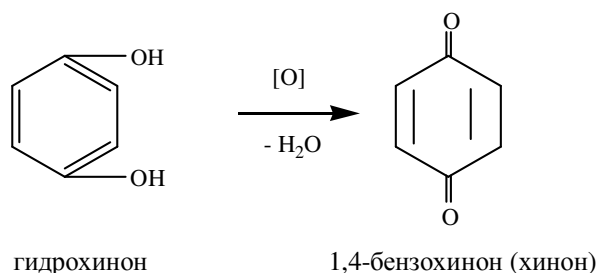
Гидроксильная группа фенолов, обладающая положительным мезомерным эффектом ($+M$ -эффектом) и проявляющая электронодонорные свойства по отношению к ароматическому кольцу, является *ориентантом I рода*. Она направляет электрофильный реагент в *орто*- и *пара*-положения бензольного кольца. При этом реакции *электрофильного замещения* у фенолов протекают легче, чем у бензола.





Трибромфенол плохо растворим в воде и выпадает в осадок, в связи с чем реакция его образования может служить для обнаружения фенола.

Фенолы легко *окисляются* даже под действием кислорода воздуха. При окислении фенола и гидрохинона образуется пара-хинон (бензохинон).



Окислительно-восстановительные свойства системы хинон-гидрохинон играют важную роль в организме. По отношению к большинству органических субстратов хинон является окислителем. Принимая электроны от субстрата *in vivo*, хинон восстанавливается в гидрохинон, который через систему цитохромов передает электроны на молекулярный кислород.

Качественной реакцией на фенольный гидроксил является реакция фенолов с хлоридом железа (III). Одноатомные фенолы дают сине-фиолетовую окраску, а многоатомные – окраску различных оттенков.

Биологическое значение фенолов, их использование в ветеринарии и медицине. Фенолы образуются в организме человека и животных в толстом отделе кишечника при распаде ароматических аминокислот фенилаланина и тирозина. В больших концентрациях фенолы наносят вред организму и поэтому должны обезвреживаться. Детоксикация фенолов происходит в печени.

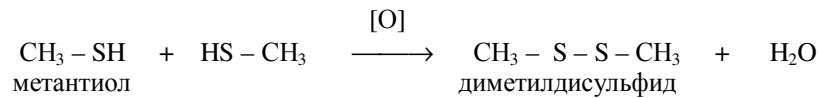
Введение гидроксильной группы в ароматическое кольцо приводит к появлению антисептических свойств. Поэтому *фенол* (карболовая кислота) и многие его производные обладают бактерицидным, противопаразитарным и инсектицидным действием. Например, 0,5 – 3 % водными растворами фенола дезинфицируют хирургические инструменты, 3 – 5 % растворы используют для дезинфекции животноводческих помещений (кроме помещений для лактирующих и убойных животных). Для лечения чесотки у овец применяют 1,5 – 2 % растворы, для консервирования биопрепаратов используют 0,1 – 0,5 % растворы.

В промышленности фенол используется для производства лекарственных средств, пластмасс, красителей, фенолформальдегидных смол.

Смесь крезолов (орто-, мета-, пара-), известная под названием «*трикрезол*», используется в качестве антисептического средства. Водные растворы крезолов действуют в 10 – 15 раз сильнее по сравнению с фенолом.

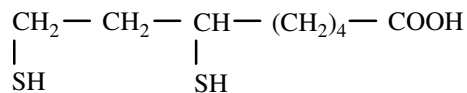
Тимол содержится во многих эфирных маслах и применяется как антисептическое и противоглистное средство.

Кольцо *пирокатехина* входит в состав гормонов мозгового слоя надпочечников – *адреналина* и *норадреналина*. Метилловый эфир пирокатехина (*гваякол*) обладает антисептиче-

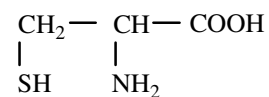


Дисульфидная связь между остатками аминокислоты цистеин участвует в формировании третичной структуры молекулы белков.

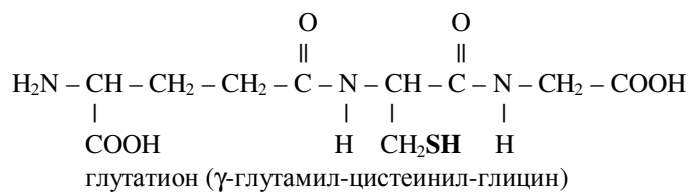
Медико-биологическое значение тиолсодержащих соединений. С наличием –SH групп связана функциональная активность многих белков и ферментов. Кроме того соединения, имеющие в своей структуре данную группу (дигидролипоевая кислота, цистеин, глутатион) обладают антиоксидантной активностью.



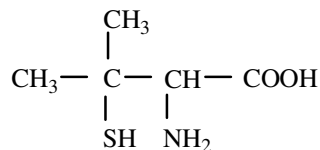
дигидролипоевая кислота



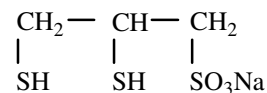
цистеин



Многие тиолсодержащие соединения (пеницилламин, унитиол) применяются в качестве противоядий (антидотов) при отравлении соединениями тяжелых металлов.

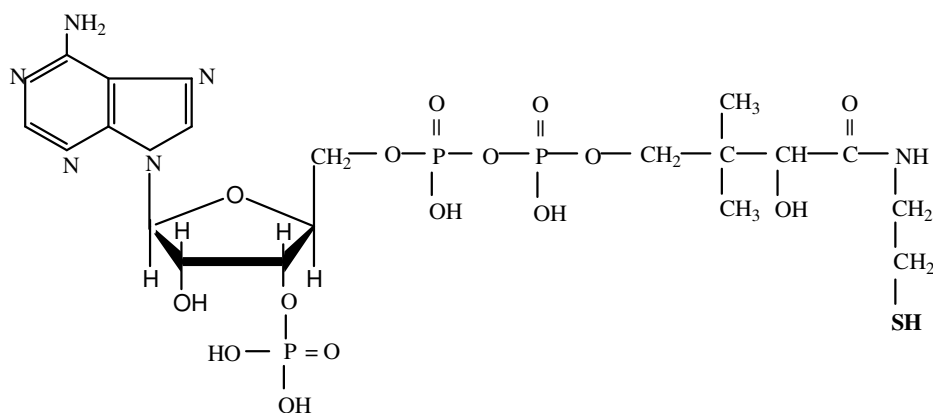


пеницилламин



унитиол

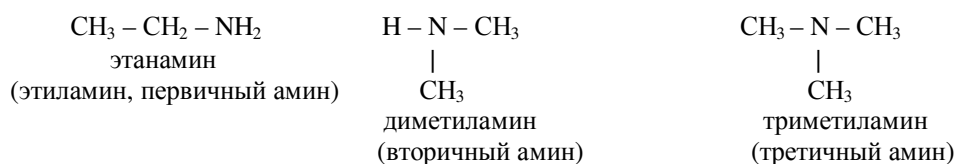
Сульфгидрильная группа входит в состав кофермента ацилирования (КоА-SH), участвующего во многих биохимических процессах в организме животных и человека.



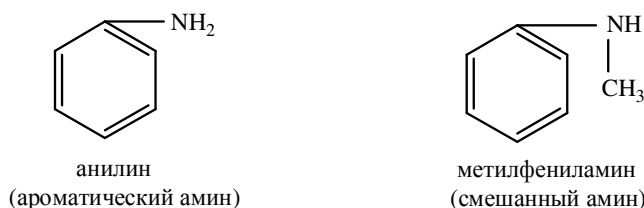
кофермент ацилирования (КоА-SH)

2.5. Амины

Амины представляют собой производные аммиака, у которого один, два или три атома водорода замещено на соответствующее число углеводородных радикалов. В связи с этим различают первичные, вторичные и третичные амины.



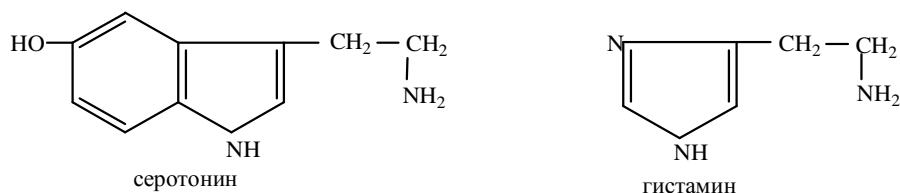
В зависимости от характера углеводородного радикала различают алифатические, ароматические и смешанные амины. Вышеприведенные формулы аминов являются алифатическими. Примером ароматического амина является анилин, а смешанного – метилфениламин.



При названии первичных аминов по заместительной номенклатуре указывается название соответствующего углеводорода и добавляется суффикс –амин. В то же время более распространенными являются названия первичных аминов по радикально-функциональной номенклатуре.

Для названия вторичных и третичных аминов используется радикально-функциональная номенклатура.

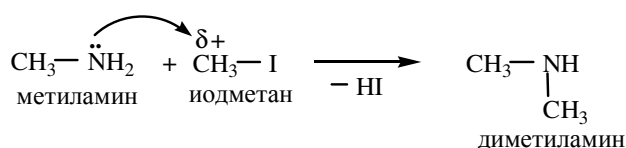
Биогенные амины, образующиеся в организме животных и человека, имеют тривиальные названия.



Химические свойства. В молекуле аминов имеется две поляризованные связи (C – N; N – H). Однако полярность данных связей выражена не так сильно, как связей C–O и O–H в спиртах. Поэтому связи C – N и N – H в аминах менее склонны к гетеролитическому разрыву. Вследствие данного явления для аминов не характерны реакции нуклеофильного замещения аминогруппы и амины не отщепляют протон, т.е. не проявляют свойства кислот.

