

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

«Воронежский государственный аграрный университет  
имени императора Петра I»

В.В. Фролова,  
О.В. Дьяконова

# **ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ**

**(Учебное пособие)**

для бакалавров агрономических факультетов  
сельскохозяйственных вузов

Воронеж  
2016

Печатется по решению редакционно-издательского совета  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет  
им. императора Петра I»

УДК 547 (075)  
ББК 24.2 я 7  
Ф 912

Рецензенты:

кандидат химических наук, доцент С. И. Алферова (ВГПУ),  
доктор биологических наук, профессор А. И. Илларионов (ВГАУ)

**Фролова В.В., Дьяконова О.В.**

**Ф 912** Органическая химия: учебное пособие для бакалавров агрономических факультетов сельскохозяйственных вузов. Воронеж: ФГБОУ ВО ВГАУ, 2016. – 235с.

Учебное пособие соответствует программе бакалавриата по органической химии и предназначено для бакалавров сельскохозяйственных вузов очной и заочной (включая дистанционную) форм обучения по направлениям: 35.03.05 «Агрономия», 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение».

В основу построения материала положен принцип классификации органических соединений по функциональным группам. Учебное пособие состоит из трех разделов.

В разделе «Теоретические основы органической химии» в доступной форме кратко изложены основные теоретические положения, даны представления о строении органических веществ, видах связей, типах и механизмах органических реакций.

В разделе «Классы органических соединений» описаны наиболее важные способы получения и свойства органических соединений, их биологическое значение и практическое применение с учетом экологических проблем.

Особое внимание уделено природным соединениям, рассмотренным в разделе «Гетерофункциональные соединения» (оксикислотам, белкам, углеводам, нуклеиновым кислотам), которые составляют основу жизнедеятельности растительных и животных организмов, пищевых и других продуктов переработки сельскохозяйственного сырья.

В приложении приведены формулы и названия наиболее важных представителей классов органических соединений.

Табл. 2. Ил. 17. Библиогр.: 8 назв.

© Фролова В.В., Дьяконова О.В., 2016

© ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016

## Предисловие

В настоящее время нет ни одной отрасли народного хозяйства, не связанной так или иначе с органической химией: пищевая, деревоперерабатывающая, лакокрасочная, топливная промышленность, сельское хозяйство и др. Органические вещества – это продукты питания, а также одежда, обувь, топливо, строительные материалы, каучуки, резина, лаки, краски, пластмассы, волокна, красители, лекарства, пестициды и т.д.

Современная технология переработки сельскохозяйственного сырья и получения пищевых продуктов, лекарственных препаратов, пестицидов базируется на глубоком знании химических и биохимических процессов, протекающих на всех этапах производства.

Кроме того, органические вещества являются материальными носителями жизни на Земле. Каждый живой организм содержит десятки органических соединений, в том числе таких сложных, как белки, липиды, углеводы, нуклеиновые кислоты, гормоны, витамины, которые находятся в постоянных взаимопревращениях, обеспечивающих его жизнедеятельность. Эти превращения происходят в соответствии с закономерностями, определяющими свойства различных классов органических соединений.

Предлагаемый учебный материал соответствует программе бакалавриата по органической химии и предназначен для бакалавров сельскохозяйственных вузов очной и заочной (включая дистанционную) форм обучения по направлениям: 35.03.05 «Агротомия», 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение».

Цель изучения органической химии – формирование у будущих специалистов представления о роли и месте органической химии в ряду биологических и специальных дисциплин, приобретение конкретных знаний о строении, свойствах органических соединений и путях их использования в практической деятельности и производстве, а также развитие у студентов интереса к познавательной деятельности и потребности к самообразованию.

В основу построения материала положен принцип классификации органических соединений по функциональным группам. Учебное пособие состоит из трех разделов.

В разделе «Теоретические основы органической химии» в доступной форме кратко изложены основные теоретические положения. Даны представления о строении органических веществ, о видах связей, типах и механизмах органических реакций.

В разделе «Классы органических соединений» рассмотрены наиболее важные способы получения и свойства органических соединений, их биологическое значение и практическое применение с учетом экологических проблем.

Раздел «Гетерофункциональные соединения» посвящен природным соединениям (оксикислотам, углеводам, белкам, аминокислотам, гетероциклам, нуклеиновым кислотам).

Особое внимание в пособии уделено органическим соединениям, составляющим основу пищевых и других продуктов переработки сельскохозяйственного сырья (карбоновым кислотам, жирам, белкам, углеводам, витаминам и др.).

# Введение

## Предмет органической химии

**Органическая химия** – это наука, изучающая соединения углерода, называемые «органическими». Название «органические соединения» и «органическая химия» произошли от слова «организм», т.к. большинство органических веществ были выделены из живых организмов.

В настоящее время органическая химия изучает все соединения, содержащие атом углерода, независимо от источников их получения (из природных продуктов или синтетическим путем). В связи с этим органическую химию можно определить как «химию соединений углерода».

Все специфические особенности органических соединений проявляют уже так называемые углеводороды – вещества, состоящие из углерода и водорода. Все остальные более сложные органические соединения можно рассматривать как производные углеводородов, а органическую химию можно назвать «химией углеводородов и их производных».

Причины выделения органической химии в самостоятельную науку следующие:

1) число известных органических соединений (около 20 млн) намного больше числа соединений всех остальных элементов. В настоящее время известно более 700 тыс. неорганических соединений, тогда как примерно 200 тыс. новых органических соединений получают ежегодно;

2) органические вещества в силу их многообразия имеют важное практическое и биологическое значение;

3) имеются существенные различия в свойствах и реакционной способности органических и неорганических соединений, что привело к развитию специфических методов исследования органических веществ.

Тем не менее, необходимо рассматривать органическую химию в тесной взаимосвязи с другими науками: неорганической, аналитической, физической и коллоидной химией, а также с физикой и математикой.

Органическая химия лежит в основе таких наук, как биохимия и физиология растений и животных. Изучение целого ряда специальных дисциплин, таких как агрохимия, почвоведение, защита растений, микробиология, фармакология, пищевая химия, технология переработки и экспертиза сельскохозяйственной продукции и др., базируется на знаниях процессов, идущих с участием органических соединений.

Поэтому органическая химия по праву является фундаментом для подготовки специалистов высшей квалификации, формирует у них биологическое мышление.

### **Значение органической химии**

Органическая химия имеет важное биологическое и практическое значение и тесно связана с повседневной жизнью современного общества, с мировыми проблемами человечества. Из органических веществ состоят пища, топливо, одежда, обувь, мебель и т.п. Многие задачи современной техники могут быть решены лишь при использовании новых синтетических материалов (высокомолекулярных соединений) – пластмасс, синтетических волокон, органического стекла, каучуков.

Сельскому хозяйству органическая химия дает удобрения, пестициды всех видов (гербициды, инсектициды, регуляторы роста и др.), обеспечивающие высокую урожайность растений и продуктивность с/х животных.

Современная пищевая химия не может успешно развиваться без использования консервантов, пищевых красителей, вкусовых и душистых добавок.

Велико значение органической химии и для обороны страны.

Однако с уровнем развития органической химии связаны и дополнительные комфорт в жизни человека, и рост экологических проблем, т.к. органические соединения – это, с одной стороны, синтетические красители, волокна, полимерные материалы, душистые и лекарственные вещества, но с другой стороны, – это наркотики, канцерогены, боевые отравляющие вещества.

**Важнейшими источниками** органических соединений являются нефть, уголь, природные газы, сланцы, торф и другие ископаемые.

Нефть – это смесь, главным образом, углеводородов всех видов, природный газ – смесь предельных углеводородов. Каменный уголь, кроме углерода, включает смесь органических веществ, содержащих кислород, азот, серу. Большое количество органических соединений получают из растительных и животных организмов и переработкой древесины.

**Методы выделения, очистки и анализа** органических соединений весьма многообразны в силу разнообразия и специфики свойств органических веществ. К наиболее общим методам относятся методы экстракции, кристаллизации, возгонки (сублимации) и фракционной перегонки, а также хроматографические методы.

Для определения состава органических соединений используется качественный анализ.

Органические соединения, кроме углерода, содержат и другие элементы, так называемые «органогены»: H, O, N, S, NaI, P и некоторые металлы. Общий принцип качественного анализа – это превращение элементов в известные неорганические вещества путем сжигания или сплавления и их открытие с помощью методов неорганической и аналитической химии.

Количественный анализ позволяет определить количественное соотношение элементов в молекуле органического соединения.

Для установления структуры органического вещества широко применяются физико-химические методы исследования, такие как оптическая (УФ- и ИК-) спектроскопия, методы ядерного магнитного резонанса (ЯМР) и газожидкостной хроматографии (ГЖХ), а также молекулярная масс-спектрометрия.

## Раздел I

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

### Теория химического строения А.М. Бутлерова

Теория химического строения А.М. Бутлерова была сформулирована в 1861г. на основе важнейших открытий, сделанных ранее, таких как понятие валентности химических элементов (Франкланд), положение о четырехвалентности атома углерода (Кольбе, Купер), способности атомов углерода соединяться между собой в цепи открытого и замкнутого строения (Кекуле, Купер), система изображения строения химических соединений с помощью черточек (Купер).

Основные положения теории А.М. Бутлерова следующие:

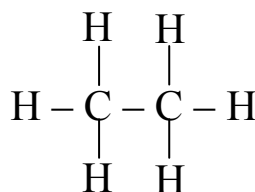
1. В молекуле веществ существует определенный порядок связей атомов, называемый химическим строением.

2. Строение молекулы вещества выражается определенной формулой, присущей данному веществу и отражающей как его строение, так и его свойства. Существуют разные способы изображения формул органических соединений:

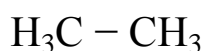
общая формула



полная формула

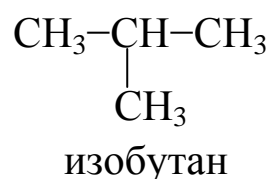
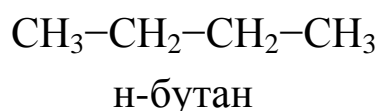


сокращенная формула



3. Различное строение при одном и том же составе и молекулярной массе называется «изомерией», а соединения, имеющие одну общую формулу, но разное строение, – «изомерами». Например, формуле  $C_4H_{10}$  соответствуют два изомера с нормальным и разветвленным строением цепи:





4. Химические свойства вещества зависят от его состава и строения, вследствие этого, изучая химические свойства вещества, можно установить его строение и, наоборот, зная строение вещества, можно предположить его химические свойства. Изучение зависимости «строение - свойства» является ключевой в теоретической и прикладной органической химии.

5. Атомы в молекуле, связанные как непосредственно, так и через другие атомы, оказывают взаимное влияние друг на друга, что изменяет их химический характер и реакционную способность вещества.

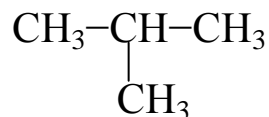
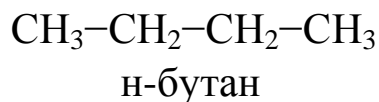
Теория А.М. Бутлерова имела важное значение, т.к. признавала познаваемость внутреннего строения молекул и давала возможность предсказать новые, еще неизвестные соединения, которые были получены впоследствии. В дальнейшем эта теория получила развитие и дополнения.

## Виды изомерии органических соединений

### 1. Структурная изомерия:

а) изомерия углеродной цепи (скелета):

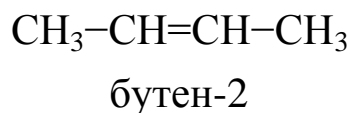
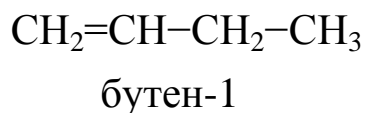
$\text{C}_4\text{H}_{10}$ :



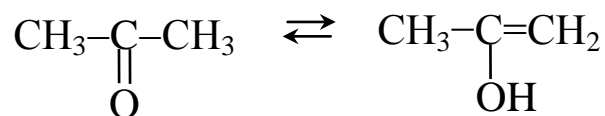
изобутан

б) изомерия положения кратной (двойной или тройной) связи:

$\text{C}_4\text{H}_8$ :

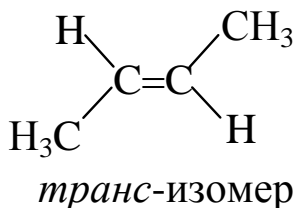
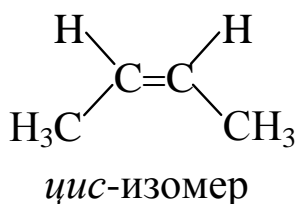
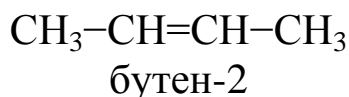


в) таутомерия (динамическая изомерия) – вид изомерии, при котором вещество существует в виде двух или более таутомерных форм, взаимопереходящих друг в друга:

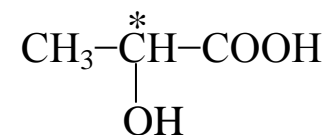


## 2. Пространственная или стереоизомерия:

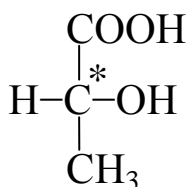
а) геометрическая (цис-, транс-) изомерия обусловлена различным расположением фрагментов молекулы относительно плоскости двойной связи, находящейся в середине углеродной цепи:



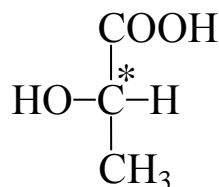
б) оптическая (зеркальная) изомерия характерна для соединений, содержащих **асимметрический атом углерода (C\*)**, у которого все четыре валентности заняты разными заместителями. При этом возникают два изомера, относящиеся друг к другу как предмет к своему отражению в зеркале:



молочная кислота



D (-)-молочная кислота



L(+)-молочная кислота

## Стереохимическая теория

**Сtereoхимия** – наука о пространственном строении органических молекул была создана в 1874г. Вант-Гоффом и Ле-Белем, которые предположили, что пространственное строение обусловлено расположением валентных связей атома углерода не в плоскости, а в пространстве под углом  $109^{\circ}28'$ . Таким образом, атом углерода расположен в центре правильного тетраэдра, а его четыре валентности направлены к вершинам правильного тетраэдра, где располагаются атомы или атомные группировки (рис.1).

Сtereoхимия получила подтверждение в дальнейшем на многочисленных примерах и позволила решить сложнейшие вопросы, связанные с химией сахаров и белков.

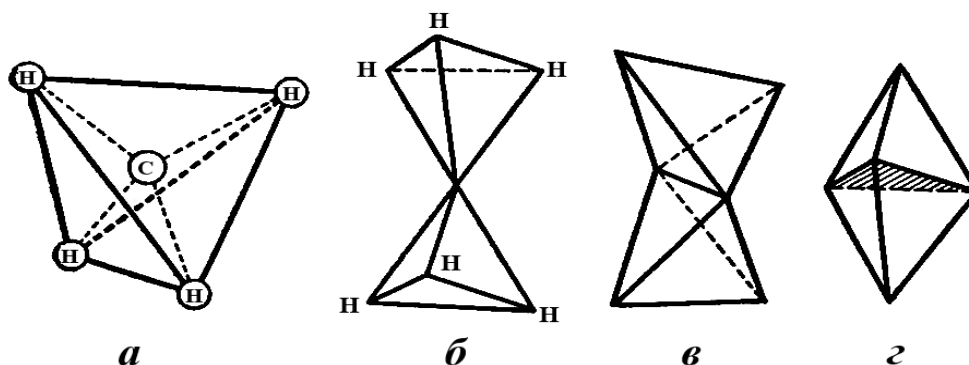


Рис. 1. Модели по Вант-Гоффу: метана (а), этана (б), этилена (в) и ацетилена (г)

## Химическая связь в органических соединениях

Многообразие и химические свойства органических соединений обусловлены не только качественным и количественным составом, но и характером связей между атомами.

**Химическая связь** – сила, с которой атомы удерживаются в молекуле. Химическая связь характеризуется энергией, необходимой для ее разрыва, и длиной. Химическая связь образуется в результате взаимодействия валентных электронов. Различают два основных типа химической связи – ионная и ковалентная.

**Ионная (электровалентная) связь** возникает между заряженными частицами-ионами за счет электростатических сил притяжения. Образование ионов сопровождается передачей ва-

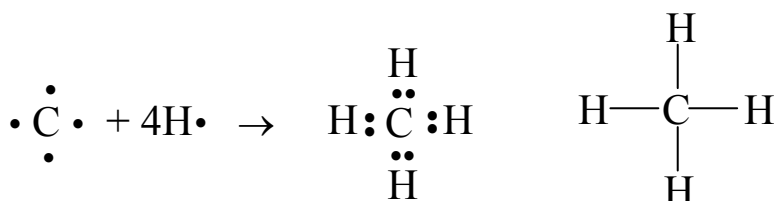
лентных электронов внешнего электронного слоя от менее электроотрицательного атома к более электроотрицательному. Например:



В результате каждый из атомов приобретает октет (восемь) электронов на внешнем электронном уровне, что характерно для энергетически устойчивой оболочки инертных газов.

Ионные связи непрочные, легко разрываются (даже при растворении) и характерны, в основном, для неорганических соединений.

**Ковалентная (гомеополярная) связь** образуется при взаимодействии одинаковых атомов или атомов, близких по электроотрицательности. При этом не происходит полного переноса электронов от одного атома к другому, а возникают общие электронные пары. Таким образом, каждый атом имеет октет (или у водорода дублет) электронов.



Ковалентные связи могут быть неполярными, если атомы или группы атомов одинаковы по электроотрицательности. Например: H–H, H<sub>3</sub>C–CH<sub>3</sub>. Эти связи наиболее прочные.

Полярные связи образуются, если один из атомов более электроотрицателен.  $\text{H}^{\delta+} \rightarrow \text{Cl}^{\delta-}$ ,  $\text{C}^{\delta+} \text{H}_3 \rightarrow \text{Cl}^{\delta-}$ .

Ковалентные связи наиболее распространены в органических соединениях и обладают высокой прочностью. Кроме того, органические вещества могут образовывать водородные и координационные (донорно-акцепторные) связи, которые будут рассмотрены в дальнейшем.

Образование ковалентных связей можно рассматривать на основе более современных электронных представлений.

С точки зрения квантовой механики атом состоит из положительно заряженного ядра и электронов, которые вращаются вокруг ядра с большой скоростью. Вследствие этого электроны

описывают вокруг ядра определенную область. Поэтому под электроном следует понимать не точечный отрицательный заряд, а электронное облако, т.е. область наиболее вероятного нахождения электрона вокруг ядра. Электронные облака могут быть разной формы в зависимости от их состояния (s, p, d и т.д.), что следует из уравнения Шредингера. Так, облако в s-состоянии имеет форму шара, а в p-состоянии – форму объемной восьмерки или гантели. Облака p-электронов могут ориентироваться в пространстве в трех взаимоперпендикулярных плоскостях – x, y, z (рис. 2).

Атом углерода, лежащий в основе всех органических соединений, имеет на внешнем электронном уровне 4 электрона, причем один из них в s-состоянии, а 3 электрона – в p-состоянии.