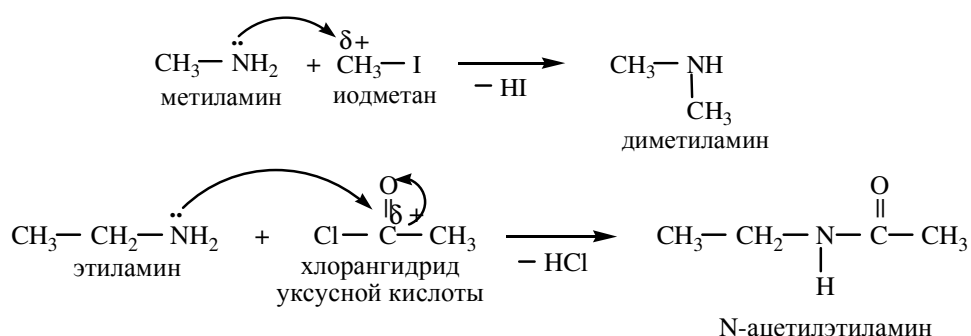
Реакционная способность аминов определяется наличием у атома азота неподеленной пары электронов. Она обуславливает то, что амины выступают в реакциях в роли нуклеофилов, а также являются сильными органическими основаниями (акцепторами протона).

При взаимодействии с кислотами амины превращаются в аммониевые соли.

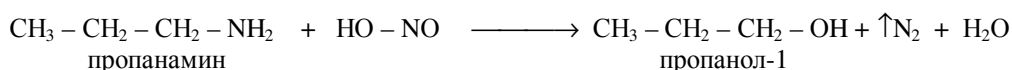


У ароматических аминов основные свойства выражены гораздо слабее вследствие р,π-сопряжения неподеленной пары электронов атома азота аминогруппы с π-электронами бензольного кольца.

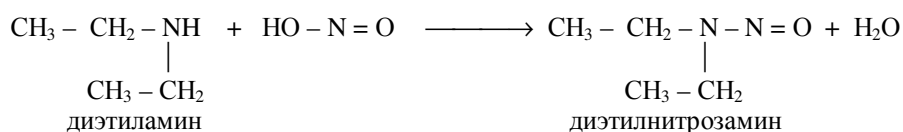
Амины могут алкилироваться и ацилироваться. Эти реакции протекают по механизму нуклеофильного замещения.



Качественной реакцией на первичные амины является их взаимодействие с азотистой кислотой. При этом образуются первичные спирты и выделяется газообразный азот.



Вторичные амины в реакции с азотистой кислотой дают *нитрозамины*.



Нитрозамины являются канцерогенными соединениями.

Медико-биологическое значение аминов. При декарбоксилировании аминокислот в организме животных образуются биогенные амины (гистамин, серотонин и др.).

Гистамин расширяет стенки кровеносных сосудов и понижает кровяное давление. Большое количество гистамина образуется в местах воспаления. Обладая сосудорасширяющим действием, он ускоряет приток к очагу воспаления лейкоцитов, что способствует активизации защитных сил организма. Гистамин участвует в секреции соляной кислоты в желудке. Гистаминовая проба широко используется в клинических исследованиях при изучении секреторной деятельности желудка. Он участвует в аллергических реакциях организма. Гистамин относят также к нейромедиаторам боли.

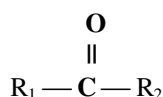
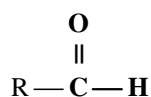
Серотонин является нейромедиатором. Он повышает кровяное давление.

Анилин и другие ароматические амины используются в производстве красителей, взрывчатых веществ, лекарственных соединений (например, сульфаниламидных препаратов). В то же время следует отметить, что многие амины токсичны. Так, анилин, хотя и обладает жаропонижающим действием, не применяется в медицине ввиду своей токсичности.

2.6. Оксосоединения (альдегиды и кетоны)

Оксосоединения имеют в своей структуре оксо- (карбонильную) группу $\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}$.

В альдегидах она связана с атомом водорода (альдегидная группа) и с углеводородным радикалом. У кетонов оксогруппа соединена с двумя радикалами.

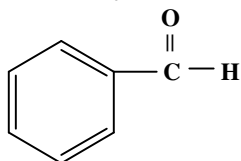
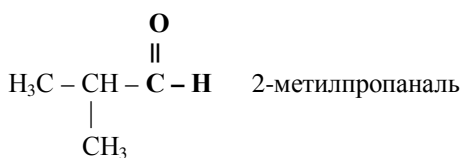
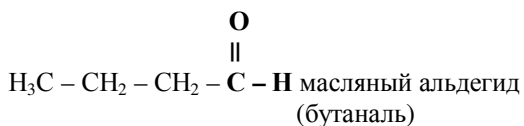
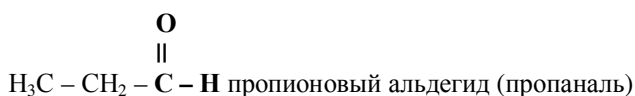
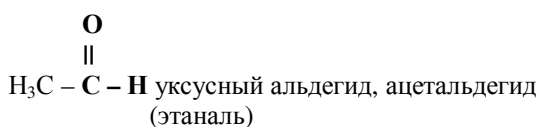
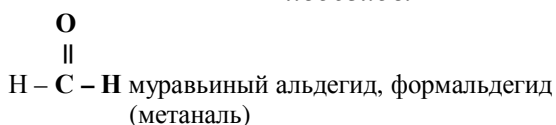


Наличие альдегидной группы отражается в названии соединений суффиксом *-аль*, а кетонной *-он*. Основой в названии служит родоначальная структура - главная углеродная цепь в ациклических и цикл в циклических альдегидах и кетонах.

В ряду альдегидов часто употребляются тривиальные названия, возникшие от названия соответствующих карбоновых кислот, в которые превращаются альдегиды при окислении.

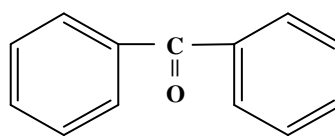
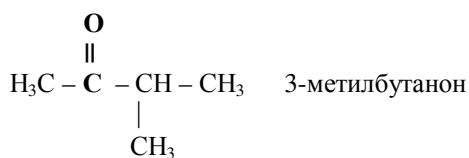
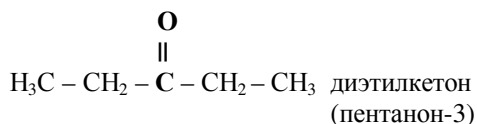
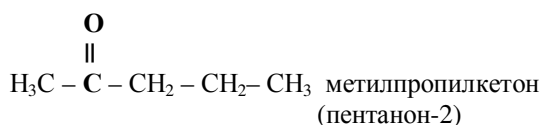
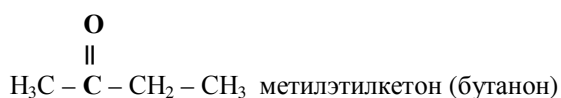
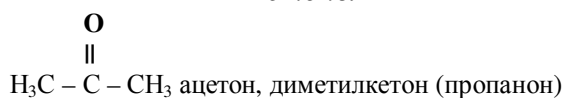
При названии кетонов (особенно ароматического ряда) употребляется и радикально-функциональная номенклатура. Она включает названия радикалов и слово кетон, отражающее класс соединения.

Альдегиды



бензальдегид

Кетоны



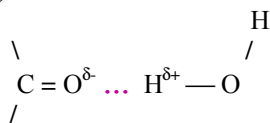
дифенилкетон (бензофенон)

Изомерия альдегидов обусловлена разветвлением углеродной цепи. Среди вышеуказанных формул альдегидов изомерными являются бутаналь и 2-метилпропаналь.

Изомерия кетонов может быть связана с положением карбонильной группы (примеры: пентанон-2 и пентанон-3) и разветвлением углеродной цепи (пентанон-2 и 3-метилбутанон).

Физические свойства. Альдегиды и кетоны – полярные соединения, у которых в жидкой фазе имеет место диполь-дипольное взаимодействие молекул. Поэтому они имеют более высокие температуры кипения, чем углеводороды с близкой молекулярной массой. Так у пропионового альдегида она составляет 49 °С, у ацетона этот показатель равен 56 °С, в то время как у пропана и бутана соответственно -42 °С и -0,5°С.

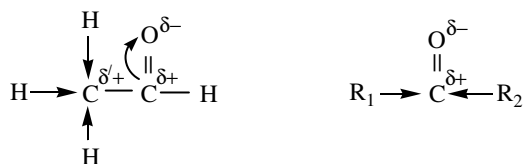
Оксосоединения за счет водородных связей могут взаимодействовать с молекулами воды и поэтому хорошо в ней растворяются (особенно первые представители гомологического ряда).



В то же время альдегиды и кетоны не образуют межмолекулярные ассоциации, вследствие чего температуры их кипения значительно ниже соответствующих спиртов.

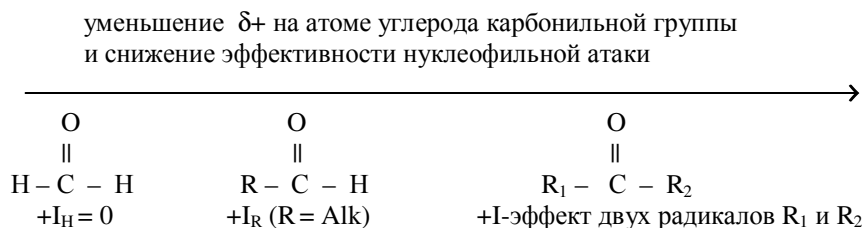
В обычных условиях лишь формальдегид является газом, остальные альдегиды, а также кетоны – жидкости или твердые вещества. Формальдегид имеет резкий, неприятный запах. Средние гомологи ряда альдегидов обладают характерным устойчивым запахом (альдегидный запах). Высшие альдегиды обладают цветочными запахами и широко применяются в парфюмерии.

Химические свойства оксосоединений определяются наличием в их составе *карбонильной (оксо-) группы*.



Атомы углерода и кислорода карбонильной группы находятся в состоянии sp^2 -гибридизации и связаны σ - и π -связью, составляющими двойную связь. π -Связь образуется в результате перекрывания негибридных p_z -орбиталей обоих атомов. Длина связи $\text{C} = \text{O}$ короче (0,121 против 0,134 нм), а ее энергия выше (710 против 620 кДж/моль) по сравнению с $\text{C} = \text{C}$ связью. Высокая электроотрицательность атома кислорода способствует сильной поляризации связи $\text{C} = \text{O}$, в результате чего атом углерода в карбонильной группе имеет частично положительный заряд и является электрофильным центром. Поэтому для альдегидов и кетонов характерны реакции *нуклеофильного присоединения*.

Легкость нуклеофильной атаки по атому углерода карбонильной группы альдегида и кетона зависит от величины положительного заряда на атоме углерода и его пространственной доступности. При наличии радикалов, связанных с карбонильной группой *величина δ^+* на атоме углерода изменяется следующим образом:



Пространственная доступность карбонильного атома углерода уменьшается при замене водорода на более объемистые органические радикалы. Поэтому *альдегиды являются более реакционноспособными соединениями, чем кетоны*.

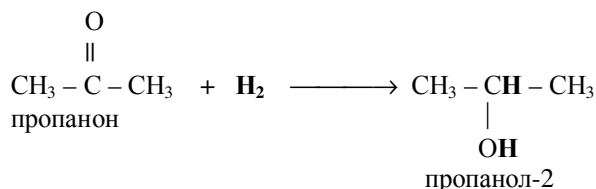
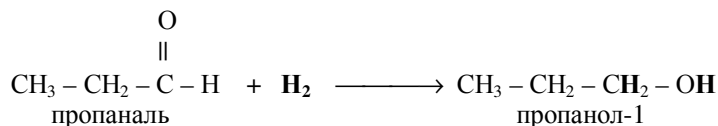
По атому кислорода карбонильной группы оксосоединения вступают в реакции *замещения*.

Наличие в молекулах альдегидов и кетонов электроноакцепторной оксогруппы приводит к снижению электронной плотности на α -атоме углерода. В результате этого увеличивается *подвижность связанных с ним атомов водорода*, которые могут замещаться на атомы галогена.

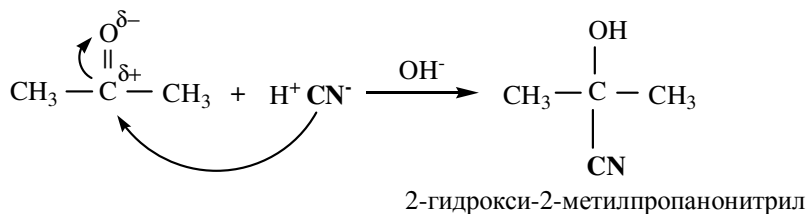
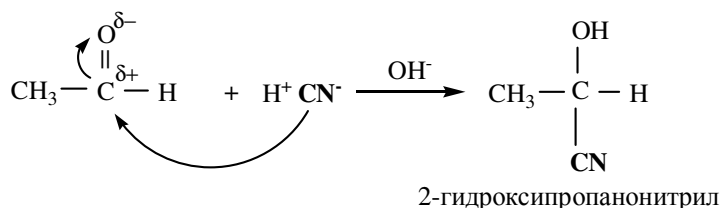
Оксосоединения могут вступать и в реакции окисления.

Реакции восстановления оксосоединений

При восстановлении альдегидов образуются первичные спирты, а в случае кетонов – вторичные. Реакция протекает по типу нуклеофильного присоединения A_N .

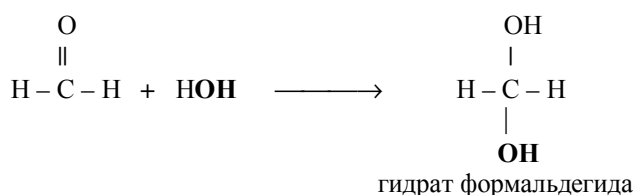


Взаимодействие оксосоединений с цианидами приводит к образованию гидроксинитрилов. Сама циановодородная кислота мало диссоциирована, поэтому реакцию проводят в щелочной среде, где образуется цианид-ион, являющийся активной нуклеофильной частицей.

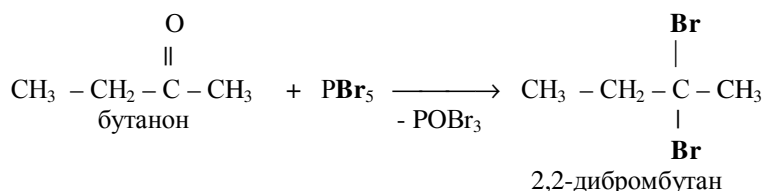


Реакция образования гидроксинитрилов имеет важное значение в органической химии. С ее помощью можно удлинить углеродную цепь исходного соединения на один атом углерода, а продукты этой реакции гидроксинитрилы являются промежуточными соединениями в процессе получения гидроксикислот и аминокислот.

Альдегиды (особенно метаналь) могут присоединять воду с образованием гидратов.

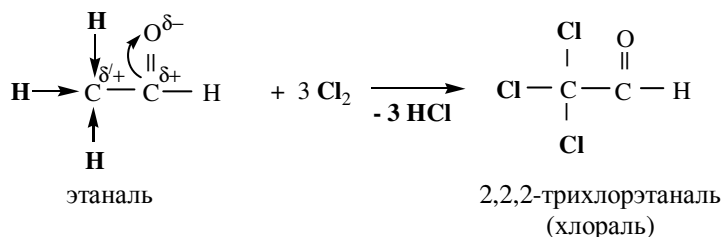


Введение атомов галогена в радикал повышает устойчивость гидратных форм альдегидов. Кетоны практически не реагируют с водой.

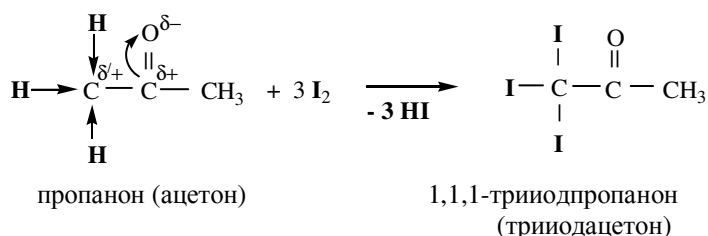


Реакции замещения атомов водорода в радикале

Вследствие влияния оксогруппы на радикал в нем увеличивается подвижность атомов водорода, связанных с α -углеродным атомом. Эти атомы водорода могут замещаться на атомы галогена.

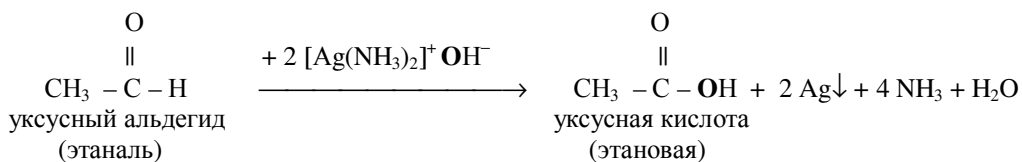
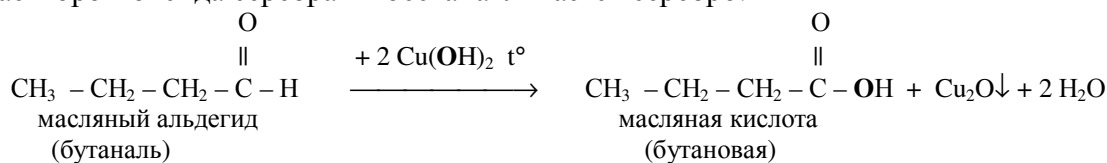


Хлораль, взаимодействуя с молекулой воды, образует *хлоральгидрат*, который в медицине и ветеринарии используется как успокаивающее и снотворное средство. Применяют в качестве базисного наркоза лошадям, мелкому рогатому скоту, свиньям, оленям, собакам. Крупный рогатый скот чувствителен к действию хлоральгидрата. В основе его фармакологического эффекта данного соединения лежит специфическое действие на организм альдегидной группы. Наличие атомов галогена усиливает ее действие, а гидратация карбонильной группы снижает токсичность вещества в целом. Под действием щелочей хлоральгидрат разлагается с образованием соли муравьиной кислоты и *хлороформа*.

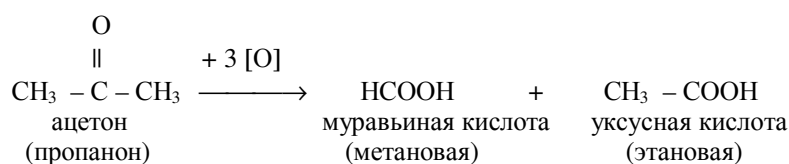


В щелочной среде трииодацетон разлагается с образованием соли уксусной кислоты и *иодоформа*.

Альдегиды и кетоны по разному ведут себя в реакциях *окисления*. Альдегиды легко окисляются даже слабыми окислителями – гидроксидом меди (II) и оксидом серебра. При этом образуются карбоновые кислоты с тем же числом атомов углерода. В реакции с гидроксидом меди при нагревании образуется осадок красного цвета Cu_2O , а в реакции с аммиачным раствором оксида серебра – восстанавливается серебро.