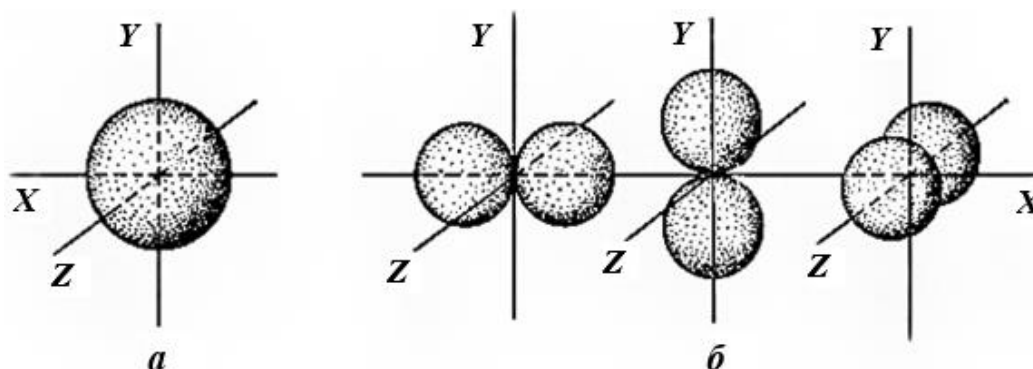


Рис. 2. Схема пространственного расположения орбиталей валентных электронных облаков атома углерода: а - облако s-электрона со сферической симметрией; б – облака p-электронов

Когда атом углерода вступает во взаимодействие с другими атомами, происходит гибридизация, т.е. перестройка электронных облаков. В результате из одного s-электрона и трех p-электронов образуется четыре одинаковых гибридных облака, т.е. происходит  $sp^3$ -гибридизация, что объясняет равноценность четырех связей, образованных атомом углерода (рис.3). Такие одинарные связи обозначаются как  $\sigma$ -связи. Их можно изобразить графически следующим образом (рис. 4):

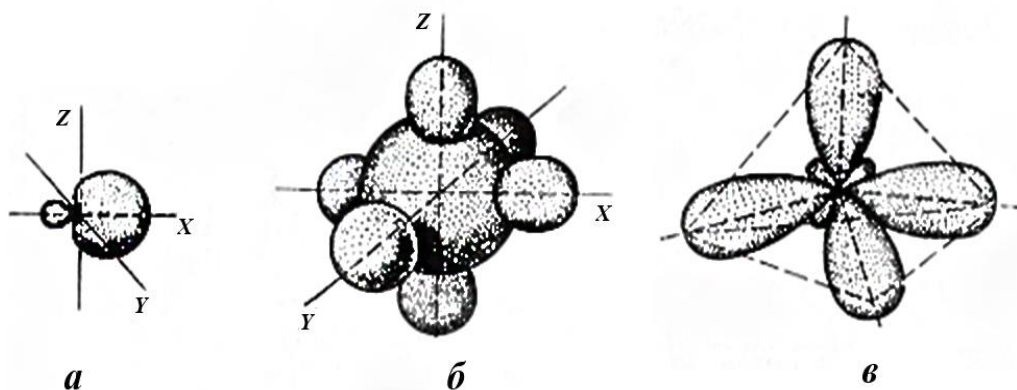


Рис. 3. Схема перераспределения электронной плотности при образовании гибридных  $sp^3$ -орбиталей: а – форма одиночного  $sp^3$ -гибридизированного облака; б – условная схема взаимного расположения валентных электронных облаков  $s$  и  $p$  до перераспределения электронной плотности (гибридизации); в – пространственное взаимное расположение всех  $sp^3$ -гибридизированных электронных облаков

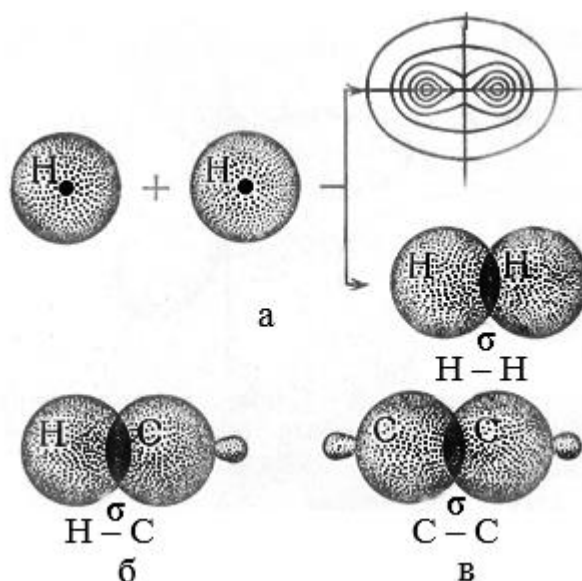


Рис.4. Схема образования  $\sigma$ -связей: а – образование  $\sigma$ -связи за счет перекрытия  $s$ -электронных облаков атомов водорода (показано образование молекулярной орбитали); б – образование  $\sigma$ -связи  $s$ -электроном водорода и  $sp^3$ -гибридизированным электроном углерода; в – образование  $\sigma$ -связи двумя  $sp^3$ -гибридизированными электронами разных атомов углерода

В соответствии с тетраэдрической моделью молекулы метана гибридные облака атома углерода направлены к вершинам тетраэдра под углом  $109^{\circ}28'$ , где расположены шарообразные облака атомов водорода (рис. 5).

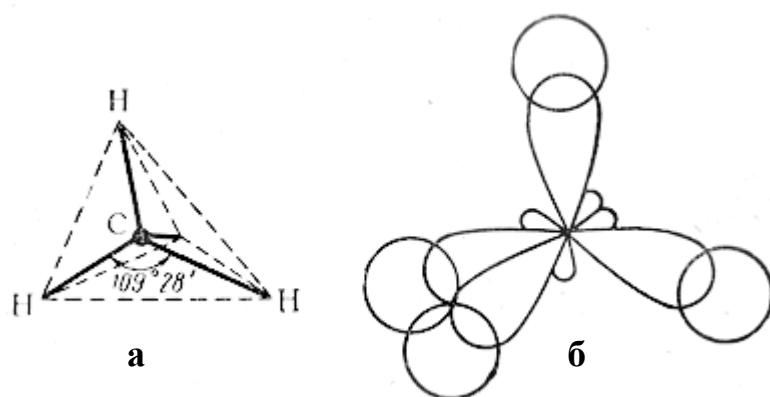


Рис. 5. Схема распределения электронной плотности в молекуле метана: а – тетраэдрическая модель молекулы; б – схема перекрывания электронных облаков при образовании молекулы

В случае образования двойной связи, например, в молекуле этилена, образуется пять  $\sigma$ -связей, при этом каждый атом углерода расходует на перегруппировку три электрона (один в s-состоянии и два в p-состоянии) и происходит  $sp^2$ -гибридизация. В результате у обоих атомов углерода остается по одному свободному p-электрону, которые перекрываются в плоскости, перпендикулярной плоскости углерод-углеродной  $\sigma$ -связи. Таким образом образуется  $\pi$ -связь (рис. 6).

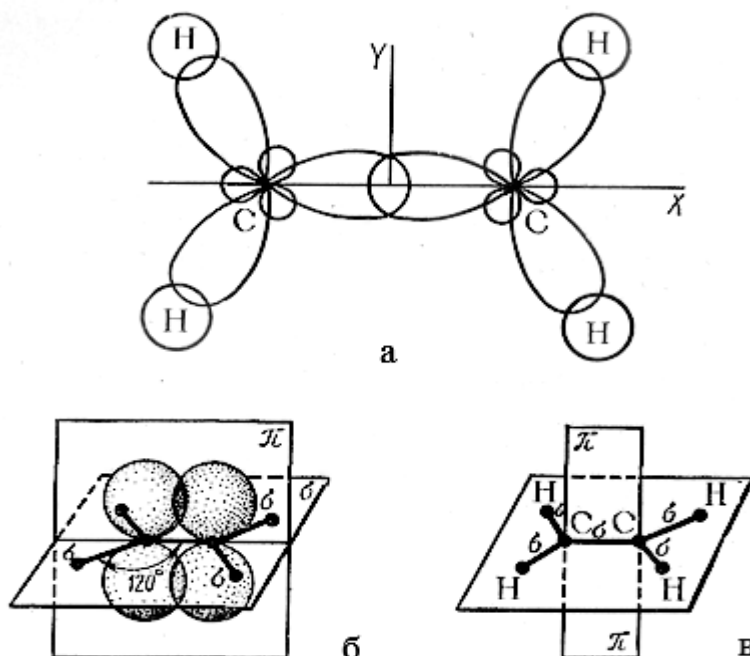


Рис. 6. Схема образования валентных связей и распределение плотности в молекуле этилена: а – расположение электронных облаков, образующих  $\sigma$ -связи при  $sp^2$ -гибридизации; б – образование молекулярной орбитали  $\pi$ -связи перекрыванием двух p-электронных облаков; в – схема строения молекулы этилена

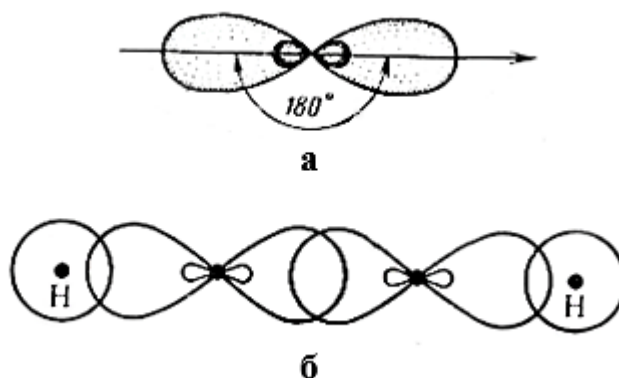


Рис 7. Схема образования  $\sigma$ -связей в молекуле ацетилена: а – расположение электронных облаков в атоме углерода при  $sp$ -гибридизации; б – перекрывание электронных облаков при образовании  $\sigma$ -связей

Аналогично при образовании тройной связи в гибридизации участвуют два электрона ( $s$ - и  $p$ -) и происходит  $sp$ -гибридизация, а оставшиеся пары  $p$ -электронов перекрываются в перпендикулярных плоскостях (рис.7 и 8).

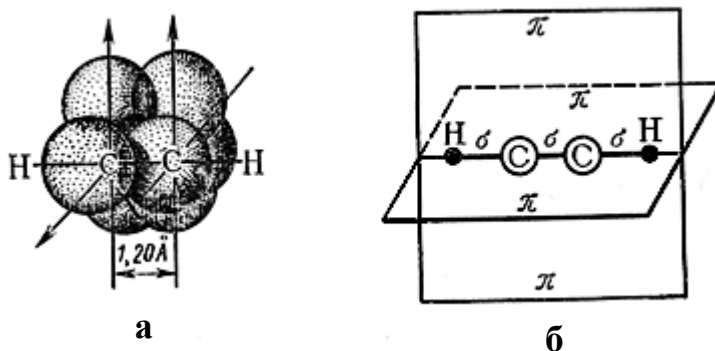


Рис. 8. Схема образования  $\pi$ -связей в молекуле ацетилена: а - перекрывание электронных облаков при образовании двух  $\pi$ -связей; б – расположение плоскостей всех валентных связей в молекуле ацетилена

Прочность  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей различна, что влияет на реакционную способность соединений. Так,  $\sigma$ -связи – прочные и соединения, их содержащие, химически малоактивны;  $\pi$ -связи – менее прочные, легко разрываются, поэтому соединения с двойной или тройной связью проявляют значительно большую активность и вступают в различные типы органических реакций.



## Типы и механизмы химических реакций

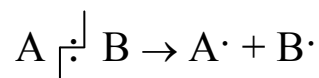
**Химические реакции** - это процессы, при которых происходит перераспределение электронной плотности, обуславливающей химическую связь. Все химические превращения могут осуществляться в строго определенных условиях (температура, давление, катализатор, растворитель) и в значительной мере зависят от механизма реакции.

Как правило, основное органическое вещество, участвующее в реакции, называется “субстратом”, а действующее на него – реагентом.

Под **механизмом реакции** подразумевают способ разрыва имеющихся валентных связей и образование новых, а также совокупность состояний, через которые проходят реагирующие вещества.

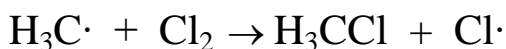
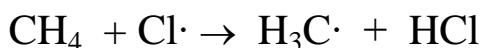
По способу разрыва ковалентных связей реакции разделяют на две большие группы:

а) **Гомолитические (радикальные)** реакции - разрыв ковалентной связи происходит таким образом, что каждый из первоначально связанных атомов сохраняет один из обобществленных электронов:



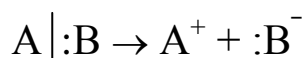
Частица с неспаренным электроном называется **свободным радикалом**.

Реакции такого типа весьма распространены в органической химии и природе. Так, с участием свободных радикалов происходят процессы старения как растительных, так и животных организмов на клеточном уровне. Примером такой реакции является взаимодействие хлора с метаном на свету:



Чаще всего реакции радикального замещения носят цепной характер.

б) **Гетеролитические** (ионные) реакции – разрыв ковалентной связи происходит так, что оба связывающих электрона остаются у одного из первоначально связанных атомов:



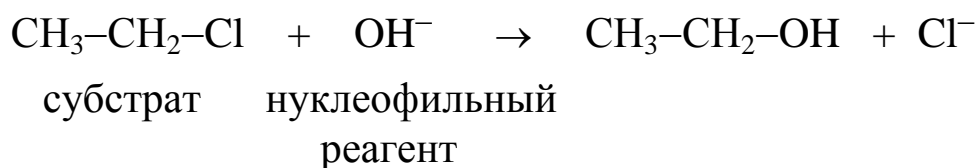
Этот процесс сопровождается образованием электрически заряженных частиц – **ионов**.

Гетеролитические реакции различают по виду действующей частицы (реагента). **Нуклеофил** – это частица, имеющая пару электронов на внешнем уровне. За счет нее он способен образовывать новую ковалентную связь:

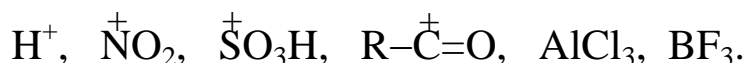


Реакции с участием таких частиц называются нуклеофильными.

В качестве примера нуклеофильной реакции можно привести замещение галогенов в молекулах галогенпроизводных углеводородов:

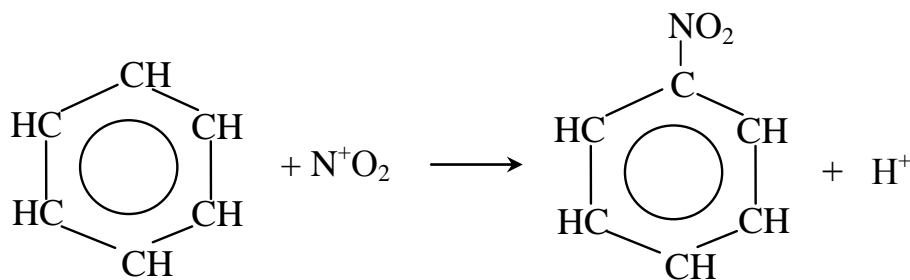


**Электрофил** – частица с электронным дефицитом, имеющая незаполненный валентный электронный уровень. Он предоставляет вакантные орбитали для образования связи:

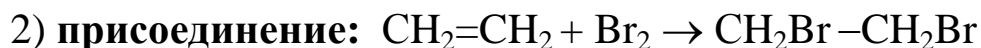
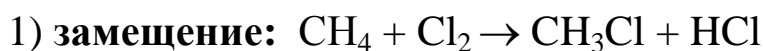


Реакции с реагентами такого типа называют электрофильными.

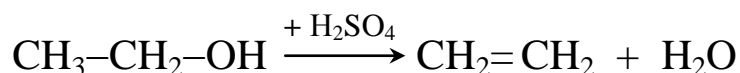
Реакции электрофильного замещения характерны для ароматических углеводородов, например, нитрование бензола:



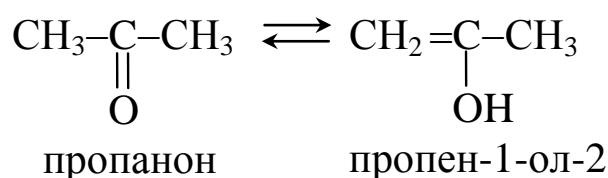
Наиболее часто употребляемая классификация органических реакций основана на характере превращений реагирующих веществ:



3) **отщепление** (элиминирование):



4) **перегруппировка:**



Большое значение имеют также процессы окисления и восстановления. Под **окислением** понимают такие реакции, в которых органическое вещество поглощает кислород или в которых с помощью окислителей от соединения отнимается водород. При **восстановлении** вещество при действии восстановителей теряет кислород или присоединяет водород.

## Классификация органических соединений

Классификация органических соединений основана на следующих признаках:

- I. *Строение углеродного скелета.*
- II. *Тип связи в углеродном скелете.*
- III. *Наличие функциональных групп.*

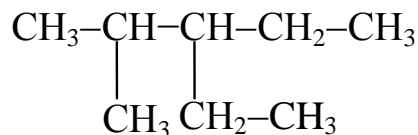
Основой всех органических соединений является **углеродный скелет**, т.е. совокупность соединенных между собой атомов углерода.

I. По строению углеродного скелета органические соединения подразделяют на следующие группы:

1. **Ациклические** (алифатические) содержат открытые цепи нормального или разветвленного строения:



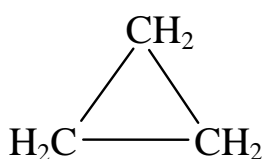
пентан



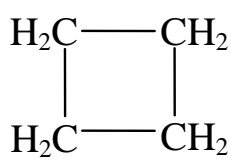
2-метил-3-этилпентан

2. Циклические, которые подразделяются на:

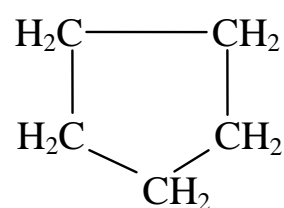
а) **карбоциклические** – содержат углеродные цепи, замкнутые в циклы разной величины. В свою очередь, эти соединения делятся на **алициклические**:



циклопропан

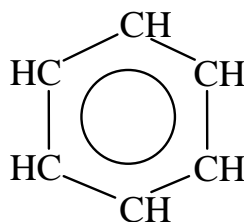


циклобутан



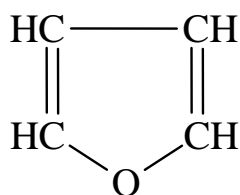
циклопентан

и **ароматические**:

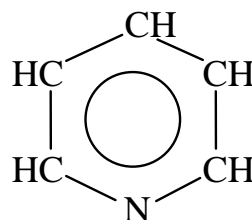


бензол

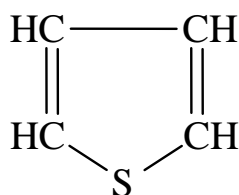
б) **гетероциклические** – содержат в цикле кроме атомов углерода атомы других элементов, т.е. гетероатомы (O, N, S):



фуран



пиридин



тиофен

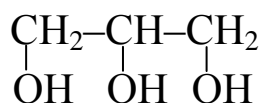
II. Каждый класс соединений делится по **типу связи** в углеводородном радикале на **предельные** (насыщенные), содержащие только  $\sigma$ -связи, и **непредельные** или ненасыщенные – с **кратными** (т.е. двойными или тройными) связями, содержащие то или иное количество  $\pi$ -связей. В отдельную группу выделяют **ароматические** соединения, содержащие замкнутую  $\pi$ -электронную систему (так называемую “ароматическую связь”).

III. В зависимости от наличия характерной группировки атомов (**функциональной группы**) органические соединения подразделяются на классы (таблица 1). Функциональная группа – это, как правило, наиболее изменяемая часть молекулы, которая обуславливает особенности химического поведения данного класса соединений.

Родоначальным классом являются **углеводороды** – соединения, состоящие из атомов углерода и водорода. Все остальные классы рассматриваются как производные углеводородов.

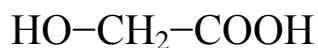
Атомы водорода в молекуле углеводорода могут замещаться на функциональные группы и образовывать соединения других классов. Остаток углеводорода (без одного атома водорода) называется **углеводородным радикалом** и обозначается буквой **R** (см. приложение табл. 1). Углеводородный радикал, соединяясь с функциональной группой, образует соединение, относящееся к тому или иному классу соединений.

Органические вещества, содержащие несколько одинаковых функциональных групп, относятся к **полифункциональным** соединениям, например, многоатомный спирт – глицерин:

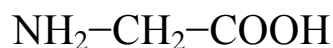


Соединения с различными функциональными группами называют **гетерофункциональными** или соединениями со смешанными функциями.