Кетоны к действию этих окислителей инертны. Не окисляются они и кислородом воздуха. Только при действии более сильных окислителей (перманганат калия, дихромат калия) их удается окислить. При этом в молекуле кетона происходит разрыв углерод-углеродной связи и образуется смесь карбоновых кислот с меньшим числом атомов углерода по сравнению с исходным кетоном.



Биологическая роль и применение карбонильных соединений в ветеринарии и медицине. Альдегидная группа обуславливает наркотическое действие и дезинфицирующие свойства соединений.

Муравьиный альдегид (формальдегид) обладает способностью свертывать белки. Его 40 % водный раствор, называемый *формалином*, применяется в медицине как дезинфицирующее средство и как консервант анатомических препаратов. В ветеринарии применяют для дезинфекции различных объектов в форме 1 % раствора при ящуре, болезни Ауески, пастереллезе, роже свиней, пуллорозе; 4 % раствора – при чуме, оспе, сальмонеллезе. В форме 1 - 2 % раствора энтерально используют как противобродильное средство и антидот при отравлении мочевиной.

В промышленности формальдегид используется как исходное сырье для получения пластмасс (фенолформальдегидных смол) и для приготовления убитых противовирусных вакцин.

Уксусный альдегид при полимеризации трех молекул образует паральдегид, применяемый в медицинской практике как снотворное и успокаивающее средство. В промышленности уксусный альдегид используют для производства уксусной кислоты и в качестве сырья для синтеза многих органических веществ

Ацетон относится к *кетоновым телам*. Его содержание в организме животных повышается при *кетозах*. В бытовой практике используется в качестве растворителя ряда органических соединений. Применяется для получения хлороформа и иодоформа.

2.7. Карбоновые кислоты

Карбоновыми кислотами называются соединения, содержащие в своей структуре карбоксильную группу – **СООН**.

Общая структурная формула карбоновых кислот: R–СООН

В зависимости от числа карбоксильных групп различают *одно- и двухосновные карбоновые кислоты*.

По характеру связей между атомами углерода различают *предельные, непредельные и ароматические карбоновые кислоты*.

Номенклатура. При составлении названий карбоновых кислот по *заместительной номенклатуре* называют родоначальную структуру (в ациклических кислотах – главная углеродная цепь, в циклических – цикл) и добавляют суффикс *–овая кислота*. Для двухосновных кислот употребляется суффикс *–диовая кислота*. В непредельных кислотах, имеющих двойную связь, указывается суффикс *–ен*, а при наличии нескольких двойных связей - соответствующий множитель. Если в карбоновых кислотах имеются заместители, то их наличие отражают соответствующим префиксом, а местоположение - цифрой.

Среди карбоновых кислот широко распространены и *тривиальные названия*.

$\text{H}_3\text{C} - \text{COOH}$
этановая кислота (уксусная)

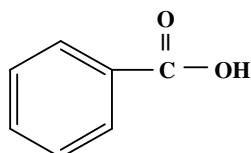
$\text{H}_3\text{C} - \text{CH} = \text{CH} - \text{COOH}$
бутен-2-овая кислота (кротоновая)

$\text{HOOC} - \text{COOH}$
этандиовая кислота (щавелевая)

$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C} = \text{C} - \text{COOH} \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$
2-метилпропен-2-овая кислота
(метакриловая)

$\text{HOOC} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{COOH}$
бутандиовая кислота (янтарная)

$\begin{array}{c} \text{HOOC} \quad \text{H} \\ \backslash \quad / \\ \text{C} = \text{C} \\ / \quad \backslash \\ \text{H} \quad \text{COOH} \end{array}$
бутен-2-диовая кислота (фумаровая)



бензойная кислота

Предельные одноосновные карбоновые кислоты

HCOOH муравьиная кислота (метановая)

$\text{CH}_3 - \text{COOH}$ уксусная кислота (этановая)

$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{COOH}$ пропионовая кислота (пропановая)

$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{COOH}$ бутановая кислота (масляная)

$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{COOH} \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$ 2-метилпропановая кислота (изомасляная)

$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_3 - \text{COOH}$ пентановая кислота (валериановая)

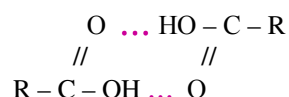
$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_4 - \text{COOH}$ гексановая кислота (капроновая)

$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{14} - \text{COOH}$ гексадекановая кислота (пальмитиновая)

$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{16} - \text{COOH}$ октадекановая кислота (стеариновая)

Изомерия предельных одноосновных карбоновых кислот структурная и обусловлена *разветвлением углеродной цепи*. Так, из вышеуказанных соединений структурными изомерами являются бутановая и 2-метилпропановая кислоты.

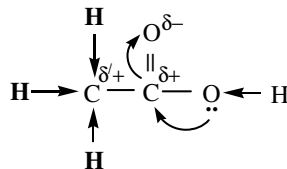
Физические свойства. Предельные одноосновные карбоновые кислоты имеют высокие температуры кипения. Так, у муравьиной кислоты она равна 101 °С, у уксусной 118 °С, у пропионовой 141 °С. Это объясняется способностью карбоновых кислот в жидком состоянии образовывать за счет межмолекулярных двойных связей *димеры*.



Низшие карбоновые кислоты ($\text{C}_1 - \text{C}_4$) – бесцветные жидкости, неограниченно растворимые в воде. Они легко перегоняются, особенно с водяным паром, поэтому их часто называют *летучими жирными кислотами*. Первые гомологи (муравьиная, уксусная, пропионовая кислоты) обладают резким раздражающим запахом, при попадании на слизистые оболочки вызывают ожоги). С увеличением гидрофобной части молекулы (органического ради-

кала R) растворимость в воде уменьшается. Высшие карбоновые кислоты (начиная с C₁₀) представляют собой твердые вещества, практически нерастворимые в воде. В спирте и эфире все кислоты хорошо растворимы.

Химические свойства карбоновых кислот обусловлены главным образом наличием карбоксильной группы, которая в отличие от оксогруппы и гидроксильной группы имеет более сложное строение. Качественное отличие состоит в том, что в пределах карбоксильной группы имеет место *сопряжение*.



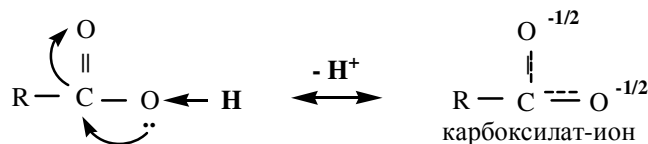
Сопряжение осуществляется за счет перекрывания p-орбитали атома кислорода гидроксильной группы с p-орбиталью атома углерода карбонильной группы. В результате происходит делокализация (обобществление) неподеленной пары электронов атома кислорода гидроксильной группы и электронов π -связи карбонильной группы, т.е. *p, π -сопряжение*.

Карбонильная группа выступает по отношению к –ОН группе в роли электроноакцептора, а –ОН группа к карбонильной за счет +M-эффекта – в роли электронодонора. Электронная плотность в *p, π -сопряженной* системе смещена в сторону электроотрицательного атома кислорода карбонильной группы, неподеленные пары электронов которого не могут участвовать в сопряжении. При таком электронном строении связь O←H оказывается сильно поляризованной, что обуславливает появление в карбоксильной группе *ОН-кислотного центра*.

Кроме того, в карбоксильной группе имеется *электрофильный центр*, которым является атом углерода. За счет +M-эффекта ОН-группы дефицит электронной плотности на атоме углерода карбоксильной группы значительно меньше, чем на атоме углерода карбонильной группы у альдегидов и кетонов. Поэтому карбоновые кислоты в отличие от альдегидов и кетонов труднее подвергаются нуклеофильной атаке.

Кислотные свойства карбоновых кислот связаны со способностью атомов водорода карбоксильной группы отщепляться в виде протона, что обусловлено полярностью связи O←H. Сила карбоновых кислот зависит от стабильности аниона, образующегося после отрыва протона. В свою очередь стабильность аниона определяется степенью делокализации отрицательного заряда: чем выше степень делокализации, тем стабильнее анион.

В карбоксилат-ионе отрицательный заряд не принадлежит какому-либо одному атому кислорода, а равномерно распределен (делокализован) между ними:



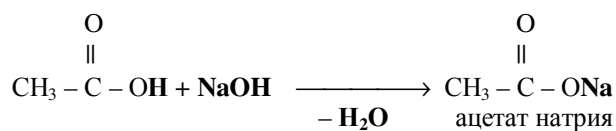
Благодаря полной делокализации заряда на двух электроотрицательных атомах кислорода карбоксилат-ион обладает довольно высокой стабильностью. Поэтому карбоновые кислоты значительно превосходят по кислотности спирты и фенолы.

Сила карбоновых кислот зависит от строения углеводородных радикалов и наличия в них заместителей. Электронодонорные заместители (например, радикалы) ослабляют кислотные свойства, а электроноакцепторные (например, галогены) – усиливают. Так, например 2,2-диметилпропановая кислота слабее пропановой кислоты. В то же время 2,2,2-трихлорэтановая кислота, известная как трихлоруксусная кислота (ТХУ), является более сильной по сравнению с этановой (уксусной) кислотой.

С увеличением длины углеводородного радикала у алифатических карбоновых кислот их сила ослабевает. Поэтому из предельных одноосновных карбоновых кислот наиболее сильной кислотой является муравьиная.

В водных растворах карбоновые кислоты диссоциированы. Кислая среда обнаруживается с помощью соответствующих индикаторов.

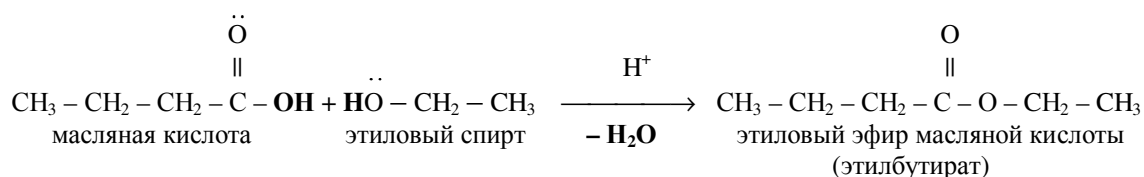
Кислотные свойства карбоновых кислот проявляются и при взаимодействии их со щелочами. При этом образуются соли (реакция нейтрализации).



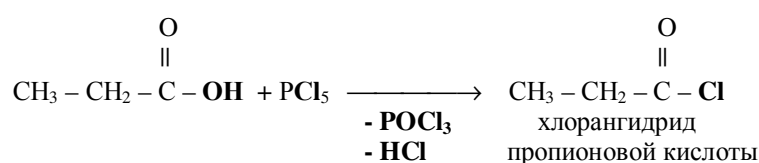
В целом карбоновые кислоты обладают сравнительно слабыми кислотными свойствами, поэтому их соли в водных растворах сильно гидролизуются. Карбоновые кислоты значительно слабее сильных минеральных кислот, которые способны вытеснять карбоновые кислоты из их солей.

Наиболее важную группу реакций карбоновых кислот составляют *реакции нуклеофильного замещения*.

При взаимодействии карбоновых кислот со спиртами в присутствии сильных минеральных кислот образуются *сложные эфиры*. Роль минеральной кислоты в реакции состоит в том, что ее протон атакует атом кислорода карбоксильной группы. Это приводит в свою очередь к увеличению электрофильности атома углерода. Молекула спирта присоединяется к активированной молекуле кислоты за счет неподеленной пары электронов на атоме кислорода гидроксильной группы.

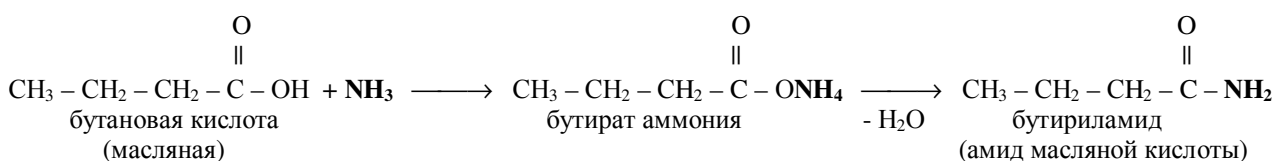


В реакции карбоновых кислот с пентахлоридом фосфора образуются *хлорангидриды*.

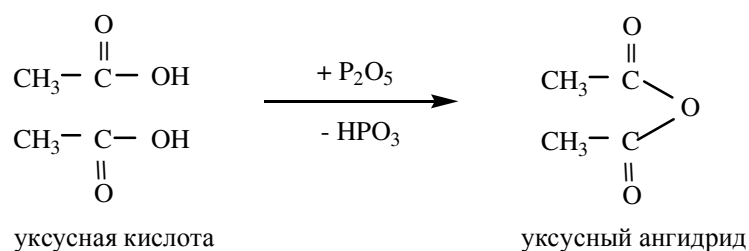


Хлорангидриды широко применяются в различных синтезах для ввода в молекулу вещества остатка карбоновой кислоты.

В реакции карбоновых кислот с аммиаком образуются аммонийные соли. Они представляют собой неустойчивые соединения, теряющие воду и превращающиеся в амиды.



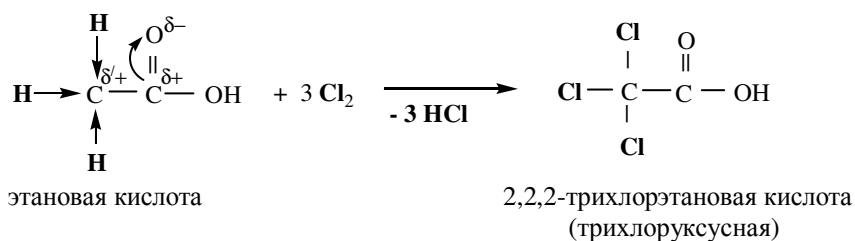
При взаимодействии карбоновых кислот между собой в присутствии оксида фосфора (V) образуются *ангидриды*.



Уксусный ангидрид используется для получения искусственных волокон (ацетатный шелк) и лекарственных веществ.

Реакции замещения атомов водорода в радикале

В результате проявления карбоксильной группой –I-эффекта увеличивается подвижность атомов водорода при α -углеродном атоме радикала. Это создает возможность замещения атомов водорода на атомы галогена.

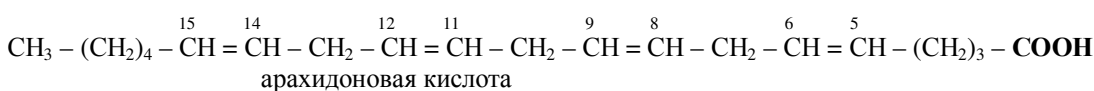
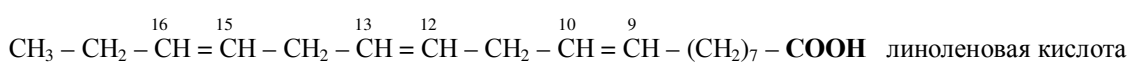
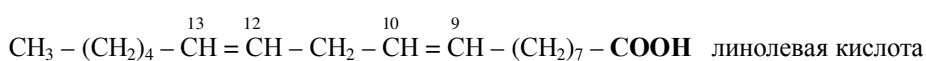
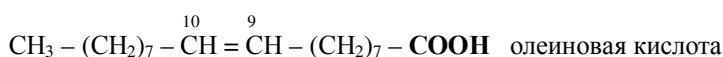
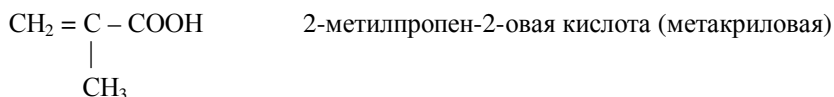


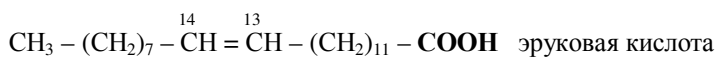
Трихлоруксусная кислота (ТХУ) используется в биохимических исследованиях для осаждения белков.

Необходимо также отметить, что введение атомов галогена в радикал усиливает кислотные свойства производных карбоновых кислот.

Реакция получения α -галогенопроизводных карбоновых кислот имеет важное значение, так как открывает путь к синтезу α -гидрокси- и α -аминокислот.

Непредельные одноосновные карбоновые кислоты

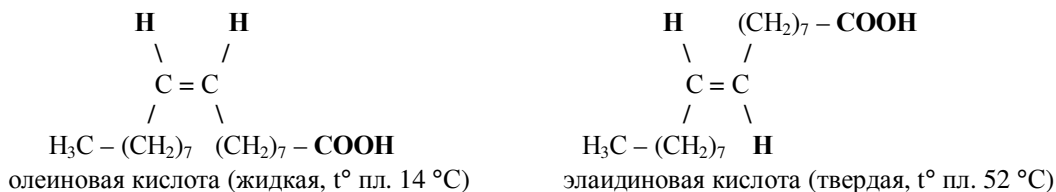




Для непредельных одноосновных карбоновых кислот характерна *структурная и пространственная изомерия*.

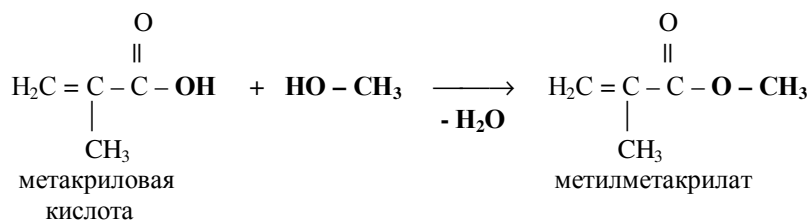
Примерами *структурных изомеров* являются *бутен-2-овая* (кротоновая) и *2-метилпропен-2-овая* (метакриловая) кислоты.

Олеиновая и элаидиновая кислоты - примеры *пространственных изомеров*.



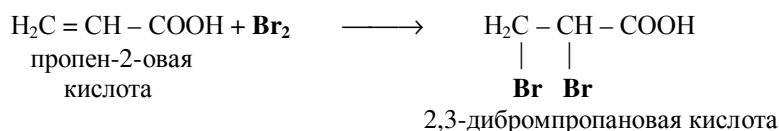
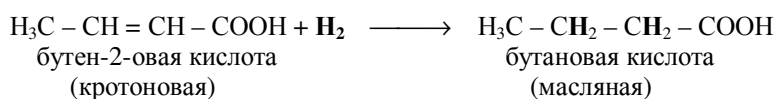
Олеиновая кислота, имеющая *цис-конфигурацию* двойной связи, входит в состав *липидов*, в то время как *элаидиновая кислота* с *транс-конфигурацией* двойной связи в *липидах* не содержится.

Для непредельных карбоновых кислот характерны *реакции замещения*, идущие с участием карбоксильной группы и *реакции присоединения* по двойной связи.