Примеры:



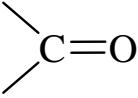
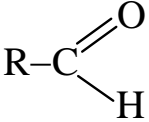
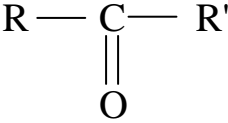
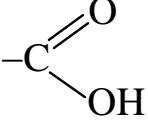
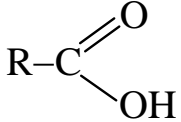
класс оксикислот  
оксиуксусная кислота  
(гликолевая)



класс аминокислот  
аминоуксусная кислота  
(глицин)

Таблица 1

## Классы органических соединений

Функциональная группа	Название класса	Общая формула класса
-Hal (-F, -Cl, -Br, -I) галоген	Галогенпроизводные	R-Hal
-OH гидроксильная	Спирты, фенолы	R-OH
 карбонильная	Альдегиды	
	Кетоны	
 карбоксильная	Карбоновые кислоты	
-NH <sub>2</sub> аминогруппа	Амины	R-NH <sub>2</sub>
-NO <sub>2</sub> нитрогруппа	Нитросоединения	R-NO <sub>2</sub>
-C≡N нитрильная группа	Нитрилы	R-C≡N
-SO <sub>3</sub> H сульфогруппа	Сульфокислоты	R-SO <sub>3</sub> H

Представители этих классов играют важнейшую роль в биологических процессах.

В каждом классе органических соединений существуют **гомологические ряды**. Гомологический ряд - это ряд соединений, сходных по строению и свойствам, в котором отдельные члены ряда отличаются количеством групп  $-\text{CH}_2-$ . Члены такого ряда называются “гомологами”.

Примеры гомологических рядов:

$\text{CH}_4$ , $\text{CH}_3-\text{CH}_3$ , $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ , ...	- предельные углеводороды (алканы);
$\text{CH}_2=\text{CH}_2$ , $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$ , $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ , ...	- непредельные углеводороды (алкены);
$\text{CH}_3\text{OH}$ , $\text{CH}_3-\text{CH}_2\text{OH}$ , $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{OH}$ , ...	- предельные одноатомные спирты;
$\text{CH}_2=\text{CH}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$ , $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$ , ...	- непредельные альдегиды;
$\text{HCOOH}$ , $\text{CH}_3-\text{COOH}$ , $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{COOH}$ , ...	- предельные одноосновные карбоновые кислоты.

Наиболее важные представители гомологических рядов и их номенклатура приведены в приложении (табл. 2,3).

### Вопросы для самоконтроля

1. Что является предметом изучения органической химии?
2. Какое биологическое значение имеют органические вещества в природе?
3. Опишите применение органических соединений в сельском хозяйстве и в промышленности.
4. По каким признакам классифицируются органические

соединения?

5. Какие группы атомов называются функциональными группами?

6. Приведите примеры основных классов органических соединений.

7. Какое явление в органической химии называется «изомерией»?

8. Какие виды изомерии характерны для органических соединений?

9. Какой ряд в органической химии называется «гомологическим»?

10. Чем отличаются гомологи от изомеров?

11. Приведите гомологические ряды предельных углеводов и непредельных спиртов.

12. Перечислите основные положения теории химического строения А.М. Бутлерова.

13. Опишите типы связей в органических соединениях.

14. Назовите типы органических реакций, приведите примеры.

15. Опишите пространственное строение органических молекул.



## Раздел II

### КЛАССЫ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Программа курса органической химии включает в себя изучение следующих классов органических соединений:

1. Углеводороды.

*Монофункциональные соединения:*

2. Спирты, фенолы.

3. Альдегиды и кетоны.

4. Карбоновые кислоты.

5. Сложные эфиры (жиры).

6. Амины.

7. Амиды.

*Соединения со смешанными функциями:*

8. Оксикислоты.

9. Оксокислоты (альдегидо- и кетокислоты).

10. Альдегидоспирты, кетонспирты (углеводы).

11. Аминокислоты, белки.

12. Гетероциклические соединения, нуклеиновые кислоты.

*План изучения классов органических соединений:*

1. Определение класса и его классификация.

2. Формула гомологического ряда. Основные представители данного класса (структурные формулы и названия). Изомерия. Номенклатура.

3. Нахождение в природе, способы получения.

4. Физические свойства.

5. Химические свойства.

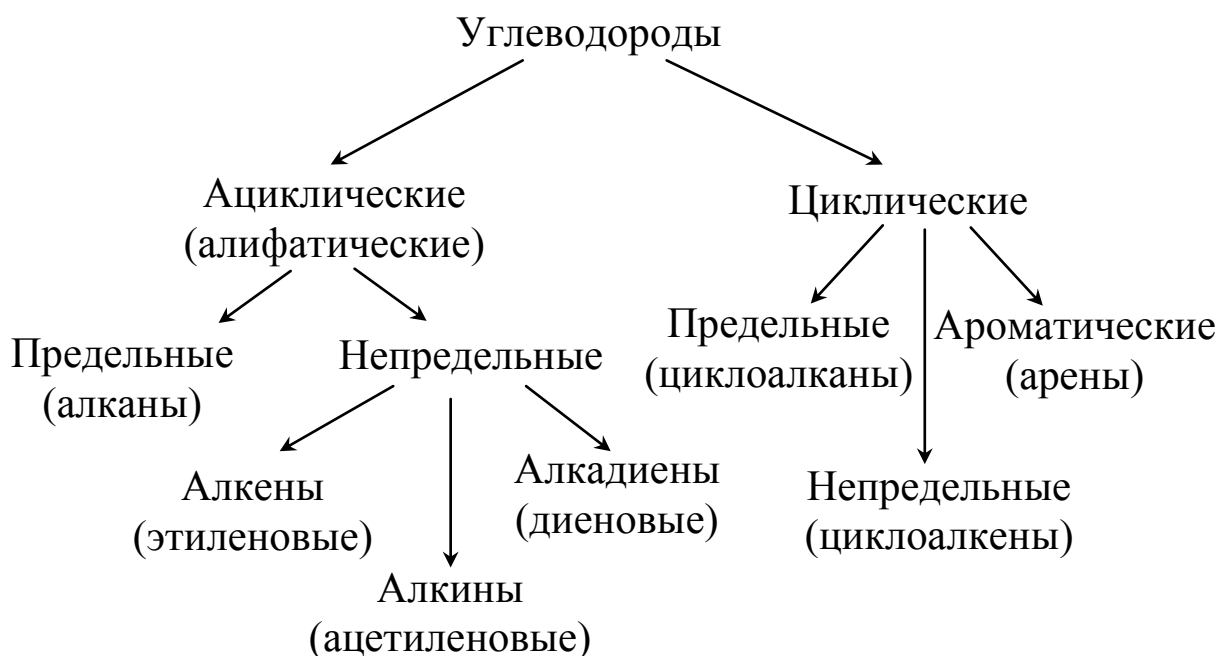
6. Применение и биологическая роль соединений данного класса.

# УГЛЕВОДОРОДЫ

**Углеводороды** – это органические соединения, состоящие из атомов углерода и водорода, связанных ковалентной связью. Углеводороды являются основой всех органических соединений, в том числе важнейших природных веществ – жиров, белков и углеводов.

По строению углеродного скелета углеводороды делятся на ациклические и циклические; по типу связей – на предельные, непредельные и ароматические.

Классификацию углеводородов можно представить в виде следующей схемы:



Каждый вид углеводородов образует гомологический ряд, который имеет свою общую формулу.

## Алканы (предельные углеводороды)

**Алканы** – углеводороды, в молекулах которых атомы углерода связаны между собой  $\sigma$ -связью, а остальные их валентности предельно насыщены атомами водорода. Отсюда другое название алканов – предельные углеводороды. Атомы углерода в алканах находятся в состоянии  $sp^3$ -гибридизации.

## Строение, изомерия, номенклатура

Формула гомологического ряда алканов  $C_nH_{2n+2}$ . Гомологический ряд начинается с метана, а каждый последующий гомолог отличается от предыдущего на группу  $-CH_2-$ .

Для названия алканов используется:

- 1) тривиальная (историческая) номенклатура;
- 2) международная (систематическая) номенклатура в соответствии с правилами ИЮПАК (комиссии по номенклатуре органических соединений при международном Союзе чистой и прикладной химии).

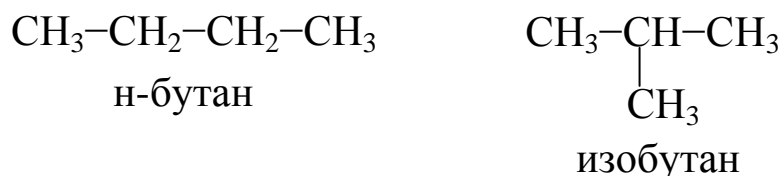
Названия первых четырех членов гомологического ряда исторически сложились. Начиная с пятого, гомологи называются в соответствии с греческими числительными (например, пента – пять, гекса – шесть, гепта – семь и т.д.) с прибавлением окончания “ан”.

Таблица 2

### Гомологи метана

$C_nH_{2n+2}$	Алканы
$CH_4$	метан
$CH_3-CH_3$	этан
$CH_3-CH_2-CH_3$	пропан
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$	бутан
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	пентан
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	гексан
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	гептан
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	октан
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	нонан
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	декан

Начиная с бутана, в ряду алканов наблюдается *изомерия углеродной цепи* (структурная изомерия или изомерия углеродного скелета). Так, для бутана (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) характерно два изомера:



С увеличением числа атомов углерода число изомеров растет. Для пентана – 3 изомера, для гексана – 5 изомеров и т.д. Кроме того, в названиях алканов используются названия углеводородных радикалов – алкилов, остатков молекул углеводородов без одного атома водорода: CH<sub>3</sub> – метил; CH<sub>3</sub>–CH<sub>2</sub> – этил; CH<sub>3</sub>–CH<sub>2</sub>–CH<sub>2</sub> – пропи́л, CH<sub>3</sub>–CH–CH<sub>3</sub> – изопропи́л и т.д.

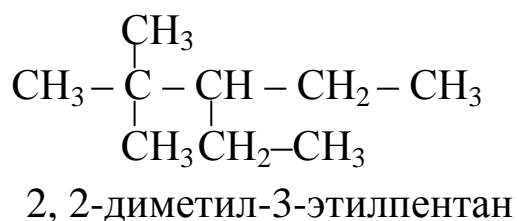
Названия других важнейших радикалов представлены в приложении (табл. 1).

### ***Принципы международной номенклатуры ИЮПАК***

1. За основу данного соединения берут название углеводорода, соответствующего числу атомов углерода главной цепи. Главной цепью углеводорода считают: а) самую длинную и б) самую сложную, т.е. имеющую наибольшее число разветвлений.

2. Нумеруют атомы углерода главной цепи, начиная с того конца, где ближе разветвление (радикал).

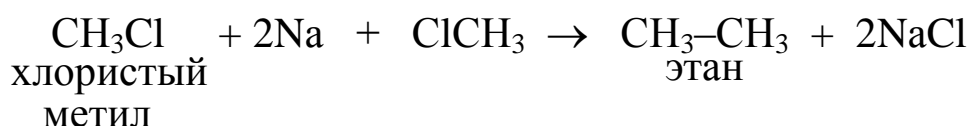
3. Называя соединение, вначале перечисляют радикалы, стоящие в боковой цепи, указывая цифры атомов углерода главной цепи, при которых стоят данные радикалы. Одинаковые радикалы обозначают умножающим префиксом – ди (два), три (три), тетра (четыре), пента (пять) и т.д. В конце ставят название алкана, соответствующее числу атомов углерода главной цепи. Например:



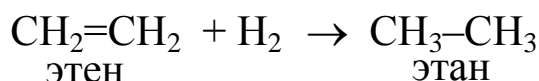
**Нахождение в природе.** Главными природными источниками алканов являются нефть, природный газ и каменный уголь. В нефти содержится от 30 до 90 % углеводородов, в природном газе – до 98 % низших гомологов и в первую очередь метана. Высшие гомологи с числом атомов углерода от 20 до 30 входят в состав восковых оболочек семян и листьев, а также пчелиного воска.

### **Способы получения**

1. Взаимодействие металлического натрия с галогенопроизводными (**синтез Вюрца**):

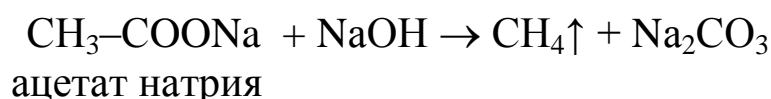


2. Восстановление непредельных углеводородов:



В промышленности в этой реакции используются в качестве катализаторов металлы (Pt, Ni, Pd).

3. Сплавление солей одноосновных карбоновых кислот со щелочами (**лабораторный способ**):



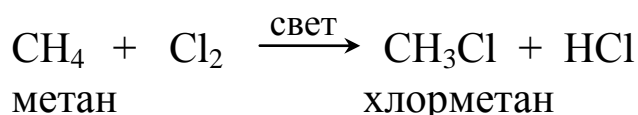
### **Физические свойства**

Низшие гомологи алканов – газы без запаха, начиная с C<sub>5</sub> – жидкости с запахом бензина, с C<sub>16</sub> – твердые вещества. Алканы нерастворимы в воде, легче воды.

### **Химические свойства**

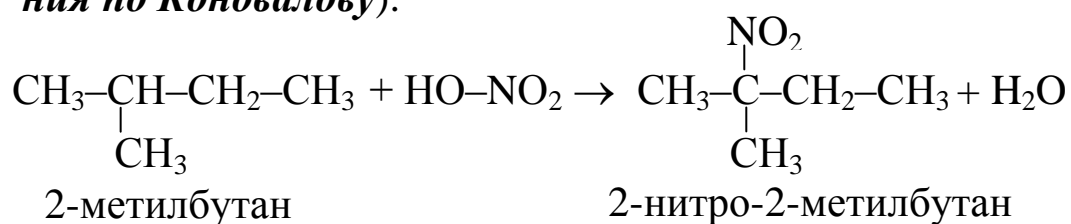
Предельные углеводороды при обычных условиях химически мало активны, что объясняется прочностью σ-связей между атомами углерода. Для алканов характерны **реакции замещения** атомов водорода.

1. **Взаимодействие с галогенами** (например, *реакция хлорирования*):



Реакция происходит по радикальному механизму с участием радикалов хлора, которые образуются на свету, до полного замещения атомов водорода. В результате образуются следующие продукты:  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  – хлористый метилен,  $\text{CHCl}_3$  – хлороформ,  $\text{CCl}_4$  – четыреххлористый углерод.

2. **Взаимодействие с азотной кислотой** (*реакция нитрования по Коновалову*):

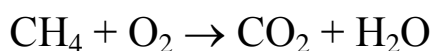


Активность уменьшается в ряду:  $-\overset{|}{\text{C}}\text{H} > -\text{CH}_2- > -\text{CH}_3$ .

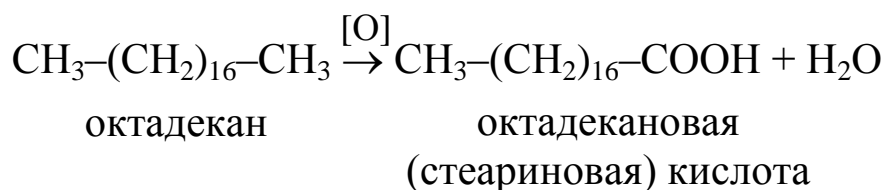
Аналогично происходит реакция сульфирования под действием серной кислоты.

3. **Окисление углеводородов:**

а) реакция горения:



б) окисление высших алканов:



***Важнейшие представители и их применение***

Метан (болотный газ) – основной компонент природного газа, применяется как топливо в технике и быту, как сырье в химической промышленности.

Этан содержится в природном газе, применяется в производстве галогенопроизводных и др. соединений.

Смеси пропана и бутана используются в качестве топлива и сырья для получения спиртов, альдегидов, кислот и др.

Крекинг нефти получают различные виды топлива на основе углеводородов: бензин (C<sub>6</sub>–C<sub>10</sub>), керосин (C<sub>7</sub>–C<sub>14</sub>), дизельное топливо (C<sub>13</sub>–C<sub>18</sub>), смазочные масла (C<sub>26</sub>–C<sub>38</sub>), а также реактивное топливо.

Высшие углеводороды применяются в производстве высших жирных кислот и мыла.

## Алкены (этиленовые углеводороды)

Алкены относятся к непредельным углеводородам, которые кроме σ-связей содержат π-связи. Атом углерода в алкенах находится в состоянии sp<sup>2</sup>-гибридизации.

### Строение, изомерия, номенклатура

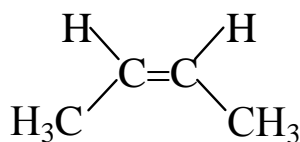
Общая формула гомологического ряда алкенов C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub>.

Первые гомологи алкенов:

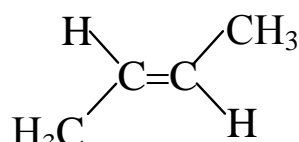
CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub>	этилен (этен)	
CH <sub>2</sub> =CH–CH <sub>3</sub>	пропилен (пропен)	
CH <sub>2</sub> =CH–CH <sub>2</sub> –CH <sub>3</sub>	бутен-1	} изомеры
CH <sub>3</sub> –CH=CH–CH <sub>3</sub>	бутен-2	
$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	2-метилпропен-1	

В ряду этиленовых углеводородов наблюдается три вида изомерии:

- 1) *изомерия углеродной цепи* (бутен-1 и 2-метилпропен-1)
- 2) *изомерия положения двойной связи* (бутен-1 и бутен-2)
- 3) *геометрическая цис-, транс-изомерия:*



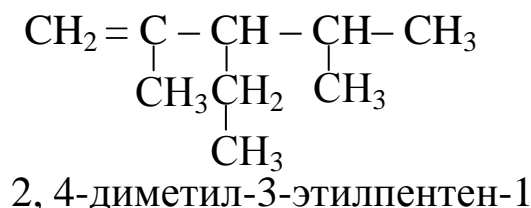
цис-бутен-2



транс-бутен-2

В соответствии с международной номенклатурой ИЮПАК в названии главной цепи алкена окончание «-ан» у соответствующего предельного углеводорода (алкана) меняется на «ен».

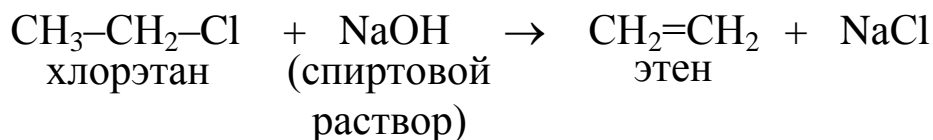
Нумерация цепи начинается с того конца, к которому ближе двойная связь. Например:



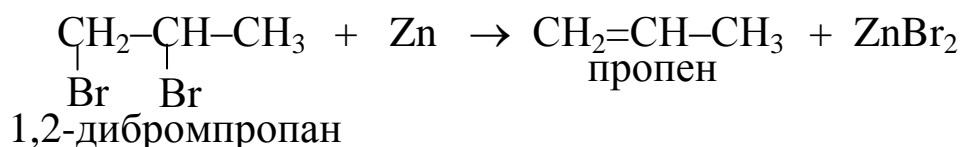
**Нахождение в природе.** Этилен и низшие гомологи алкенов в небольшом количестве содержатся в природном газе и нефти.

### Способы получения

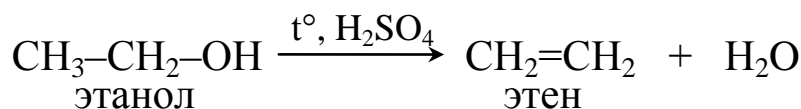
1. Из природного сырья: крекинг и пиролиз нефти, из коксовых газов.
2. Действие щелочей на моногалогенопроизводные алканов:



3. Действие металлов (меди, цинка, ртути) на дигалогенопроизводные алканов:



4. Отщепление молекул воды от спиртов в присутствии водоотнимающих средств (реакция дегидратации):



### Физические свойства

Аналогично алканам первые гомологи алкенов – газы, начиная с C<sub>5</sub> - жидкости, с C<sub>18</sub> – твердые вещества, не растворяются в воде, легче воды.