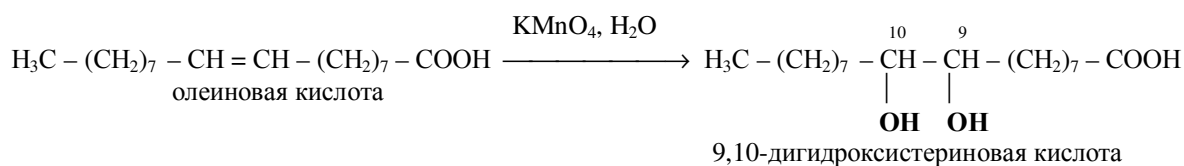


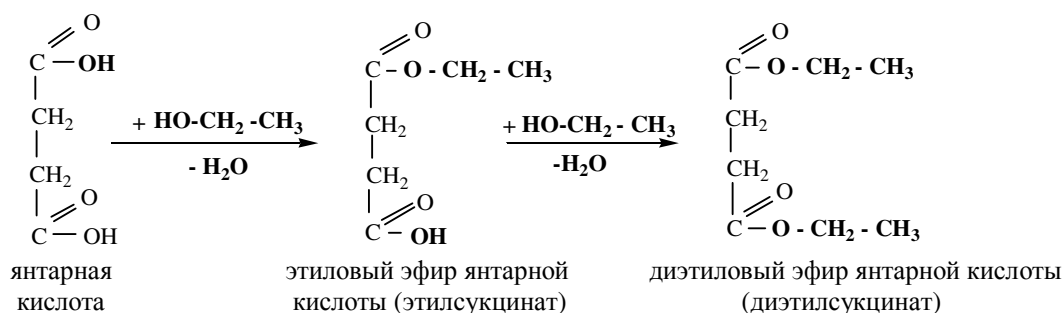
Полимеризация метилового эфира метакриловой кислоты позволяет *получить полиметилметакрилат* (плексиглас, органическое стекло), применяемый и в *медицине*.

При присоединении водорода и галогенов к непредельным кислотам образуются *предельные карбоновые кислоты* и их *галогенопроизводные* соответственно.



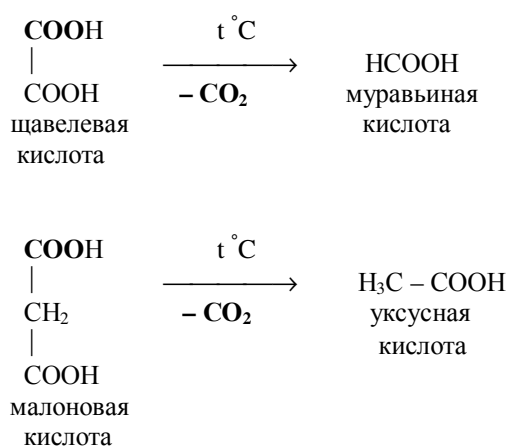
Окисление непредельных кислот в мягких условиях перманганатом калия по *двойным связям* приводит к образованию *гидроксипроизводных* соответствующих *предельных карбоновых кислот*.



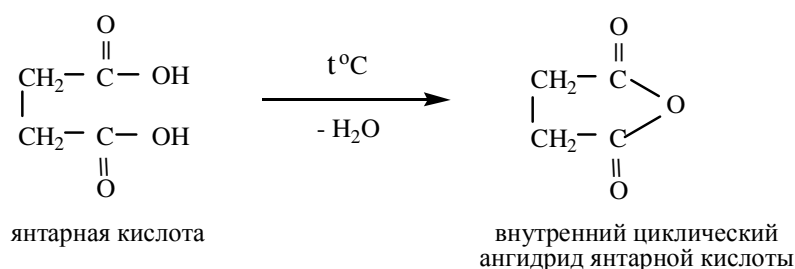


Специфические свойства предельных двухосновных карбоновых кислот

Первые представители гомологического ряда - щавелевая и малоновая кислоты – при нагревании подвергаются *декарбоксилированию* с образованием соответственно муравьиной и уксусной кислот.

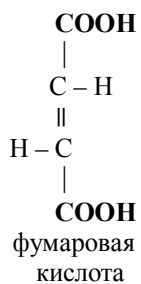
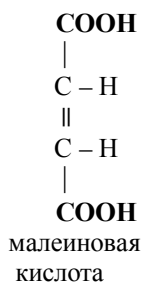


По мере удлинения углеродной цепи и удаления функциональных групп их взаимное влияние ослабевает, так как затухает *отрицательный индуктивный эффект*. Поэтому янтарная и глутаровая кислоты при нагревании не декарбоксилируются, а подвергаются *дегидратации* с образованием устойчивых циклических *ангидридов*.

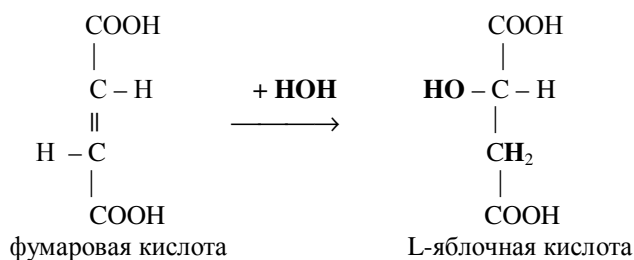
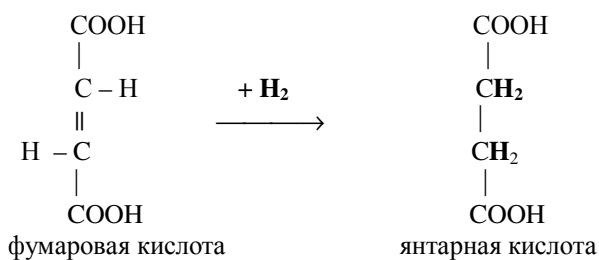


Непредельные двухосновные карбоновые кислоты

Одним из наиболее простых представителей данной группы является бутен-2-диовая кислота, существующая в виде двух пространственных изомеров: цис-изомера – малеиновой кислоты и транс-изомера - фумаровой кислоты.

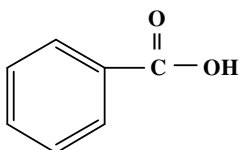


Восстановление малеиновой и фумаровой кислоты приводит к образованию янтарной кислоты, а гидратация (данная реакция протекает в организме человека и животных ферментативным путем) – к получению L-яблочной кислоты.

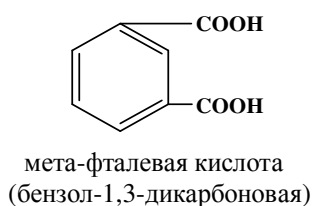
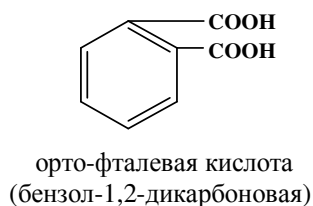


Ароматические карбоновые кислоты

Простейшим представителем ароматических одноосновных карбоновых кислот является *бензойная кислота*.



Ортофталевая (фталевая), мета-фталевая и пара-фталевая (терефталевая) кислоты относятся к двухосновным кислотам.



Пропионовая кислота образуется при сбраживании углеводов в рубце жвачных животных. Является одним из продуктов брожения лактозы при производстве некоторых видов сыров.

Масляная кислота имеет неприятный запах. Образуется при прогоркании жиров и в результате брожения лактозы при нарушении условий хранения молока и молочных продуктов. Соли и производные масляной кислоты называются *бутиратами*.

Пальмитиновая и стеариновая кислоты входят в состав липидов.

Олеиновая, линолевая, линоленовая и арахидоновая кислоты входят в состав липидов. Линолевая, линоленовая и арахидоновая кислоты относятся к полиненасыщенным жирным кислотам и составляют витаминоподобное соединение F, которое препятствует избыточному отложению холестерина на стенках сосудов. *Арахидоновая кислота* участвует в синтезе биологически активных соединений (простагландинов, простаглицлинов, тромбоксанов и лейкотриенов).

Эруковая кислота содержится в некоторых видах рапсового масла. Токсична для организма животных и человека.

Бензойная кислота широко распространена в природе. Она содержится в растительных смолах и в ягодах семейства брусничных – клюкве, бруснике, чернике. Бензойную кислоту применяют в качестве консерванта для пищевых продуктов, для синтеза некоторых лекарственных соединений, душистых веществ и красителей. *Бензоат натрия* используется в медицине как отхаркивающее и слабо дезинфицирующее средство. В ветеринарии применяется также как антимикробное и фунгицидное средство (в форме 6 % мази).

Соли *щавелевой кислоты (оксалаты* натрия и калия) используют в качестве антикоагулянтов для получения плазмы крови. Некоторые из солей (например, оксалат кальция) трудно растворимы в воде и часто образуют камни в почках и мочевом пузыре.

Янтарная кислота является промежуточным метаболитом многих биохимических процессов в организме человека и животных. Ее соли и производные имеют название *сукцинаты*.

Фумаровая кислота участвует в обменных процессах в организме животных и человека, является промежуточным метаболитом в цикле трикарбоновых кислот и в орнитиновом цикле синтеза мочевины.

Фталевая кислота при нагревании превращается во фталевый ангидрид, который в реакции с фенолом используется для получения *фенолфталеина*, применяемого в качестве слабительного средства в медицине, а в аналитической химии как индикатора, имеющего в щелочной среде (интервал pH 8 – 10) малиновую окраску.

Терефталевая кислота используется для производства синтетического волокна *лавсан*.

2.8. Контрольные вопросы и задания по разделу:

«Строение и реакционная способность основных классов органических соединений»

1. Напишите уравнение реакции взаимодействия этилового спирта с хлороводородом. Укажите медико-биологическое значение продукта реакции.
2. Приведите уравнение реакции образования диэтилового эфира. Каково применение данного соединения в ветеринарной медицине?
3. Напишите уравнение реакции взаимодействия пропанола-2 и уксусной кислоты.
4. Приведите уравнение реакции дегидратации бутанола-1.
5. Какие соединения образуются при окислении первичных и вторичных спиртов? Ответ поясните соответствующими уравнениями реакций.
6. Какая реакция является качественной на многоатомные спирты? Приведите химизм данного процесса на примере этиленгликоля.