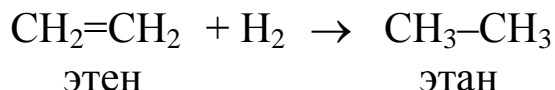


## Химические свойства

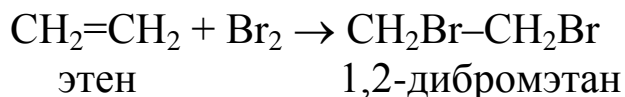
Алкены химически активны, т.к. содержат непрочные  $\pi$ -связи. Для них характерны **реакции присоединения**, происходящие в результате разрыва  $\pi$ -связи.

### 1. Реакция присоединения:

а) присоединение водорода (*реакция гидрирования* или восстановления):

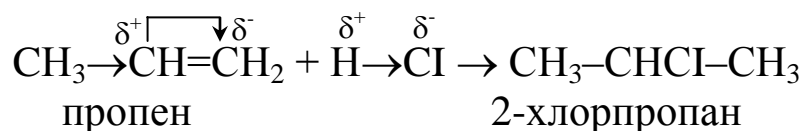


б) присоединение галогенов (например, *реакция бромирования*):



Реакция бромирования под действием бромной воды (раствора молекулярного брома  $\text{Br}_2$  в воде) является качественной реакцией на непредельность. При добавлении к алкенам бромной воды она обесцвечивается;

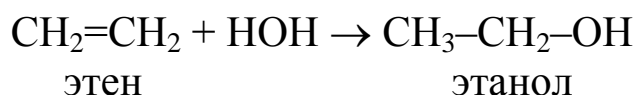
в) присоединение галогеноводородов осуществляется по правилу В.В. Марковникова, т.е. атом водорода присоединяется к более гидрогенизированному атому углерода, а остальная часть – к менее гидрогенизированному. Так, в молекуле пропена под влиянием метильной группы происходит поляризация двойной связи (индуктивный эффект), поэтому анион присоединяющегося реагента с полярной связью направляется к положительно заряженному атому углерода, т.е. более гидрогенизированному, а катион водорода – к отрицательно заряженному атому углерода. Например, *реакция гидрохлорирования*:



Это правило действует и в случае алкинов. В соответствии с правилом В.В. Марковникова происходят реакции присоединения других соединений, содержащих водород ( $\text{H}-\text{OH}$ ,  $\text{R}-\text{OH}$ ,  $\text{R}-\text{COOH}$ ).

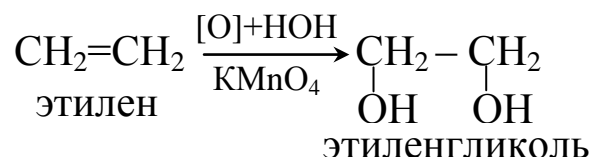
Правило Марковникова соблюдается только при гетероли- тическом механизме присоединения галогеноводородов к алке- нам. Если присоединение происходит по радикальному меха- низму (например, в присутствии перекисей), порядок присоеди- нения обратный;

г) присоединение воды (*реакция гидратации*):



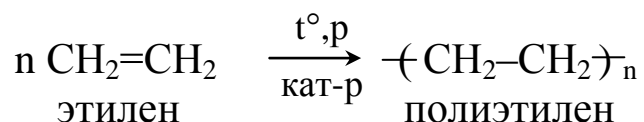
С помощью этой реакции можно получить синтетический этиловый спирт.

**2. Окисление раствором перманганата калия (по Е.Е. Ва- гнеру):**



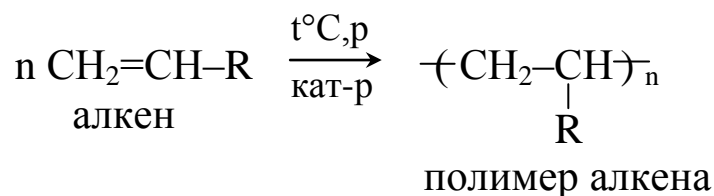
Реакция сопровождается исчезновением малиновой окрас- ки и позволяет обнаружить двойную (или тройную) связь в не- предельных соединениях.

**3. Полимеризация**, т.е. соединение большого числа молекул (мономеров) в одну сложную молекулу (полимер) за счет раз- рыва  $\pi$ -связей:



Реакция протекает при температуре 200 – 400°C, давлении до 2000 атм. Степень полимеризации  $n = 1500 - 2000$ .

Общий вид реакции полимеризации для любых непредель- ных соединений:



## ***Важнейшие представители и их применение***

Этилен – применяется для получения синтетического этилового спирта, синтетического каучука, галогенопроизводных, полиэтилена (пленочный упаковочный и укрывной материал). Кроме того, этилен применяется для ускорения созревания плодов и овощей, т.к. способствует активации ферментов.

Пропилен используется для синтеза изопропилового спирта, ацетона, полипропилена и других продуктов.

Бутилен служит сырьем для производства бутадиена, синтетического каучука и других полимеров.

## **Алкины (ацетиленовые углеводороды)**

**Алкинами** называются углеводороды, молекулы которых содержат тройную связь. Ацетилен – первый представитель алкинов. Тройная связь представляет сочетание одной  $\sigma$ -связи и двух  $\pi$ -связей. Электроны атома углерода в алкинах находятся в состоянии  $sp$ -гибридизации.

### ***Строение, изомерия, номенклатура***

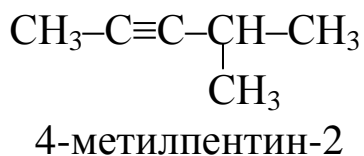
Гомологический ряд алкинов имеет общую формулу  $C_nH_{2n-2}$ . Первые гомологи алкинов:

$HC\equiv CH$	ацетилен (этин)	} изомеры
$HC\equiv C-CH_3$	метилацетилен (пропин)	
$HC\equiv C-CH_2-CH_3$	этилацетилен (бутин-1)	
$H_3C-C\equiv C-CH_3$	диметилацетилен (бутин-2)	

У алкинов наблюдается два вида изомерии:

- 1) *изомерия углеродного скелета;*
- 2) *изомерия положения тройной связи.*

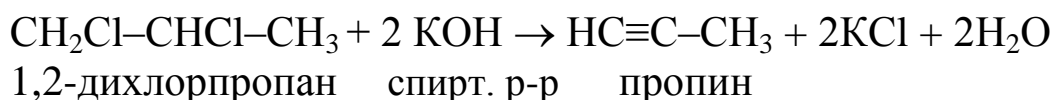
В соответствии с номенклатурой ИЮПАК окончание «-ан» в названии алкана, соответствующего главной цепи, меняется на «-ин». Например:



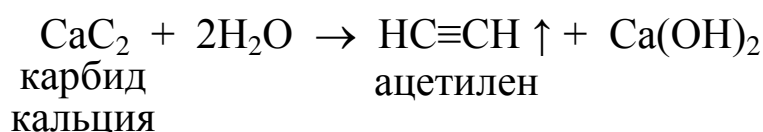
**Нахождение в природе.** Алкины в природе не встречаются, их получают синтетическим путем.

### **Способы получения**

1. Действие спиртовых растворов щелочей на дигалогенопроизводные (**общий метод получения алкинов**):

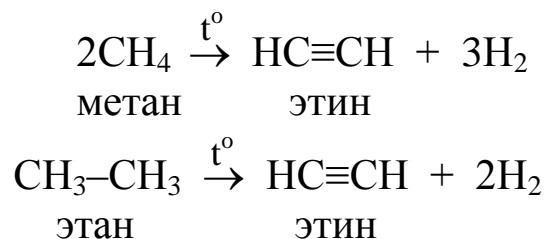


2. Взаимодействие карбида кальция с водой:



Карбидный метод используется для получения ацетилена, важнейшего из алкинов.

3. Термическое разложение углеводородов:



### **Физические свойства**

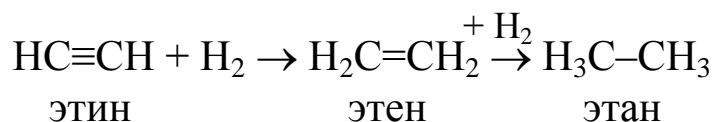
Гомологи C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> – газы, C<sub>5</sub>-C<sub>15</sub> – жидкости, C<sub>16</sub> и больше – твердые вещества, нерастворимые в воде.

### **Химические свойства**

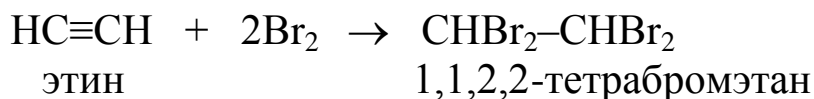
Для алкинов, так же, как и для алкенов, характерны **реакции присоединения**, которые происходят в результате разрыва одной или обеих π-связей.

**1. Реакции присоединения:**

а) присоединение водорода (**реакция гидрирования**):

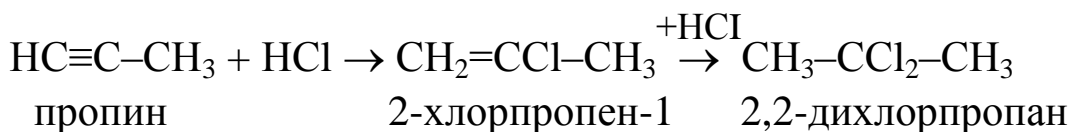


б) присоединение галогенов (например, *реакция бромирования*):

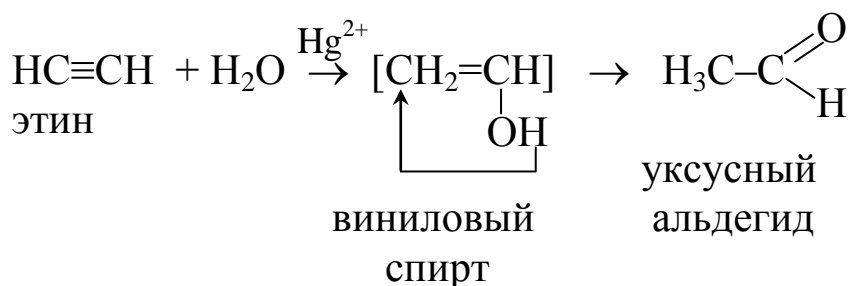


Реакция обесцвечивания бромной воды является качественной реакцией на тройную связь;

в) присоединение галогеноводородов по правилу В.В. Марковникова (например, *реакция гидрохлорирования*):

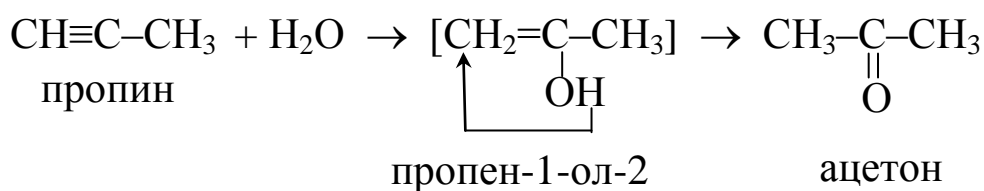


г) присоединение воды (*реакция Кучерова*):

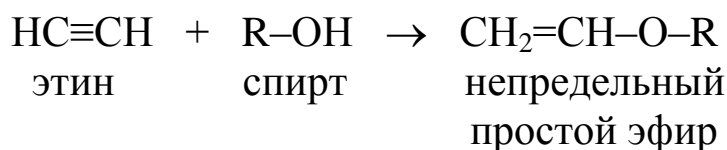


Эта реакция имеет важное практическое значение, т.к. дает возможность получать из уксусного альдегида синтетический этиловый спирт и уксусную кислоту.

Остальные гомологи ацетилена под действием воды превращаются в кетоны.

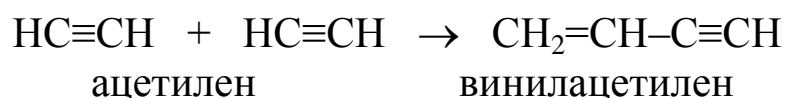


д) присоединение спиртов:

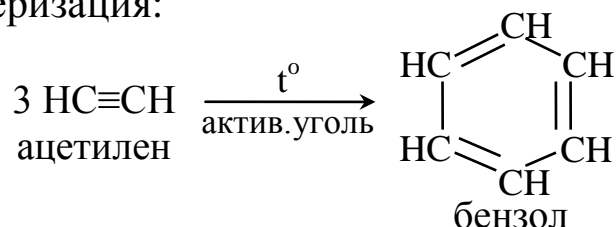


2. **Полимеризация алкинов.** В зависимости от условий можно получить димеры, тримеры и полимеры:

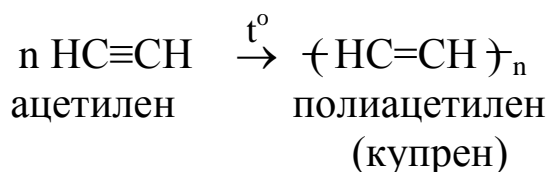
а) димеризация:



б) тримеризация:



в) полимеризация:



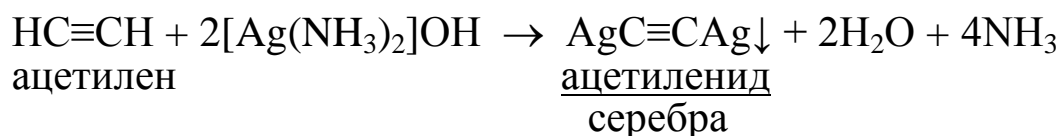
3. **Окисление** происходит в несколько стадий с образованием различных кислородсодержащих соединений. Конечным продуктом окисления ацетилена является двухосновная карбоновая кислота.



*(Качественная реакция на непердельность)*

4. **Реакция замещения.**

Под влиянием тройной связи усиливается подвижность атомов водорода у углерода при тройной связи, и они могут замещаться на металлы (Ag, Cu).



### ***Важнейшие представители и их применение***

Наиболее важным является ацетилен. Он используется для сварки металлов, т.к. при его горении в кислороде температура достигает 2000-2800°C. Кроме того, ацетилен применяется для

производства этилового спирта, уксусной кислоты, синтетического каучука, синтетических волокон, пластмасс, растворителей и т.д.

Винилацетилен используется для получения галогенопроизводных, спиртов, синтетического каучука, клеев и других ценных продуктов.

## Алкадиены (Диеновые углеводороды)

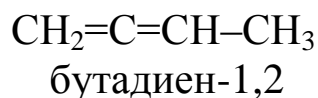
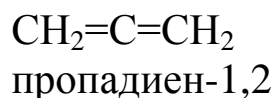
Диеновые углеводороды содержат в молекуле две двойные связи. Общая формула  $C_nH_{2n-2}$ .

### *Строение, изомерия, номенклатура*

Различают три вида диеновых углеводородов:

1. Диены с кумулярованными связями, у которых двойные связи находятся у одного атома углерода.

Например:



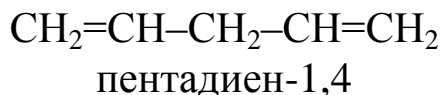
2. Диены с сопряженными связями, у которых двойные связи между атомами углерода разделены одной простой связью.

Например:



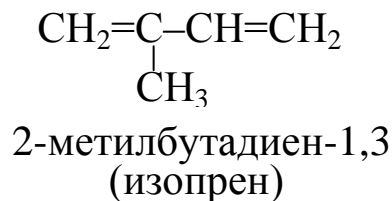
3. Диены с изолированными связями, в молекулах которых двойные связи разделены двумя и более простыми связями.

Например:



По номенклатуре ИЮПАК названия диенов строятся по тому же принципу, что и названия алкенов, но перед окончанием “ен” ставится приставка ди (два), означающая количество двойных связей в молекуле. Цифрами указывается место расположения двойных связей.

Наибольшее практическое значение имеют диены с сопряженными двойными связями, такие как:

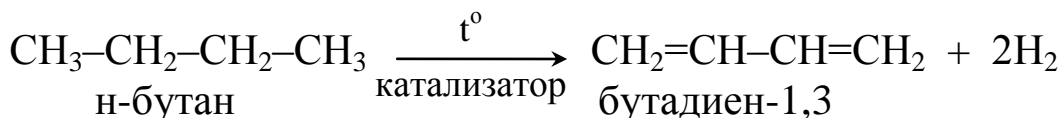


### Способы получения

1. **Способ С.В. Лебедева** – получение бутадиена-1,3 из этилового спирта в присутствии катализаторов при нагревании:



2. Дегидрирование н-бутана:



### Физические свойства

Бутадиен-1,3 при обычных условиях – газ, изопрен – легко кипящая жидкость, другие гомологи – жидкости, не растворимые в воде, легче воды.

### Химические свойства

Особенности в химическом поведении 1,3-диенов объясняются «**эффектом сопряжения**» (мезомерный эффект), который заключается в перераспределении  $\pi$ -электронов, образующих двойные связи, по системе  $\sigma$ -связей (рис. 9).

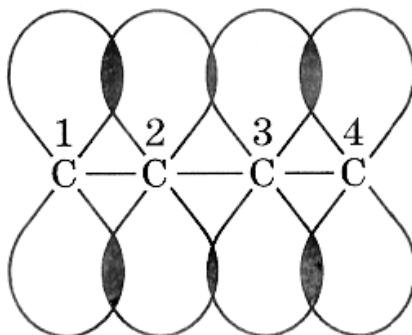
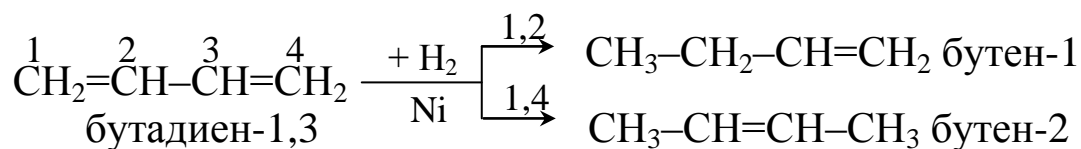


Рис. 9. Перекрывание орбиталей (сопряжение) в молекуле бутадиена-1,3



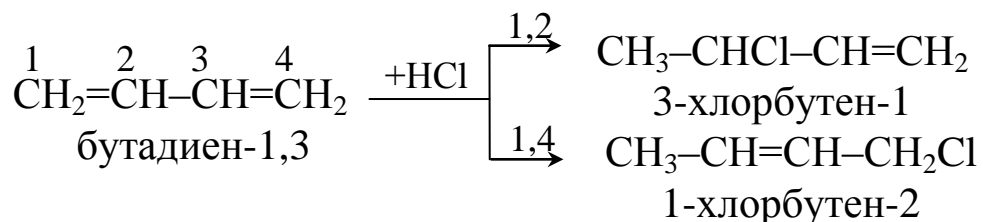
В результате образуется единое электронное облако, и реакции присоединения происходят как в положение 1,2, так и в положение 1,4:

**1. Присоединение водорода (*реакция гидрирования*):**

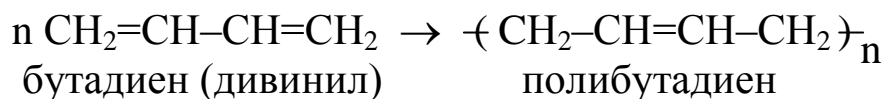


Аналогично идет присоединение галогенов.

**2. Присоединение галогеноводородов (например, *реакция гидрохлорирования*):**



**3. Реакция полимеризации:**



Реакции полимеризации диеновых углеводородов используются в производстве синтетического каучука.

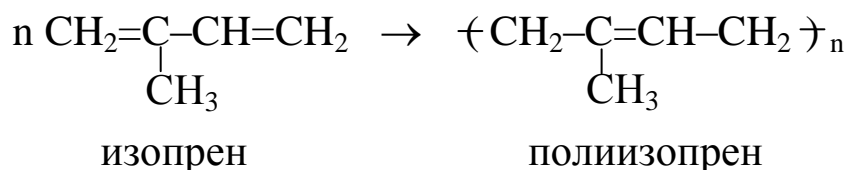
***Важнейшие представители и их применение***

Бутадиен-1,3 применяется в производстве синтетического каучука.

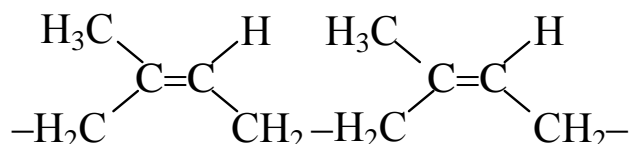
2-метилбутадиен-1,3 (изопрен) является мономером природных полимеров – каучука и гуттаперчи.

Каучук – упругая, аморфная масса, выделяемая из млечного сока (латекса) некоторых тропических растений. В нашей зоне к каучуконосам относятся одуванчики. Натуральный каучук – это полимер изопрена с молекулярной массой около 350000 единиц.

Схема образования каучука:



Макромолекула натурального каучука имеет цис-конфигурацию:



Для превращения каучука в резину требуется введение 4-5% серы от массы каучука (вулканизация). При добавлении 30-50% серы из каучука получают эбонит, используемый в качестве изоляционного материала.

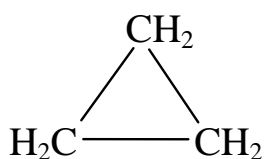
Синтетический каучук получают с помощью реакции полимеризации бутадиена-1,3, 2-метилбутадиена-1,3, 2-хлорбутадиена-1,3 или сополимеризацией перечисленных диенов со стиролом ( $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}=\text{CH}_2$ ), с акрилонитрилом ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}$ ) и другими непредельными соединениями.

Кроме того, диеновые углеводороды входят в состав терпенов, каротиноидов, красящих веществ (пигментов).

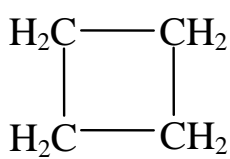
## Циклоалканы (алициклические углеводороды)

Алициклические углеводороды могут быть предельными и непредельными. Рассмотрим циклоалканы. Молекулы циклоалканов содержат циклы разной величины. Общая формула  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ .

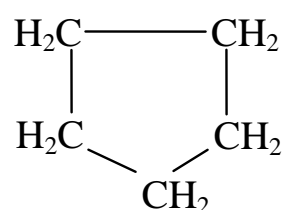
### Строение, изомерия, номенклатура



циклопропан,  
(триметилен)



циклобутан,  
(тетраметилен)

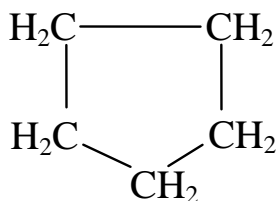


циклопентан,  
(пентаметилен)

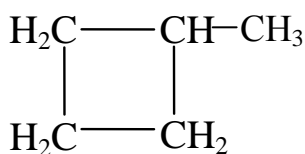
В названиях циклических углеводородов к названию соответствующего алкана прибавляется приставка «цикло-». В соответствии с тривиальной номенклатурой циклоалканы рассматриваются как полиметилены, т.к. состоят из нескольких метиленовых групп ( $-\text{CH}_2-$ ).

В ряду циклоалканов наблюдаются следующие виды изомерии:

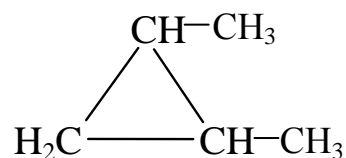
1. Изомерия циклов, например,  $\text{C}_5\text{H}_{10}$ :



циклопентан

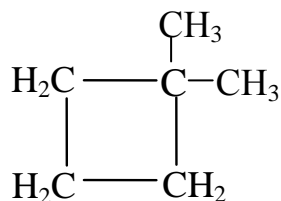


метилциклобутан

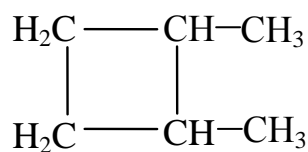


1,2-диметилциклопропан

2. Изомерия положения заместителей в цикле, например:

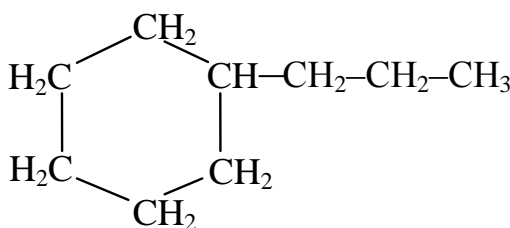


1,1-диметилциклобутан

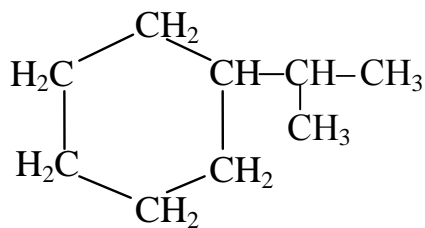


1,2-диметилциклобутан

3. Изомерия боковых цепей, например:

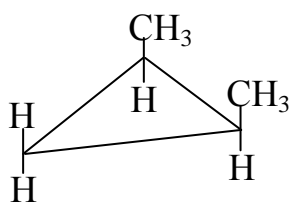


пропилциклогексан



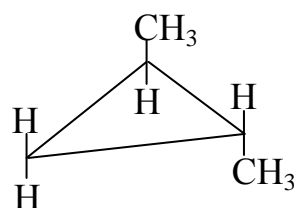
изопропилциклогексан

4. Геометрическая цис-, транс-изомерия (относительно плоскости кольца), например:



цис-изомер

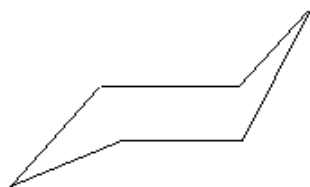
1,2-диметилциклопропан



транс-изомер

1,2-диметилциклопропан

Кроме того, в результате конформации, т.е. изменения формы молекулы в результате свободного вращения или изгиба связей, молекулы циклоалканов могут принимать различные формы. Например:



форма «кресла»



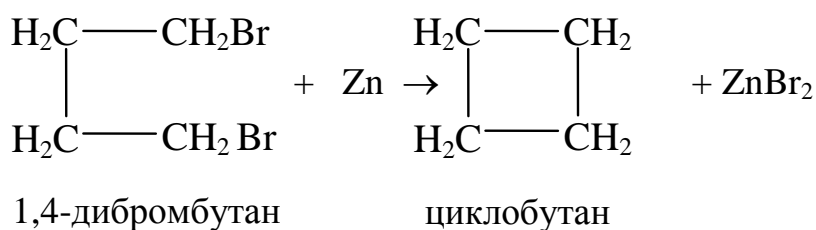
форма «ванны»

Для циклогексана более устойчивой является конформационная форма «кресла».

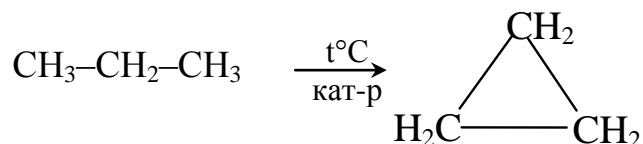
**Нахождение в природе.** Циклоалканы распространены в природе. Они входят в состав нефти, эфирных масел, душистых веществ, скипидара, природных инсектицидов, антибиотиков, витаминов.

### Способы получения

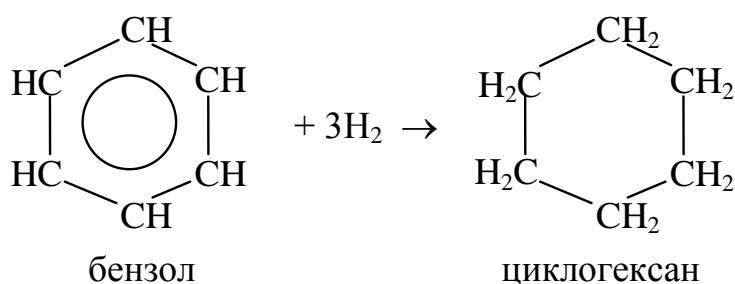
1. Из дигалогенопроизводных:



2. Циклизация алканов при нагревании в присутствии катализаторов:



3. Гидрирование ароматических углеводородов:

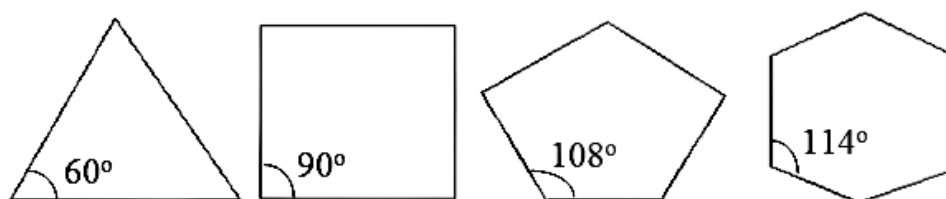


## Физические свойства

Циклопропан и циклобутан – газы, начиная с  $C_5$  – жидкости легче воды, нерастворимые в воде.

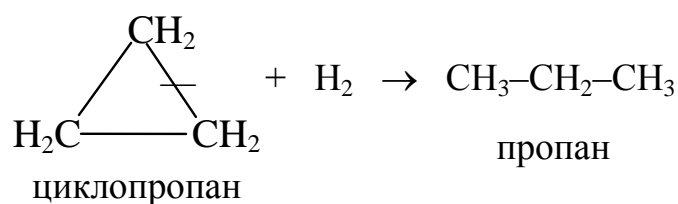
## Химические свойства

Типы химических реакций, в которые вступают циклоалканы, зависят от величины цикла. Малые циклы (трех- и четырехчленные) менее прочные и для них в большей степени характерны реакции присоединения. Большие циклы (пяти-, шестичленные) более прочные и вступают в реакции замещения. В соответствии с теорией напряжения А. Байера различная устойчивость циклов объясняется отклонением валентных углов атомов углерода, образующих замкнутую систему, от нормального валентного угла ( $109^{\circ}28'$ ).

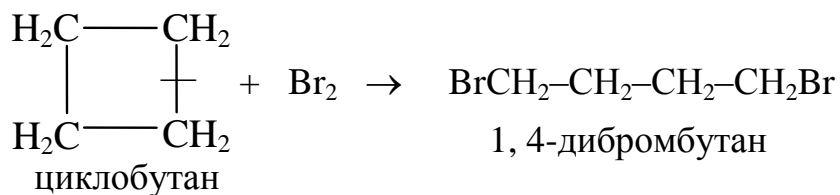


### 1. Реакции присоединения:

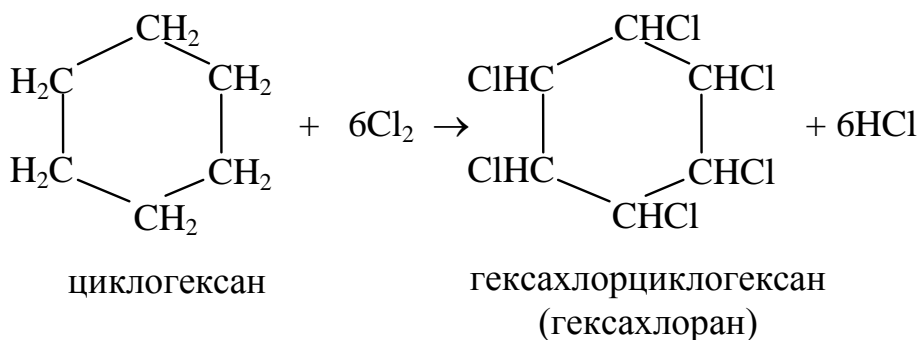
а) присоединение водорода (*реакция гидрирования*):



б) присоединение галогенов (например, *реакция бромирования*):



2. Реакция замещения (галогенирование, например, *реакция хлорирования*):



### *Важнейшие представители и их применение*

Циклопропан обладает наркотическим действием, применяется в хирургии. В технике используются карбоновые кислоты и другие производные, содержащие циклопропановый фрагмент.

Циклобутан применяется в органическом синтезе.

Циклопентан входит в состав эфирных масел цветов (жасмина, хризантем), применяется для улучшения моторного топлива, в производстве пестицидов.

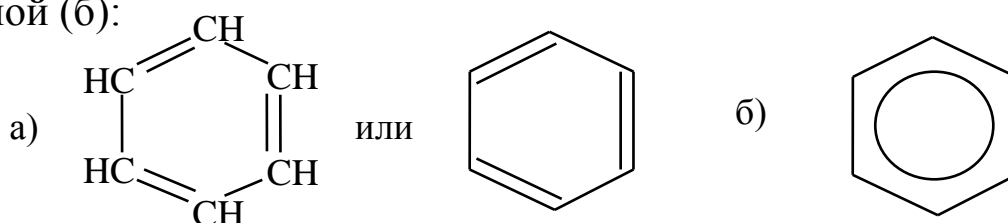
Циклогексан – главная составная часть нефти, входит в состав витаминов группы В, применяется для производства сильнейшего **инсектицида** препарата «ббб» (гексахлорана – средства для борьбы с вредными насекомыми), адипиновой кислоты и других продуктов.

## **Ароматические углеводороды (арены)**

Первые представители ароматических углеводородов были выделены из природных источников и обладали своеобразным запахом, поэтому получили название «ароматические». Арены содержат шестичленное кольцо и три сопряженные двойные связи.

### *Строение, изомерия, номенклатура*

Важнейшим представителем ароматических углеводородов является бензол  $\text{C}_6\text{H}_6$ . Формулу бензола можно изобразить двумя способами: формулой Кекуле (а) и более современной формулой (б):



В молекуле бензола шесть атомов углерода находятся в состоянии  $sp^3$ -гибридизации и, соединяясь  $\sigma$ -связи, образуют правильный шестиугольник. В результате сопряжения шести свободных  $p$ -электронов образуется единое  $\pi$ -электронное облако над и под плоскостью кольца (рис.10).

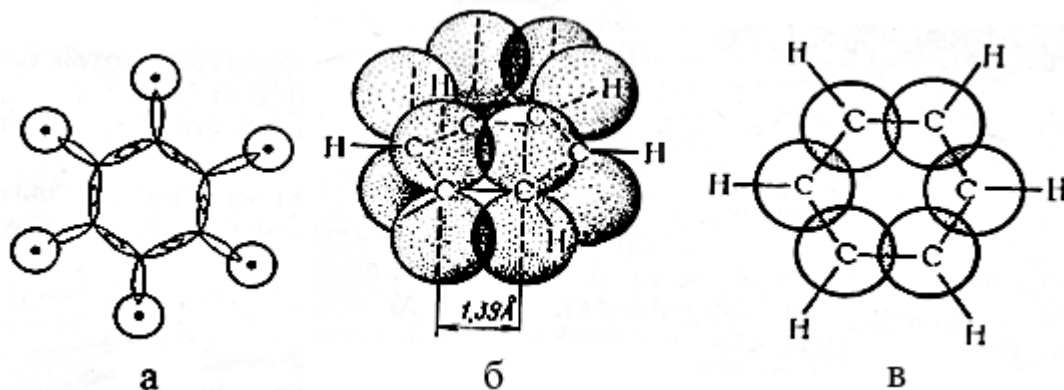


Рис.10. Схема строения молекулы бензола: а – расположение  $\sigma$ -связей между атомами углерода и атомами водорода; б – образование ароматического  $\pi$ -электронного секстета; в – вид сверху

Равномерное распределение электронного облака между шестью углеродными атомами (рис.11) в современной литературе изображается кружком внутри кольца. Такое  $\pi$ -сопряжение придает особую прочность бензольному ядру и обуславливает его специфическую реакционную способность, т.е. устойчивость к действию окислителей и большую склонность к реакциям замещения, чем к реакциям присоединения. Такая особенность называется ароматичностью.

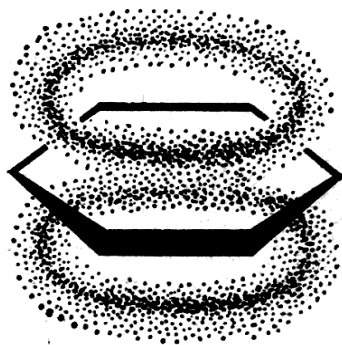
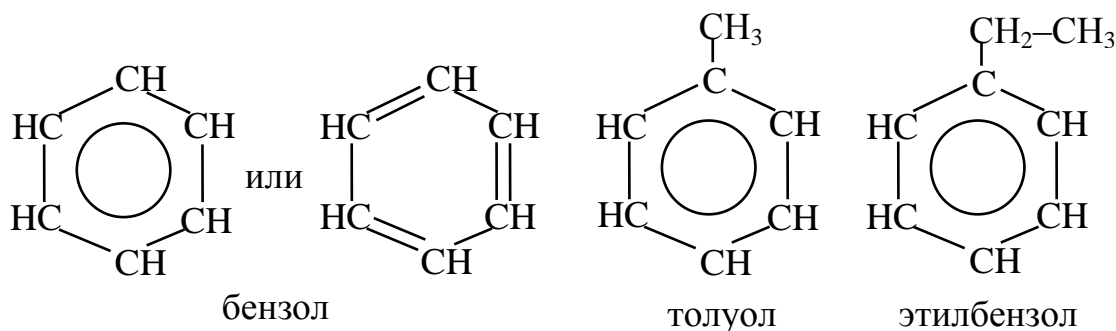


Рис. 11. Распределение электронной плотности в молекуле бензола

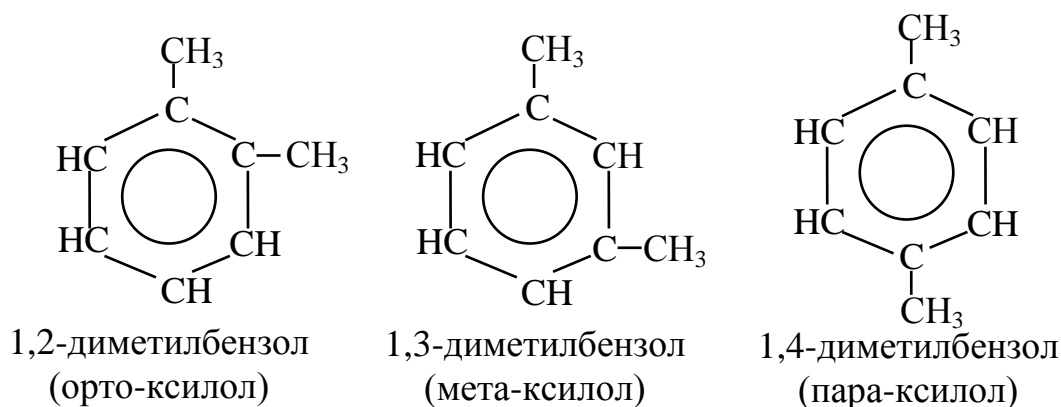
На основании квантово-механических расчетов Хюккель вывел правило, в соответствии с которым ароматичностью обладают непредельные циклические соединения, содержащие  $(4n+2)$  обобщенных электрона, причем  $n=0,1,2,3$  и т. д.

Различают одноядерные и многоядерные ароматические соединения.

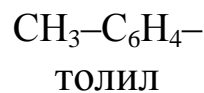
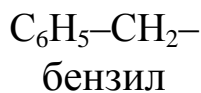
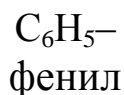
Гомологический ряд одноядерных аренов начинается с бензола и имеет формулу  $C_nH_{2n-6}$ :



В случае двух заместителей возможно три изомера:



Наиболее распространены ароматические радикалы (арилы):



**Нахождение в природе.** Ароматические углеводороды широко распространены в природе, они содержатся в нефти, каменноугольной смоле, эфирных маслах.

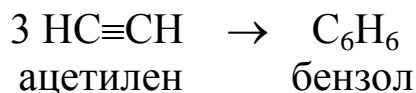


## Способы получения

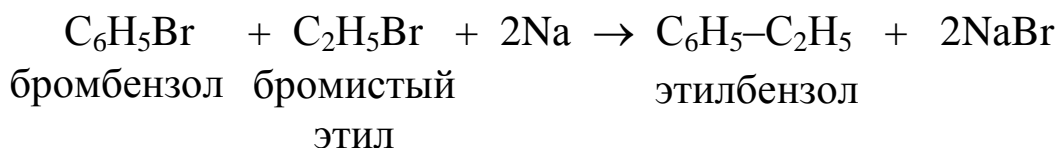
1. Переработка природного сырья нефти, природных и коксовых газов, каменного угля.