7. Постройте структурные формулы рибитола, ксилита и сорбита. Каково медико-биологическое значение этих соединений?
8. Приведите уравнение реакции взаимодействия глицерина с тремя молекулами пальмитиновой кислоты. Укажите название продукта реакции и его биологическую роль.
9. Напишите уравнение реакции между глицерином и тремя молекулами азотной кислоты. В чем состоит медико-биологическая роль продукта данной реакции?
10. Постройте структурные формулы фенола, о-, м- и п-крезола, пирокатехина, резорцина, гидрохинона и укажите медико-биологическое значение этих веществ.
11. Объясните, почему в отличие от одноатомных спиртов фенолы могут реагировать со щелочами. Напишите уравнение реакции взаимодействия фенола с гидроксидом натрия и поясните механизм данной реакции с учетом электронных эффектов в молекуле фенола.
12. Приведите уравнение реакции между фенолом и тремя молекулами азотной кислоты. Объясните механизм реакции с учетом соответствующих электронных эффектов.
13. Приведите структурные формулы гистамина и серотонина? К какому классу органических соединений относятся данные вещества и в чем состоит их биологическая роль?
14. В чем заключается разница при взаимодействии первичных и вторичных аминов с азотистой кислотой? Ответы подтвердите уравнениями соответствующих реакций на примере пропиламина и дипропиламина.
15. Какова биологическая роль тиолсодержащих соединений? Постройте структурные формулы дигидролипоевой кислоты, цистеина, глутатиона, пеницилламина и унитиола.
16. Какие соединения образуются при восстановлении альдегидов и кетонов? Приведите механизм реакций восстановления масляного альдегида и бутанона-2.
17. Каково отношение альдегидов и кетонов к окислению? Ответы поясните соответствующими уравнениями реакций.
18. Приведите формулы предельных и непредельных карбоновых кислот, входящих в состав жиров.
19. Постройте структурные формулы олеиновой и элаидиновой кислот. В чем заключаются различия в строении и биологической роли данных соединений?
20. Напишите уравнение реакции взаимодействия масляной кислоты и этилового спирта.
21. Приведите уравнение реакции щавелевой кислоты с двумя молекулами гидроксида калия? Каково применение продукта данной химической реакции?
22. Расположите масляную, щавелевую, муравьиную, янтарную и уксусную кислоту в порядке убывания их силы? Ответ аргументированно поясните.
23. Что происходит при нагревании с малоновой и янтарной кислотами? Ответы подтвердите соответствующими уравнениями реакций.
24. Напишите уравнение реакции гидратации fumarовой кислоты. В чем состоит биологическая роль данного процесса?
25. Приведите уравнение реакции между бензойной кислотой и гидроксидом натрия. Каково медико-биологическое значение продукта реакции?

2.9. Примерные тестовые задания по разделу:

«Строение и реакционная способность основных классов органических соединений»

1. Тетрахлорметан:

- +гепатотропный яд
- анастетик
- +антигельминтик
- +растворитель некоторых органических веществ
- антикоагулянт

2. Трийодметан:

- +антисептик
- антикоагулянт
- консервант
- инсектицид
- анастетик

3. При взаимодействии 2-бромбутана с водой образуются:

- бутанол-1
- бутен-1
- бутен-2
- +бутанол-2
- +бромоводород

4. Гомологический ряд предельных одноатомных спиртов составляют:

- этиленгликоль
- +пропиловый спирт
- глицерин
- +этиловый спирт
- +метиловый спирт

5. При окислении пропанола-2 образуются:

- пропан
- +вода
- пропанол-1
- пропаналь
- +пропанон

6. При взаимодействии двух молекул этилового спирта образуется:

- этиленгликоль
- бутан
- +диэтиловый эфир
- этилацетат
- уксусный ангидрид

7. Реакция этерификации:

- взаимодействие двух спиртов
- взаимодействие двух альдегидов
- взаимодействие двух кетонов
- +взаимодействие спирта с карбоновой кислотой
- взаимодействие двух кислот

8. Многоатомными спиртами являются:

- +ксилит
- +рибитол
- +сорбит
- этанол
- +глицерин

9. Глицерин:

- +многоатомный спирт
- одноатомный спирт
- +входит в состав жиров
- входит в состав витамина А
- входит в состав глюкозы

10. Качественная реакция на многоатомные спирты:

- взаимодействие с карбоновыми кислотами
- взаимодействие с металлическим натрием
- +взаимодействие с гидроксидом меди
- взаимодействие с аммиачным раствором оксида серебра
- взаимодействие с бромной водой

11. Качественная реакция на фенолы:

- С гидроксидом натрия
- С гидроксидом меди
- С уксусной кислотой
- +С хлоридом железа
- С хлоридом кальция

12. Антибактериальным действием обладают:

- +фенол
- +ортокрезол
- +паракрезол
- +метакрезол
- +резорцин

13. Представители двухатомных фенолов:

- +гидрохинон
- оксигидрохинон
- +резорцин
- +пирокатехин
- пирогаллол

14. При взаимодействии предельных альдегидов с водородом образуются:

- карбоновые кислоты
- простые эфиры
- вторичные спирты
- +первичные спирты
- кетоны

15. Формалин - это:

- 15 – 20%-ный раствор метаноля в воде
- +35 – 40%-ный раствор метаноля в воде
- 35 – 40%-ный раствор этаноля в воде
- 35 – 40%-ный раствор этанола в воде
- 35 - 40%-ный раствор метаноля в спирте

16. Продукт взаимодействия масляной кислоты с этанолом называется:

- этилацетат
- +этилбутират
- этилформиат
- бутилацетат
- бутилформиат

17. Выберите из следующих карбоновых кислот предельные:

- олеиновая
- +уксусная
- +масляная
- +стеариновая
- +пальмитиновая

18. Какие из приведенных карбоновых кислот являются непредельными:

- пальмитиновая
- пропионовая
- +линолевая
- +олеиновая
- +арахидоновая

19. В состав жиров входят следующие карбоновые кислоты:

- +масляная
- уксусная
- +стеариновая
- янтарная
- +линолевая

20. Более сильной кислотой является:

- уксусная
- масляная
- +щавелевая
- янтарная
- капроновая

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Акриловая кислота 43
Аллиловый спирт 23, 26
Аланин 8, 13
Анилин 32, 33
Арахидоновая кислота 43, 49
Ацетаты 49
Ацетон (пропанон, диметилкетон) 11, 12, 25, 34, 36, 38, 39
- Бензоат натрия 48, 49
Бензойная кислота 40, 47–49
Бензол 6, 14
Бензохинон 29
Биогенные амины 32, 33
Бутираты 49
- β -Гидроксимасляная кислота 45
Гидрохинон 27, 30
Гистамин 32, 33
Глицерин 23, 25, 26
Гомологический ряд 8
Глутаровая кислота 45
Глутатион 31
- Дигидролипоевая кислота 31
Дисульфиды 31
- Заместитель 9
- Изомерия:
 геометрическая (цис-транс) 12
 оптическая 13
 структурная 12
- Иодоформ 19, 22
- Кверцетин 30
Конденсация:
 альдольная 37
 кетоновая 37
Кофермент ацилирования 31
Крезолы 27, 29
Кроновая кислота 40, 44, 45
Ксилит 23, 26
- Линолевая кислота 43, 49
Линоленовая кислота 43, 49
- Тетрахлорметан
(четырёххлористый углерод) 19, 22
- Малеиновая кислота 12, 47
Малоновая кислота 45, 46
Масляная кислота 40, 42, 49
Метакриловая кислота 40, 44
Метиловый спирт 22, 26
Молочная кислота 13
Муравьиная кислота 40, 46, 48
- Муравьиный альдегид (формальдегид)
34, 36, 39
- Нитроглицерин 25
Номенклатура:
 радикально-функциональная 11
 заместительная 8–11
 тривиальная 8
- Нитрозамины 33
Нуклеофилы 16
- Оксалаты 49
Олеиновая кислота 43, 49
Оксигидрохинон 27
Органический радикал 9
- Пальмитиновая кислота 40, 49
Пеницилламин 31
Перфторуглеводороды 22
Пикриновая кислота 28
Пиридин 7
Пиримидин 7
Пирогаллол 27, 30
Пирокатехин 27, 29
Пиррол 6
Плексиглас 44
Пропионовая кислота 40, 42, 49
- Радикалы 16
Резорцин 27, 30
Рибитол 23, 26
Родоначальная структура 8
- Серотонин 32, 33
Сивушные масла 26
Сорбит 23, 26
Стеариновая кислота 40, 49
Сукцинаты 49

Тимол 27, 29
Тиофен 6
Трихлоруксусная кислота 43
Трихлорэтилен 19, 22

Уксусная кислота 18, 39–43, 46, 48
Уксусный альдегид 18, 34–39
Уксусный ангидрид 43
Унитиол 31

Фенол 15, 21, 27–29
Флороглюцин 27, 30
Формалин 39
Фталевые кислоты 47, 49
Фторотан 19, 22
Фумаровая кислота 12, 40, 47, 49
Функциональная группа 7
Фуран 6

Хлороформ 19, 21
Хлоральгидрат 38

Цистеин 31

Щавелевая кислота 40, 45, 46, 49

Этиленгликоль 8, 23
Этиловый спирт 8, 11, 16, 22, 24–26
Этилхлорид (хлорэтан) 19, 21
Электрофилы 16
Эруковая кислота 44, 49
Эффект:
 Индуктивный 13,14
 Мезомерный 14–16
Янтарная кислота 40, 45–47, 49
Яблочная кислота 13, 47