2. Синтетические способы:

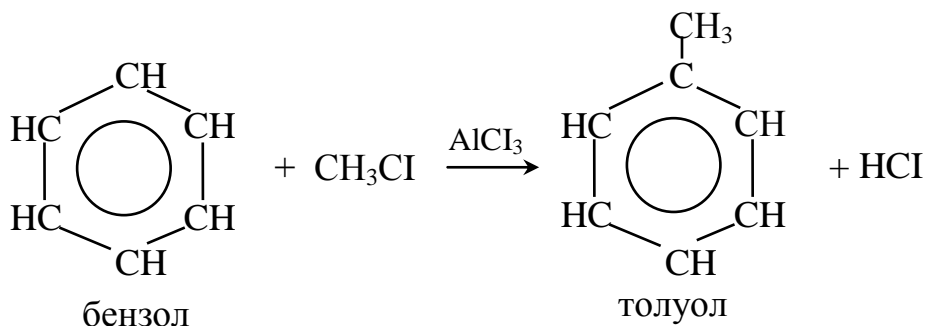
а) тримеризация ацетиленовых углеводородов:



б) взаимодействие галогеноалкилов и галогеноариллов с металлическим натрием (**реакция Вюрца-Фиттинга**):



в) взаимодействие аренов с галогеноалкилами в присутствии безводного хлорида алюминия (**синтез Фриделя-Крафтса**):



## Физические свойства

Ароматические углеводороды – жидкости или твердые вещества, легче воды, нерастворимы в воде, горят коптящим пламенем, с характерным запахом, токсичны.

## Химические свойства

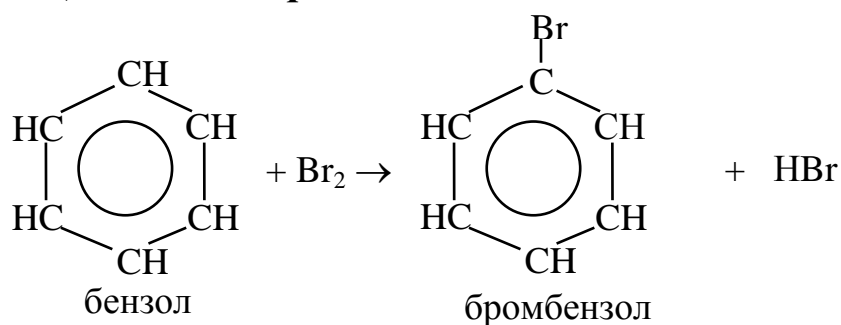
Реакционная способность аренов обусловлена наличием ароматической связи. В ароматическом кольце нет одинарных и двойных связей, а происходит взаимное перекрывание шести р-электронов. В результате образуется единое электронное облако, равномерно распределенное по системе  $\sigma$ -связей, которое обозначается кольцом внутри шестичленного цикла. Это так

называемая «ароматическая связь», обладающая значительной прочностью.

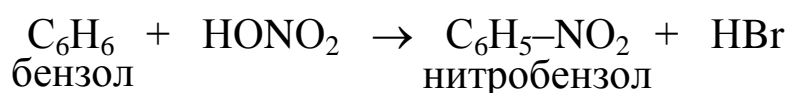
Поэтому для аренов в большей степени характерны реакции замещения и только при определенных условиях происходят реакции присоединения.

### 1. Реакции замещения.

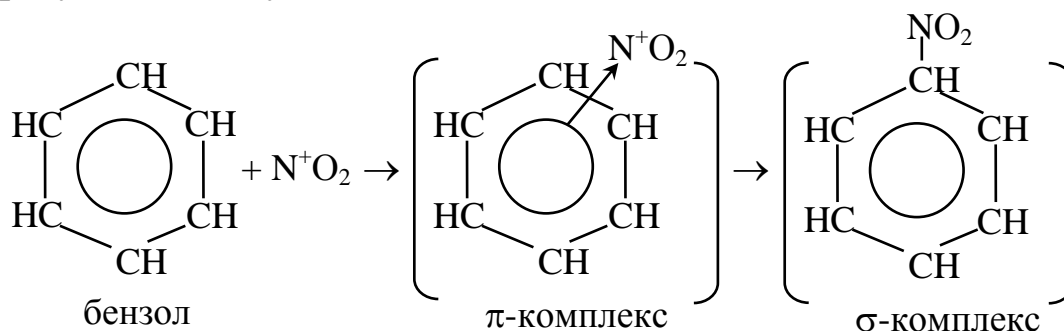
а) *реакция галогенирования:*



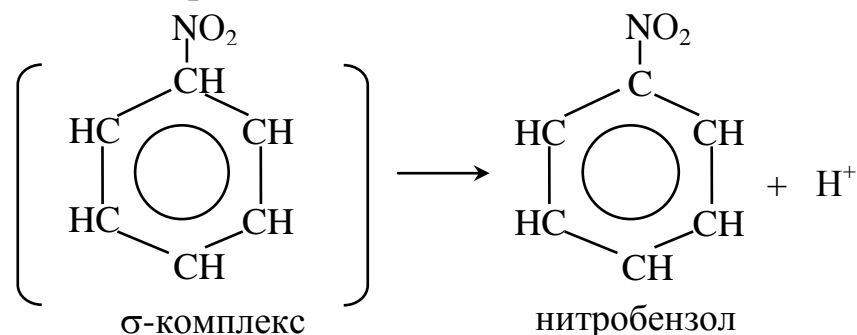
б) *реакция нитрования:*



Это типичный ионный процесс, протекающий в две стадии. Реакции предшествует распад молекулы реагента с образованием электрофильной частицы (катиона нитрония  $\text{N}^+\text{O}_2$ ), которая образует с молекулой бензола  $\pi$ -комплекс, а затем  $\sigma$ -комплекс:



На второй стадии  $\sigma$ -комплекс теряет протон и переходит в ароматическое нитросоединение:

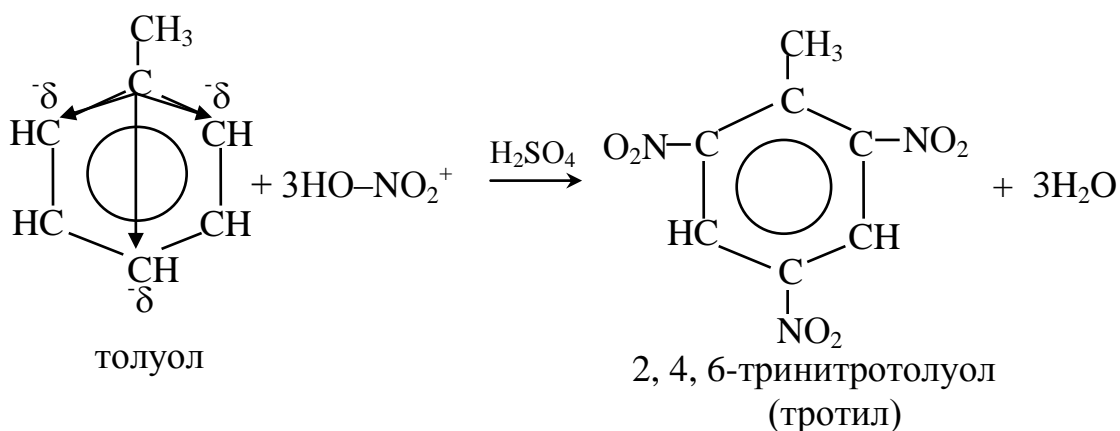


В бензоле электронная плотность в кольце распределяется равномерно и все атомы водорода в реакциях замещения равноценны. Если в ароматическом кольце уже есть заместитель, второй заместитель становится в определенное положение в зависимости от влияния первого заместителя, т.е. действует правило ориентации заместителей в бензольном кольце.

По направляющему действию заместители делятся на две группы: заместители первого и второго рода. В реакциях электрофильного замещения **заместители первого рода** направляют второй заместитель преимущественно в орто- и пара-положения. К ним относятся группы, способные отдавать электроны бензольному кольцу (электронодоноры):  $-\text{CH}_3$ ,  $-\text{OH}$ ,  $-\text{NH}_2$ , галогены.

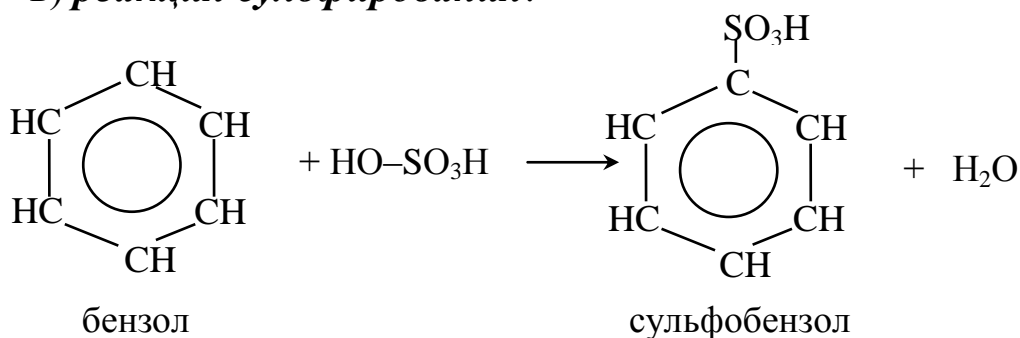
**Заместители второго рода** ориентируют второй заместитель в большей степени в мета-положение. К ним относятся группы, оттягивающие электроны на себя (электроноакцепторы):  $-\text{SO}_3\text{H}$ ,  $-\text{NO}_2$ ,  $-\text{COH}$ ,  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{CN}$ .

Так, нитрование метилбензола (толуола) происходит в орто- и пара-положение:

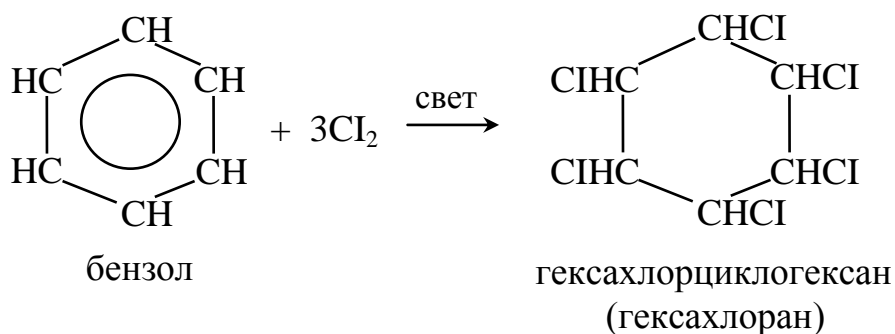


Тротил или тол проявляет детонационные свойства и применяется в качестве взрывчатого вещества и эталона мощности взрыва.

в) *реакция сульфирования:*



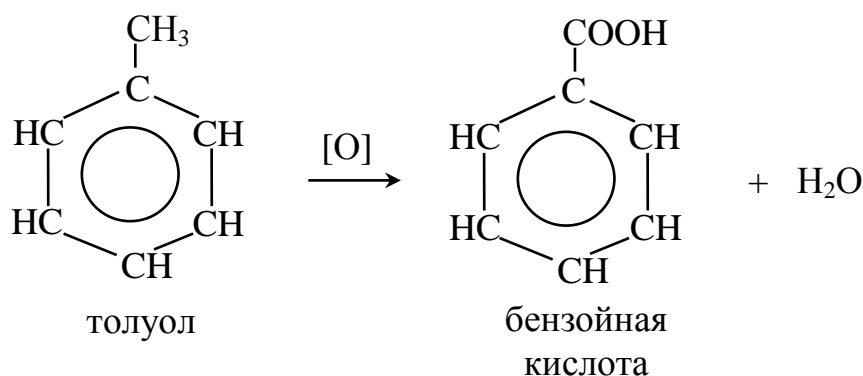
2. **Реакции присоединения** происходят с трудом, под действием катализатора, температуры, облучения. Например, реакция хлорирования бензола:



Гексахлоран применяется в качестве контактного инсектицида.

### 3. Реакции окисления.

Бензол не окисляется раствором  $\text{KMnO}_4$ , легко окисляются его гомологи с образованием ароматических кислот:



### ***Важнейшие представители и их применение***

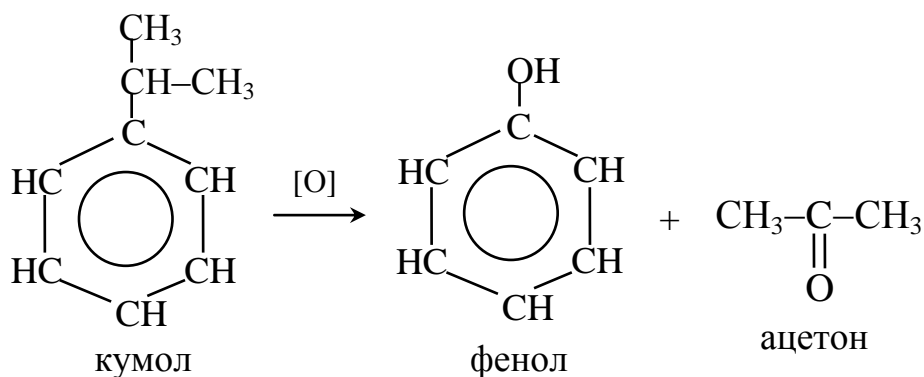
Бензол – ядовитая жидкость, применяется как хороший растворитель для синтеза красителей, лекарственных препаратов, пестицидов.

Толуол (метилбензол) используется в производстве взрывчатого вещества – тротила, красителей, бензальдегида, бензойной кислоты и т.д.

Стирол применяется в реакциях полимеризации для получения пластмасс и синтетического каучука.

Ксилолы (диметилбензолы) – хорошие растворители.

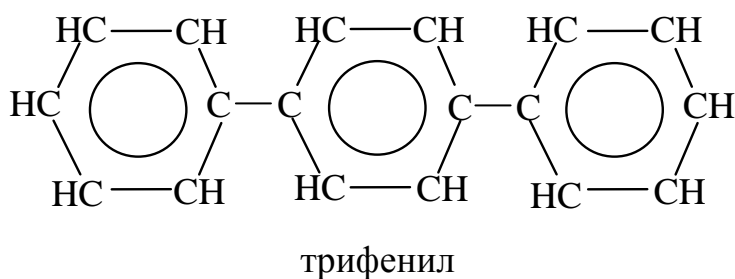
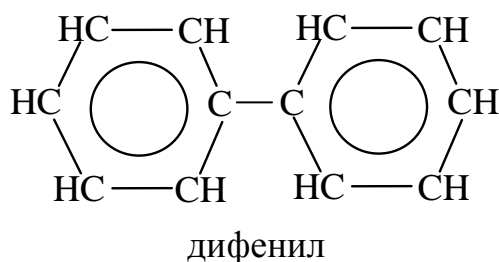
Кумол (изопропилбензол) при окислении образует ценные продукты – ацетон и фенол:



## Многоядерные ароматические углеводороды

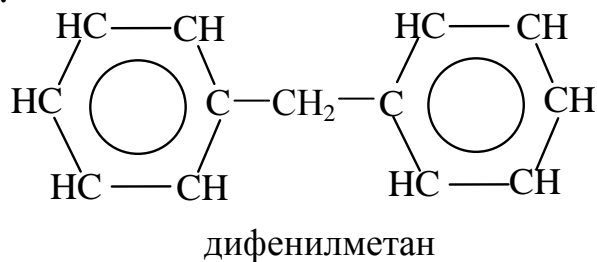
Углеводороды с несколькими ароматическими кольцами делятся на три группы:

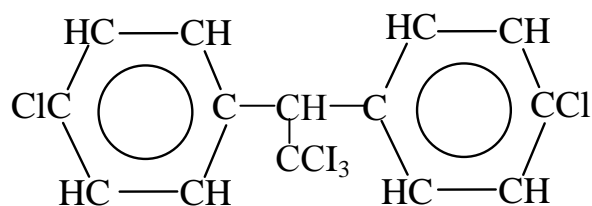
1) **группа дифенила** (кольца, соединенные между собой  $\sigma$ -связью):



Дифенил и трифенил применяются в качестве теплоносителей и для получения красителей.

2) **группа дифенилметана** (кольца разделены атомами углерода):

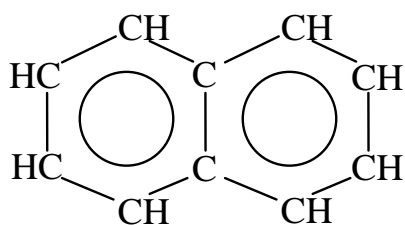




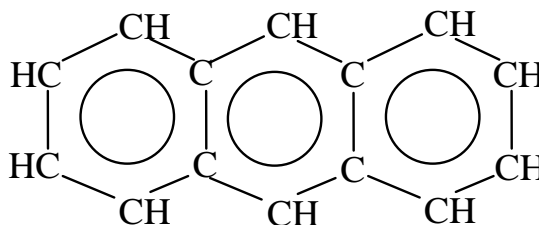
4,4-дихлордифенилтрихлорэтан

Хлорпроизводное 1,1-дифенилэтана является эффективным инсектицидом (ДДТ).

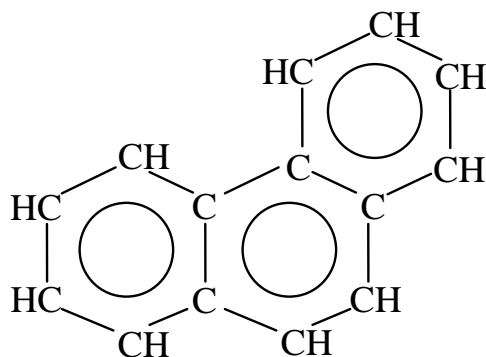
3) **группа нафталина** (с конденсированными ароматическими кольцами):



нафталин



антрацен



фенантрен

Многоядерные ароматические углеводороды являются канцерогенными веществами и применяются в производстве красителей и инсектицидов.

## Терпены

**Терпены** – это углеводороды общей формулы  $C_nH_{2n-4}$ . Наиболее распространены терпены  $C_{10}H_{16}$ . Они входят в состав эфирных масел, например, розового, лимонного, хвойного и др.

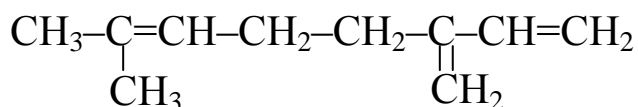
**Эфирные масла** – это пахучие, летучие, нерастворимые в воде вещества, обуславливающие запах растений. Они включают до 1000 компонентов, но главной составной частью являются терпены. Возделывается около 20 эфирносов. Особое значение имеют кориандр, анис, тмин, перечная мята, лаванда, герань, розы.

Получают эфирные масла из растений экстрагированием и перегонкой с водяным паром. Так, лимонное масло получают из лимонных корок. Выход очень низкий. Из 1000 штук получают 0,5 кг лимонного масла. Для получения 1 кг розового масла нужно переработать 2-3 т лепестков. С 1 га можно получить 2-3 кг розового масла. Эфирные масла широко применяют в технике, в парфюмерии, в пищевой промышленности.

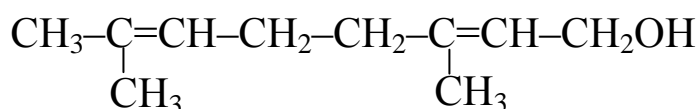
Терпены – это бесцветные жидкости с температурой кипения 150-180°C, легче воды, нерастворимые в воде. Терпены содержат 2 или 3 двойные связи, поэтому для них характерны реакции присоединения. В хвойном лесу они окисляют кислород воздуха до озона и создают освежающую атмосферу. Терпены бывают ациклические, моноциклические, бициклические. Они могут содержать гидроксильную или альдегидную группу.

### Ациклические терпены

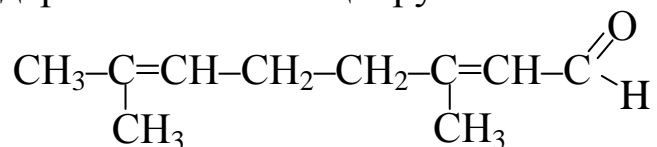
Мирцен – содержится в масле хмеля.



Гераниол – входит в состав розового масла.

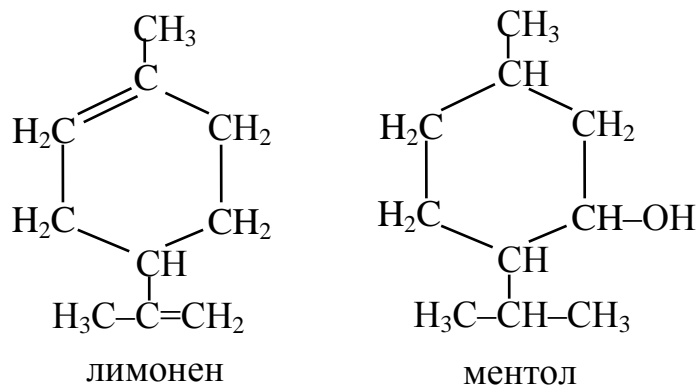


Цитраль – содержится в масле citrusовых.



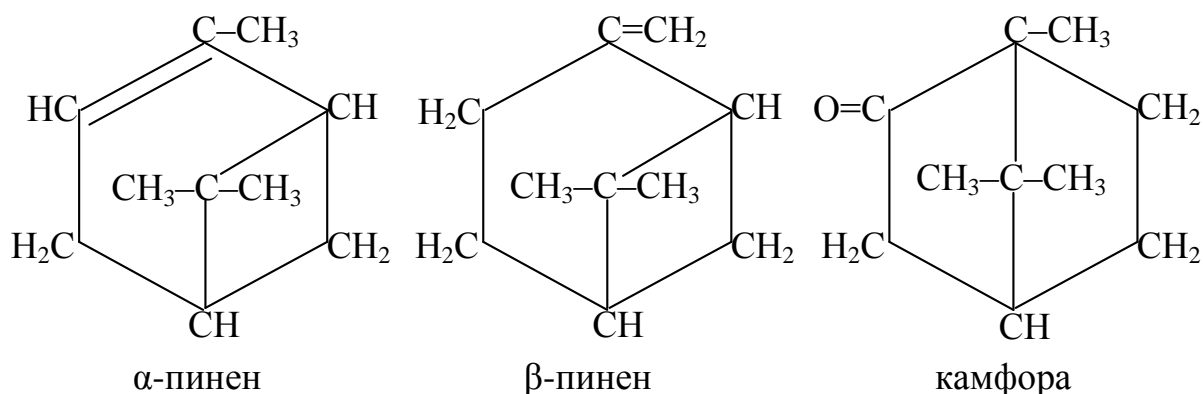
## Моноциклические терпены

Лимонен – содержится в эфирных маслах лимона, апельсина, сосновых игл, входит в состав тминного и укропного масел. Гидрированное кольцо лимонена содержится в ментоле, который является основой мятного масла.



## Бициклические терпены

Важнейшими представителями этой группы являются  $\alpha$ -пинен и  $\beta$ -пинен (основная часть скипидара) и камфора.



Скипидар получают из смолы хвойных деревьев – живицы. Живица состоит из скипидара (20%) и канифоли (80%). В скипидаре содержится 60-65%  $\alpha$ -пинена и 30%  $\beta$ -пинена. Скипидар используется как растворитель смол, лаков, жиров и т.п., а также в медицине для синтеза камфары.

Камфора – кристаллическое вещество со специфическим запахом, применяется в медицине для лечения сердечно-сосудистых заболеваний, для получения пластмасс.



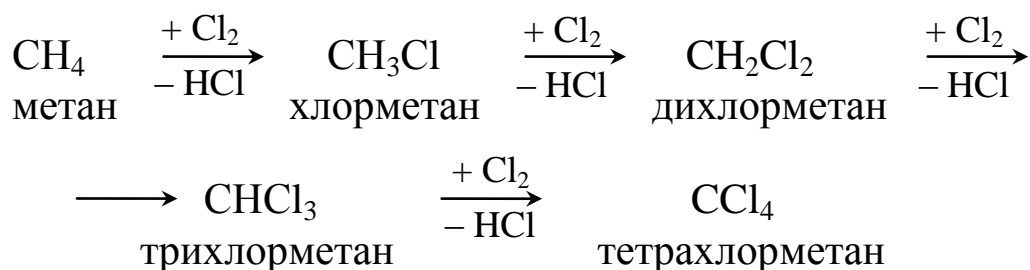
## Галогенопроизводные углеводородов

Производные углеводородов, содержащие в молекуле вместо одного или нескольких атомов водорода атомы галогенов (фтора, хлора, брома, йода), называются **галогенопроизводными**. В зависимости от типа связи в молекуле углеводорода галогенопроизводные делятся на предельные, непредельные, ароматические, а по числу атомов галогена – на моно-, ди-, три- и полигалогенопроизводные. Например:

$\text{CH}_3\text{—Cl}$	хлористый метил (хлорметан)
$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—Cl}$	хлористый этил (хлорэтан)
$\text{CHCl}_3$	хлороформ (трихлорметан)
$\text{CCl}_4$	четырёххлористый углерод (тетрахлорметан)
$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{—CH}_2 \\   \quad   \\ \text{Cl} \quad \text{Cl} \end{array}$	1,2-дихлорэтан
$\text{CH}_2=\text{CH—Cl}$	хлористый винил (хлорэтен)
$\text{C}_6\text{H}_5\text{—Cl}$	хлорбензол
$\text{C}_6\text{H}_5\text{—CH}_2\text{—Cl}$	хлористый бензил

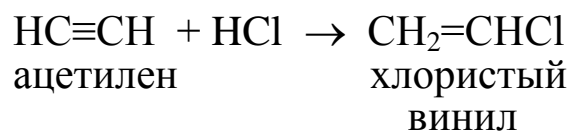
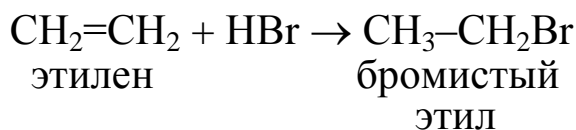
### Способы получения

1. Галогенирование углеводородов, т.е. замещение атомов водорода на галоген. Так, хлорирование метана происходит ступенчато и в результате образуются различные хлорпроизводные:

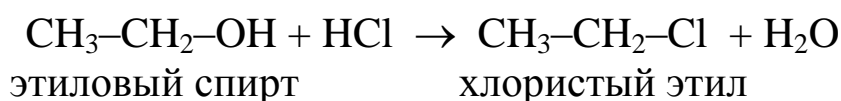


Реакция хлорирования происходит на свету по радикальному механизму, рассмотренному ранее. Бромирование происходит труднее.

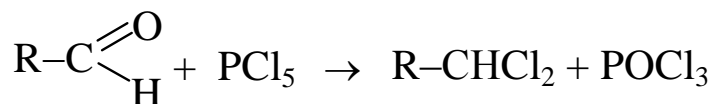
2. Присоединение галогеноводородов к непредельным углеводородам (алкенам, алкинам). Например:



3. Замещение гидроксильной группы в спиртах на галоген. Например:



4. Замещение кислорода в карбонильной группе в альдегидах и кетонах на галоген. Например:

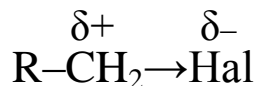


### *Физические свойства*

Хлористый метил и хлористый винил – газообразные вещества. Большинство из галогенопроизводных – жидкости с характерным запахом, не растворимые в воде, токсичны.

### *Химические свойства*

Галогенопроизводные содержат сильно поляризованную  $\sigma$ -связь, что определяет их реакционную способность:

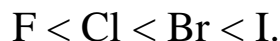


1. Реакции замещения. Например:

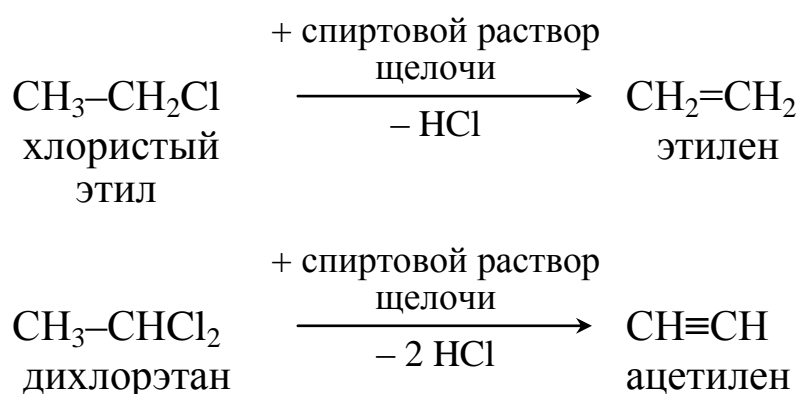


Эти реакции происходят с участием нуклеофильных реагентов ( $\text{OH}^-$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_3$ ) и относятся к реакциям нуклеофильного замещения. Реакционная способность галогенопроизводных в таких реакциях зависит от типа углеводородного радикала, природы галогена и условий реакции.

Активность галогенопроизводных возрастает в ряду:



**2. Отщепление галогеноводородов** под действием спиртовых растворов щелочей с образованием алкенов и алкинов:



На основе галогенопроизводных можно получить органические соединения любого класса, что используется в органическом синтезе.

### *Важнейшие представители и их применение*

Хлористый метил применяется в качестве метилирующего средства, хладагента в холодильных установках.

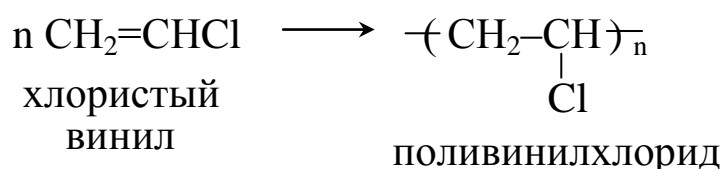
Хлористый этил используется для получения тетраэтилсвинца, который применяется для улучшения качества бензина.

Дихлорэтан широко применяется как растворитель для экстракции жиров и масел, обезжиривания шерсти, металлических изделий, для синтеза этиленгликоля.

Хлороформ – тяжелая жидкость с приторным запахом, хороший растворитель, применяется в производстве фреонов (хладагентов).

Четыреххлористый углерод в отличие от других органических соединений негорюч, применяется для заправки огнетушителей и в качестве растворителя.

Хлористый винил является мономером поливинилхлорида (ПВХ), из которого изготавливают синтетическое волокно, изоляционные материалы, упаковочный материал, заменители кожи, линолеума.



Хлористый аллил ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2\text{Cl}$ ) – исходное вещество для синтеза глицерина и аллилового спирта.

Хлорбензол получают хлорированием бензола и применяют для синтеза различных ароматических производных.

Гексахлорциклогексан (гексахлоран) используется в сельском хозяйстве в качестве высокоэффективного контактного инсектицида.

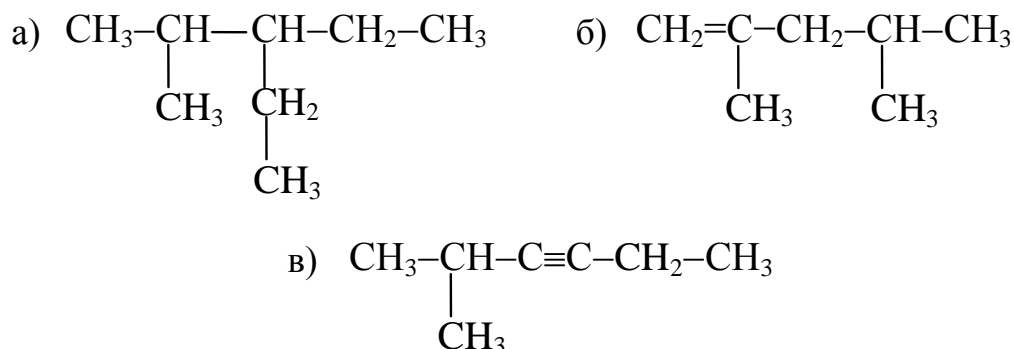
Дифтордихлорметан ( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ) – это газ без цвета, запаха и вкуса, относится к группе фреонов, которые используются в холодильных установках.

Тetraфторэтилен служит исходным сырьем для производства полимера «тефлона» (фторопласта), отличающегося высокой стойкостью к действию повышенной температуры в агрессивных средах, применяется в химическом машиностроении для изготовлении изоляционных материалов, арматуры и т.п.

### Вопросы для самоконтроля

1. Какие соединения относятся к классу «углеводороды»?
2. На какие группы делятся углеводороды?
3. Опишите принципы номенклатуры углеводородов.
4. Составьте формулы следующих углеводородов:
  - а) 2,2,5-триметилпентан;
  - б) 2,6-диметил-4-этилгептен-2;
  - в) 2,5-диметилгексин-3.

5. Дайте название следующим соединениям:



6. Приведите низшие гомологи предельных углеводородов (алканов).

7. Какой тип реакций наиболее характерен для алканов?

8. В какие типы реакций вступают непредельные углеводороды (алкены и алкины)?

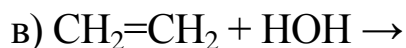
9. Какие реакции позволяют доказать наличие двойной или тройной связи в молекуле углеводорода?

10. Запишите реакции полимеризации этилена и бутадиена-1,3. Где применяются приведенные полимеры?

11. Приведите примеры ароматических углеводородов.

12. Какие продукты переработки углеводородов применяются в сельском хозяйстве?

13. Допишите схемы следующих реакций:



14. Какие углеводороды входят в состав душистых веществ и обуславливают запах растений?

15. Какие соединения относятся к классу «галогенопроизводных углеводородов»? Опишите их способы получения и химические свойства.

## СПИРТЫ И ФЕНОЛЫ

**Спирты** – это производные углеводородов, содержащие гидроксильную группу –ОН.

### *Классификация*

1. По типу углеводородного радикала  $R$ , связанного с гидроксильной группой, различают: предельные, непредельные и ароматические спирты.
2. По атомности, т.е. по числу гидроксильных групп, спирты делятся на одноатомные, двухатомные (гликоли), трехатомные (глицерины) и многоатомные.
3. По расположению гидроксильной группы в углеродной цепи спирты принято делить на первичные ( $-\text{CH}_2-\text{OH}$ ), вторичные ( $>\text{CH}-\text{OH}$ ) и третичные ( $-\overset{|}{\text{C}}-\text{OH}$ ).

### Одноатомные спирты

Одноатомные спирты содержат одну гидроксильную (или окси-) группу и могут быть предельными, непредельными и ароматическими.

### *Строение, изомерия, номенклатура*

Предельные спирты. Общая формула  $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}$ .

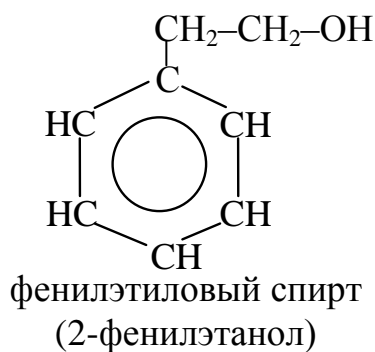
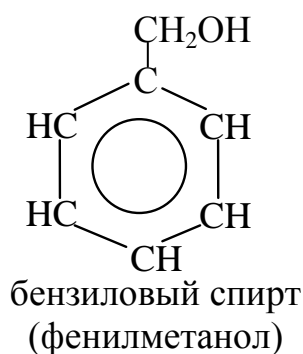
Важнейшие представители одноатомных спиртов:

$\text{CH}_3\text{OH}$	метиловый спирт (метанол)
$\text{CH}_3-\text{CH}_2\text{OH}$	этиловый спирт (этанол)
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{OH}$	н-пропиловый спирт (пропанол-1) (первичный)
$\text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_3$	изопропиловый спирт (пропанол-2) (вторичный)

Непредельные спирты:

$\text{CH}_2=\text{CHOH}$	виниловый спирт (этенол)
$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2\text{OH}$	аллиловый спирт (пропенол)

## Ароматические спирты



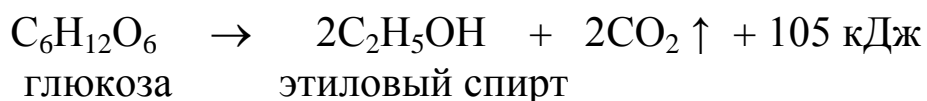
В соответствии с правилами номенклатуры ИЮПАК названия спиртов складываются из названия соответствующего углеводорода, к которому прибавляется окончание «-ол».

## Предельные спирты

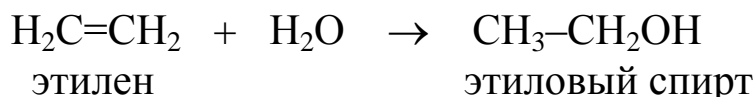
**Нахождение в природе.** Одноатомные спирты в природе в свободном состоянии встречаются в небольших количествах. Они входят в состав душистых веществ, эфирных масел. Широко распространены производные спиртов в виде простых и сложных эфиров.

### *Способы получения*

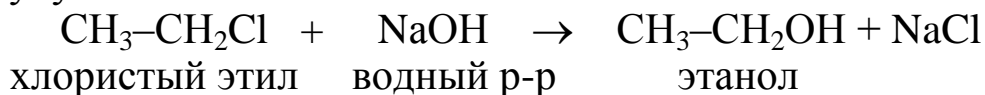
1. Брожение сахаристых веществ растительного сырья (картофеля, риса, хлебных злаков) используется для получения этилового спирта. **Брожение** – бескислородный распад органических веществ, происходящий под действием биологических катализаторов (ферментов), вырабатываемых микроорганизмами:



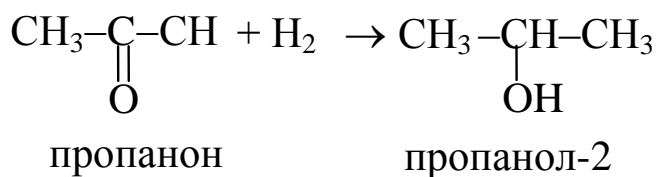
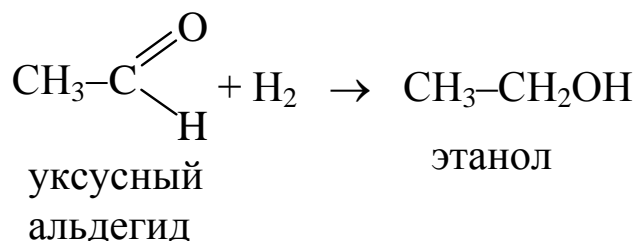
2. Присоединение воды к алкенам (*реакция гидратации*) происходит при температуре 300°C:



3. Щелочной гидролиз галогенопроизводных алканов – **общий способ** введения гидроксильной группы в органическую молекулу:



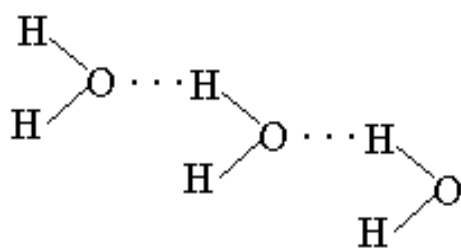
4. Восстановление альдегидов и кетонов. При этом из альдегидов образуются первичные спирты, из кетонов – вторичные:



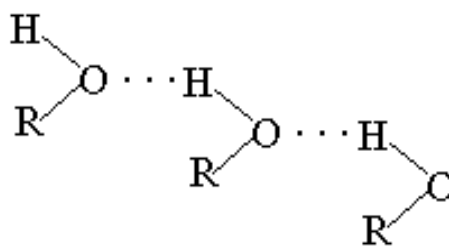
### Физические свойства

Низшие гомологи спиртов - бесцветные жидкости с характерным запахом, растворимые в воде, средние (до C<sub>11</sub>) – жидкости, высшие спирты – твердые вещества, нерастворимые в воде.