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беликов, В.Г. Фармацевтическая химия: учебник / В.Г. Беликов. – 4-е изд. – М.: МЕДпресс-информ, 2007. – 624 с.
2. Березов, Т.Т. Биологическая химия: учебник / Т.Т. Березов. Б.Ф. Коровкин. – 3-е изд. – М.: Медицина, 2007. – 704 с.
3. Биохимия: учебник / Т.Л. Алейникова [и др.]; под ред. Е.С. Северина. – 4-е изд. – М.: ГЭОТАР-Мед, 2007. – 784 с.
4. Ветеринарная фармакология: учеб. пособие / Н.Г. Толкач [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – 686 с.
5. Грандберг, И.И. Органическая химия: учебник / И.И. Грандберг. – М.: Высшая школа, 1987. – 480 с.
6. Ким, А.М., Органическая химия: учеб. пособие / А.М. Ким. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2002. – 971 с.
7. Лекарственные средства в ветеринарной медицине: справочник / А.И. Ятусевич [и др.]. – Минск: Техноперспектива, 2006. – 403 с.
8. Овчинников, Ю.А. Биоорганическая химия / Ю.А. Овчинников. – М.: Просвещение, 1987. – 815 с.
9. Органическая химия: учебник / А.П. Лузин [и др.]; под ред. Н.А. Тюкавкиной. – 2-е изд. – М.: Медицина, 1998. – 496 с.
10. Руководство к лабораторным занятиям по биоорганической химии / Н.Н. Артемьева [и др.]; под ред. Н.А. Тюкавкиной; 3-е изд. – М.: Дрофа, 2006. – 318 с.
11. Степаненко, Б.Н. Курс органической химии: учебник / Б.Н. Степаненко. – 3-е изд. – М.: Высшая школа, 1979. – 432 с.
12. Субботин, В.М. Современные лекарственные средства в ветеринарии / В.М. Субботин, С.Г. Субботина, И.Д. Александров. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2000. – 592 с.
13. Тюкавкина, Н.А. Биоорганическая химия: учебник / Н.А. Тюкавкина, Ю.И. Бауков. – 4-е изд. – М.: Дрофа, 2005. – 542 с.
14. Фармакология: учебник / В.Д. Соколов [и др.]; под ред. В.Д. Соколова. – М.: Колос, 1997. – 543 с.

Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины (до 01.10.1994 года – Витебский «Знак Почета» ветеринарный институт имени Октябрьской революции) была открыта в ноябре 1924 года и является одним из ведущих аграрных вузов страны. За время своего существования вуз обучил и направил на производство свыше 30 тысяч специалистов.

Основными учебными подразделениями академии являются: факультеты ветеринарной медицины, зооинженерный, заочного обучения, повышения квалификации, довузовской подготовки, аграрный колледж и филиалы в г. Речице Гомельской области и г. Пинске Брестской области. В академии работает центральная научно-исследовательская лаборатория, научно-исследовательский институт прикладной ветеринарии и биотехнологии, лаборатория информационной технологии.

В академии работает 330 преподавателей, среди них 147 кандидатов и 24 доктора наук. При академии открыты аспирантура и докторантура по ветеринарным, сельскохозяйственным и биологическим специальностям, работают советы по защите диссертаций на получение ученой степени доктора и кандидата наук по пяти научным специальностям.

Ведущим подразделением академии является факультет ветеринарной медицины, в который входят 18 кафедр, 6 клиник, виварий, ветеринарная лечебница с учебными классами в деревне Подберезье и учебная база на Витебском мясокомбинате. На факультете открыты специализации по ветеринарно-санитарной экспертизе, токсикологии, ветеринарной бактериологии, ветеринарной гинекологии и биотехнологии размножения, болезням птиц, болезням рыб и пчел.

В состав зооинженерного факультета входят 10 кафедр. Его производственной основой являются базовые хозяйства, племпредприятия области, животноводческие комплексы. С 1996 года на факультете открыта специализация по племенному делу.

В 1959 году был открыт факультет заочного обучения, который включает ветеринарное и зооинженерное отделения. На данном факультете подготовлено свыше 6000 специалистов сельского хозяйства с высшим образованием.

С 1966 года в академии работает факультет повышения квалификации и переподготовки кадров. Основной его задачей является повышение квалификации и переподготовка специалистов ветеринарного и зоотехнического профиля. Учебные планы содержат новейшие достижения ветеринарной и зоотехнической науки, что позволяет направить учебный процесс на изучение оптимальных вариантов развития животноводства.

В академии интенсивно развивается учебно-материальная база. Вступил в строй новый учебно-лабораторный корпус, библиотека комплектуется учебной и художественной литературой, кафедры академии пополняются новым современным учебным и научным оборудованием.

Кафедра химии УО ВГАВМ имени профессора Ф.Я. Беренштейна в ее современном виде сформирована в апреле 1998 года.

Заведующий кафедрой – доцент, кандидат биологических наук В.П.Баран. На кафедре в настоящее время работают также профессор, доктор биологических наук В.М.Холод (возглавлял кафедру до июля 2006 года); доценты, кандидаты биологических наук И.Ю.Постраш, И.В.Котович, Д.В.Елисейкин, Л.Н.Громова; доцент, кандидат сельскохозяйственных наук И.В.Сучкова; старшие преподаватели Н.В.Румянцева, С.Л.Радченко, Т.В.Пипкина, О.В.Господарик, ассистенты С.И.Сидорова и Ю.Г.Соболева.

На кафедре ведется преподавание следующих дисциплин: «Неорганическая химия с основами аналитической» (1 ФВМ и 1 ФВМ, НИСПО), «Общая химия с основами аналитической» (1 ЗИФ и 1 ЗИФ, НИСПО), «Органическая и биологическая химия» (1 и 2 ФВМ; 1 и 2 ФВМ, НИСПО), «Биохимия мяса и молока» (3 ФВМ, специализация «Ветсанэкспертиза»).

Кафедра ведет большую учебно-методическую работу, обеспечивая учебный процесс учебно-методическими пособиями и компьютерными программами. Впервые в Республике Беларусь в 2005 году издано учебное пособие «Клиническая биохимия сельскохозяйственных животных» (В.М.Холод, А.П.Курдеко).

За последние 5 лет преподавателями кафедры опубликовано 15 учебно-методических пособий, среди них «Биохимия гормонов» (2002 год; И.В.Котович, Н.Ю.Германович); «Биохимия витаминов» (2004 год; Н.Ю.Германович, Н.В.Румянцева, И.В.Котович, В.П.Баран), «Практикум по общей химии с основами аналитической для студентов заочной формы обучения» (В.М.Холод и др.), «Основы динамической биохимии» (2005 год; И.В.Котович, В.П.Баран, Н.В.Румянцева), «Общая химия с основами аналитической» (2006 год; В.М.Холод и др.), «Химия и биология гетерофункциональных соединений» (2006 год; И.В.Котович, Д.В.Елисейкин), «Биохимия гетероциклических соединений» (2007 год; И.В.Котович, Д.В.Елисейкин), «Биохимия водно-минерального обмена» (2007 год; О.П.Позывайло, Д.В.Елисейкин, Д.Т.Соболев).

Сотрудники кафедры активно занимаются научно-исследовательской работой. Область научных исследований – «Биохимическая адаптация обмена веществ растущих и продуктивных животных к новым промышленным технологиям, нарушения метаболизма и способы его коррекции». С 2002 по 2007 годы на кафедре защищено 6 кандидатских диссертаций: Д.В.Елисейкин, И.Ю.Постраш, И.В.Котович, Л.Н.Громова, В.П.Баран, Д.Т.Соболев, из них 5 последних – под руководством доктора биологических наук, профессора В.М.Холода. Заканчивают выполнение диссертационных работ С.Л.Радченко, Н.В.Румянцева и Ю.Г. Соболева.

В.М.Холод является соавтором практического пособия «Методы диагностики болезней животных» (2005 год).

За последние 5 лет сотрудниками кафедры опубликовано 80 статей, в том числе 20 с участием студентов и 3 внедрения (2002 г. - В.М.Холод, И.Ю.Постраш, - «Рекомендации по диагностике и профилактике нарушений обмена железа у крупного рогатого скота», 2003 г. - И.В.Котович, В.П.Баран, В.М.Холод и др. - «Методические указания по контролю за состоянием обмена веществ у цыплят-бройлеров»; 2005 г. - А.А.Мацинович, А.П.Курдеко, О.П.Позывайло «Определение микроэлементов атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией и использованием эффекта Зеермана в крови, тканях организма животных при диагностике микроэлементозов: Методические указания для лабораторий ветеринарного контроля и исследовательских биохимических лабораторий»).

При кафедре работает научно-исследовательский студенческий кружок, участники которого регулярно выступают на внутривузовских и международных конференциях. Студенческие команды академии, в подготовке которых активное участие принимали сотрудники кафедры химии, неоднократно побеждали и занимали призовые места в международных олимпиадах по биологии и химии.

Учебное издание

Котович Игорь Викторович
Елисейкин Дмитрий Владимирович
Позывайло Оксана Петровна

**ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРОЕНИЯ И РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ
ОСНОВНЫХ КЛАССОВ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск В.П. Баран
Технический редактор Р.И. Тихонова
Компьютерный набор И.В. Котович
Верстка В.И. Чеушева
Корректор Д.А. Маринич

Подписано в печать 30.06.08 Формат 60×90 1/16 Бумага офсетная
Гарнитура Times New Roman. Ризография.
Усл. печ.л. 3,56. Уч.-изд. л. 3.4. Тираж 400 экз. Заказ № 694.

Издатель и полиграфическое исполнение УО «Витебская ордена «Знак Почета»
государственная академия ветеринарной медицины»

ЛИ № : 02330/0133019 от 30.04.2004 г.
210026, г. Витебск, ул. 1-я Доватора, 7/11.
тел. 8 (0212) 35-99-82.

ISBN 978-985-512-123-8



9 789855 121238