Температура кипения спиртов выше, чем у соответствующих углеводородов. Так, метан – газ, кипит при –162°С, метиловый спирт – жидкость, T<sub>кип</sub> +64,7°С. Это объясняется тем, что молекулы спиртов, так же как молекулы воды, ассоциированы между собой за счет водородных связей.



ассоциация  
молекул воды



ассоциация  
молекул спирта

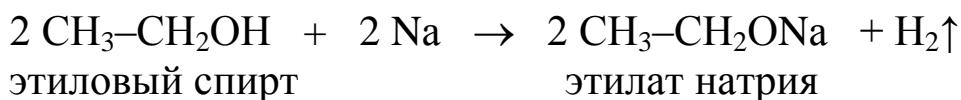
**Водородная связь** – это вид связи, которая образуется в результате донорно-акцепторного взаимодействия подвижного атома водорода (акцептора) с неподделенной парой электронов атома кислорода (донора).



## Химические свойства

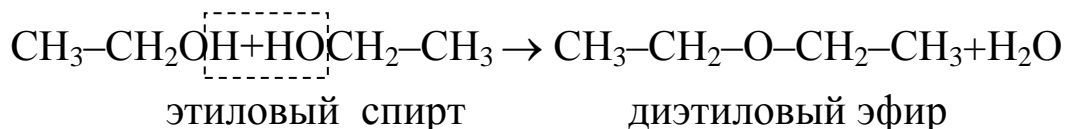
Одноатомные спирты по своему характеру соединения нейтральные, их растворы не проводят электрический ток. Но атом водорода в гидроксильной группе обладает определенной подвижностью и способен к замещению.

1. **Образование алкоголятов** (замещение атома водорода на щелочной металл):

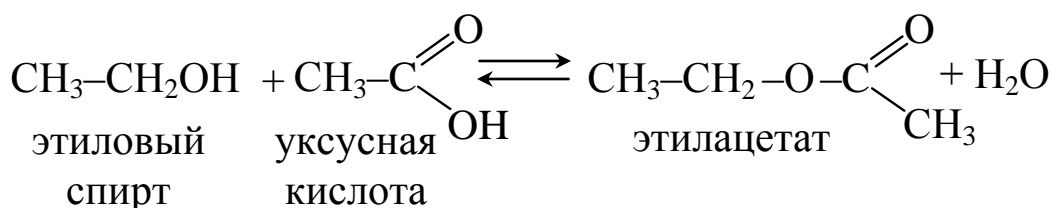


2. **Образование эфиров:**

а) образование простых эфиров (*межмолекулярная дегидратация*):

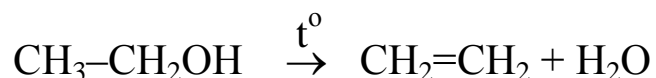


б) образование сложных эфиров (*реакция этерификации*):

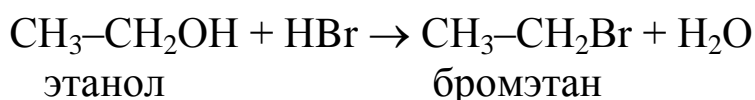


Обратная реакция называется *реакцией омыления*.

3. **Внутримолекулярная дегидратация спиртов:**

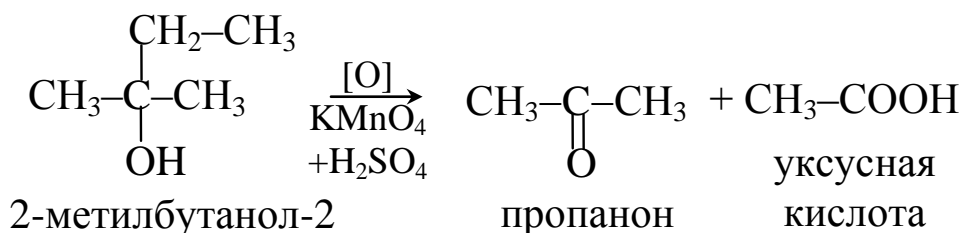
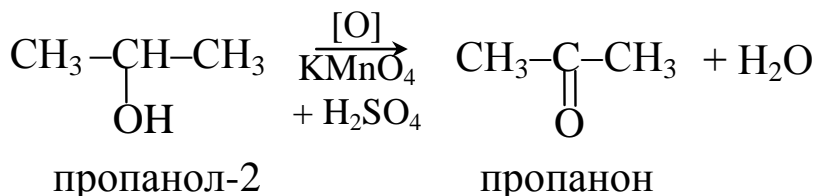
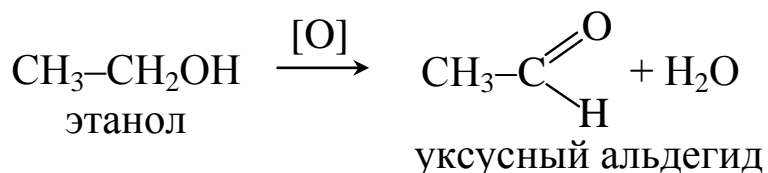


4. **Реакция замещения OH-группы на галоген:**



5. **Реакция окисления:**

Первичные спирты окисляются с образованием альдегидов, вторичные – с образованием кетонов. Третичные спирты окисляются в более жестких условиях с разрывом углеродной цепи:



### ***Важнейшие представители и их применение***

Метиловый спирт (метанол) – бесцветная жидкость со спиртовым запахом, растворимая в воде, ядовита (80 мл метанола – смертельная доза). Метиловый спирт применяется в качестве растворителя, как горючее, для получения формальдегида, пластмасс, лекарственных препаратов.

Этиловый спирт (этанол, винный спирт) – жидкость с характерным запахом, жгучая на вкус, смешивается с водой в любых отношениях. Спирт-ректификат содержит 96% этилового спирта и 4% воды, которая не отделяется при перегонке. Промышленное значение этанола очень велико. Он применяется в медицине, пищевой промышленности, парфюмерии, как растворитель, для получения синтетического каучука, лаков, красок и т.д.

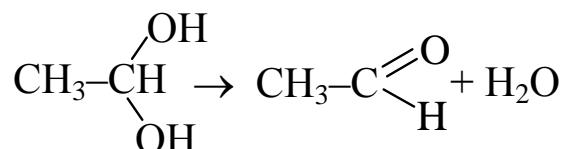
Пропиловые и бутиловые спирты содержатся в «сивушных маслах», применяются в качестве растворителей и в органическом синтезе.

Высшие спирты в виде сложных эфиров входят в состав восков животного и растительного происхождения.

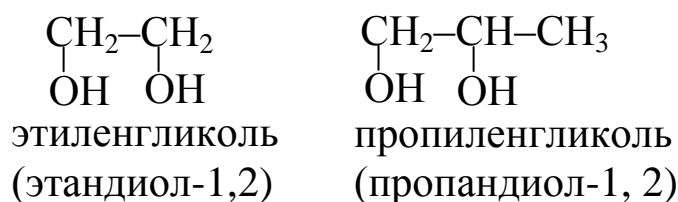


## Многоатомные спирты

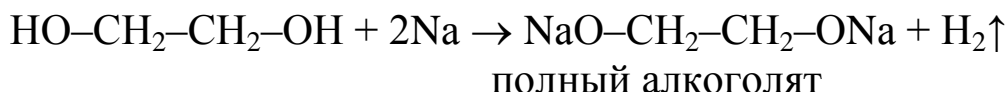
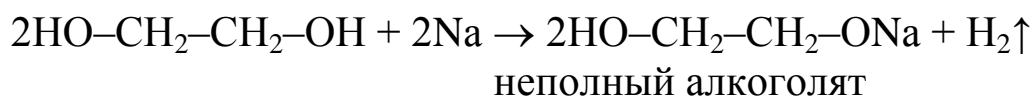
**Двухатомные спирты** (гликоли, диолы) содержат две гидроксильные группы при разных атомах углерода. В противном случае спирты не устойчивы, легко превращаются в альдегиды или кетоны:



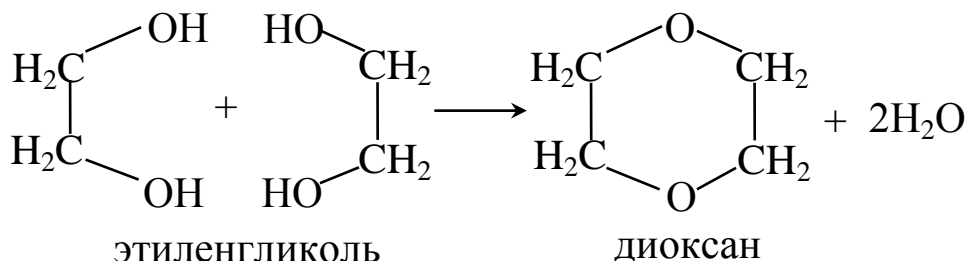
Наиболее часто встречаются и применяются 1,2-диолы.



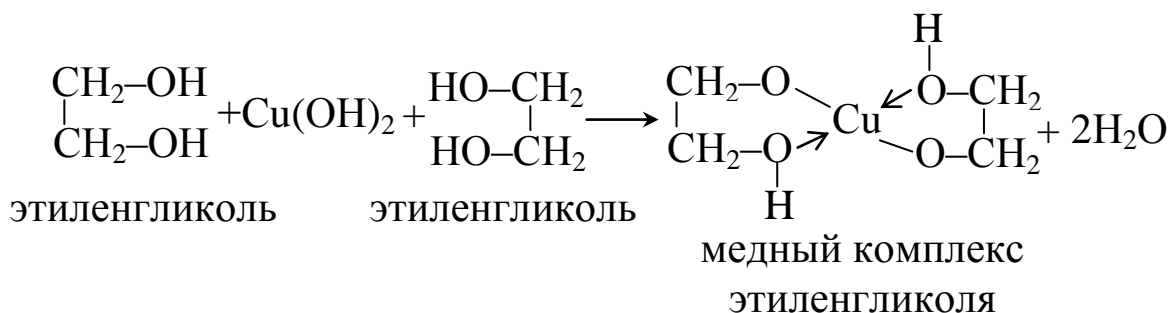
Получают гликоли окислением алкенов по Вагнеру. Двухатомные спирты проявляют свойства одноатомных. С участием одной гидроксильной группы образуются неполные производные, с участием двух – полные:



Важным продуктом химической промышленности является циклический эфир этиленгликоля – диоксан.

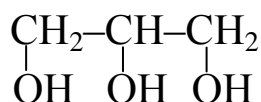


В молекулах двухатомных спиртов атомы водорода более подвижны, чем у одноатомных, поэтому гликоли обладают кислотными свойствами и образуют комплексные соединения с гидроксидами тяжелых металлов:

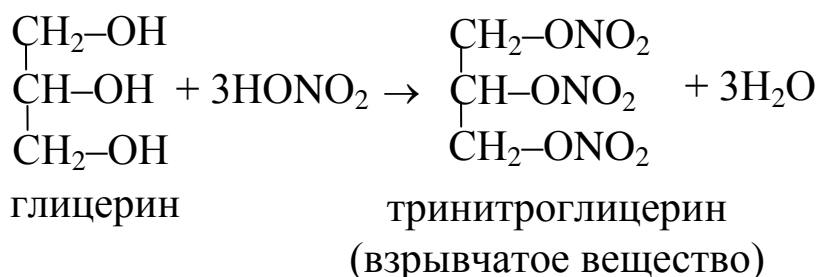


Этиленгликоль – вязкая, сладкая на вкус, ядовитая жидкость, применяется в технике для приготовления антифризов, используемых для охлаждения автомобильных и авиационных двигателей, а также для получения синтетического волокна «лавсана».

**Трехатомные спирты (триолы, глицерины).** Важнейшим представителем трехатомных спиртов является глицерин (пропантриол-1,2,3):

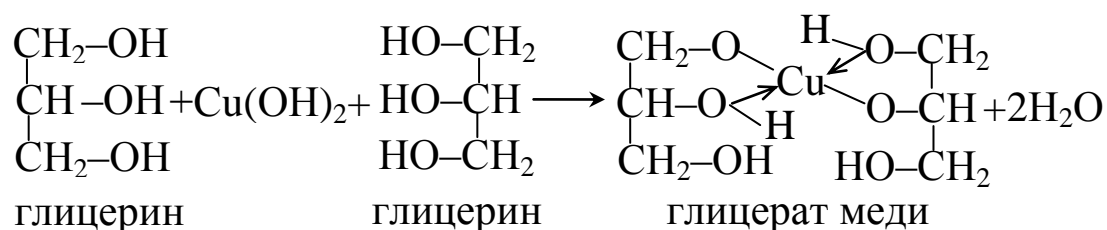


Это сиропообразная, сладкая на вкус, не ядовитая жидкость, растворимая в воде. Пары его ядовиты. Глицерин имеет важное биологическое значение, т.к. входит в состав липидов. Применяется в пищевой промышленности для приготовления ликеров и безалкогольных напитков, в бумажной и кожевенной промышленности для предохранения материалов от высыхания, а также в медицине, косметологии и в производстве взрывчатых веществ.



Динамит – инфузорная земля (или асбест), пропитанная тринитроглицерином. Открытие взрывчатых свойств динамитов принадлежит А. Нобелю, имя которого носит Нобелевская премия.

Глицерин проявляет общие свойства спиртов, т.е. образует простые и сложные эфиры, окисляется по стадиям, но в отличие от одноатомных спиртов взаимодействует с основаниями тяжелых металлов, проявляя кислотные свойства.

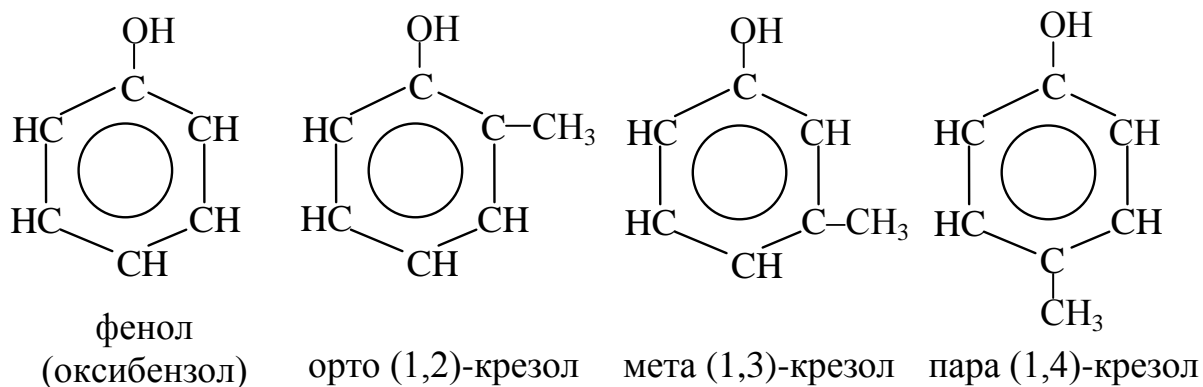


Пятиатомный спирт ксилит  $\text{HOCH}_2\text{-(CHOH)}_3\text{-CH}_2\text{OH}$  и шестиатомный спирт сорбит  $\text{HOCH}_2\text{-(CHOH)}_4\text{-CH}_2\text{OH}$  распространены в природе и применяются в медицине и пищевой промышленности в качестве заменителей сахара.

## Фенолы

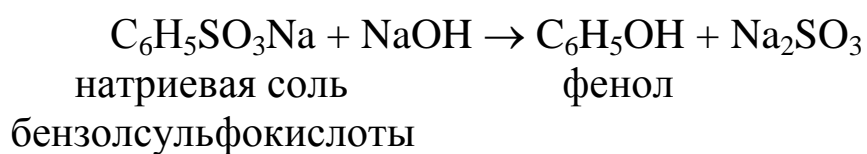
**Фенолы** (оксибензолы) – производные ароматических углеводородов, в молекулах которых атомы водорода при углероде ароматического кольца замещены на гидроксильные группы. Различают одноатомные, двухатомные и трехатомные фенолы.

### Одноатомные фенолы

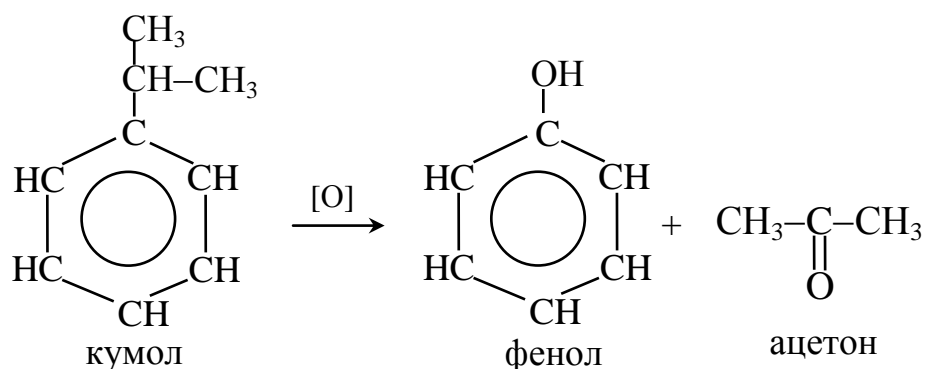


### Способы получения

1. Фракционирование каменноугольной смолы.
2. Сплавление солей ароматических сульфокислот со щелочами:



### 3. Окисление кумола (изопропилбензола):



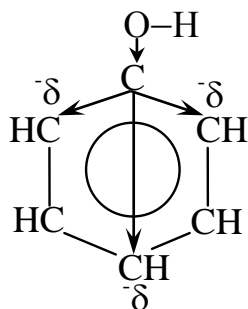
#### *Физические свойства*

Фенолы – кристаллические вещества с характерным резким запахом, низшие гомологи растворимы в воде, ядовиты, обладают антисептическим (противомикробным) действием.

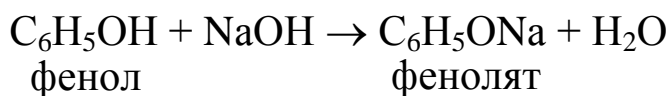
#### *Химические свойства*

В молекуле фенола наблюдается взаимное влияние гидроксильной группы и ароматического кольца друг на друга. Под влиянием бензольного кольца увеличивается подвижность атома водорода в гидроксильной группе, т.е. усиливаются кислотные свойства.

Под влиянием гидроксильной группы за счет оттягивания электронной пары атома кислорода к бензольному кольцу (положительный мезомерный эффект) происходит увеличение электронной плотности ароматического кольца в орто- и пара-положениях и повышается его реакционная способность в реакциях замещения.

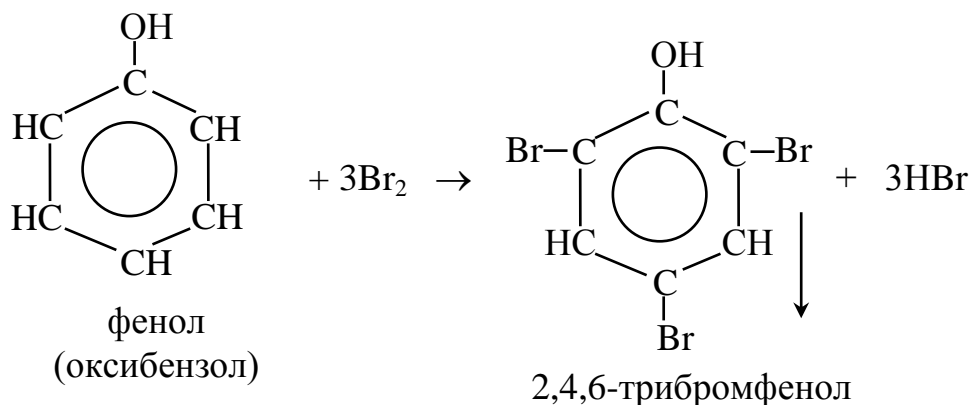


1. **Взаимодействие со щелочами** (в отличие от спиртов) с образованием фенолятов:

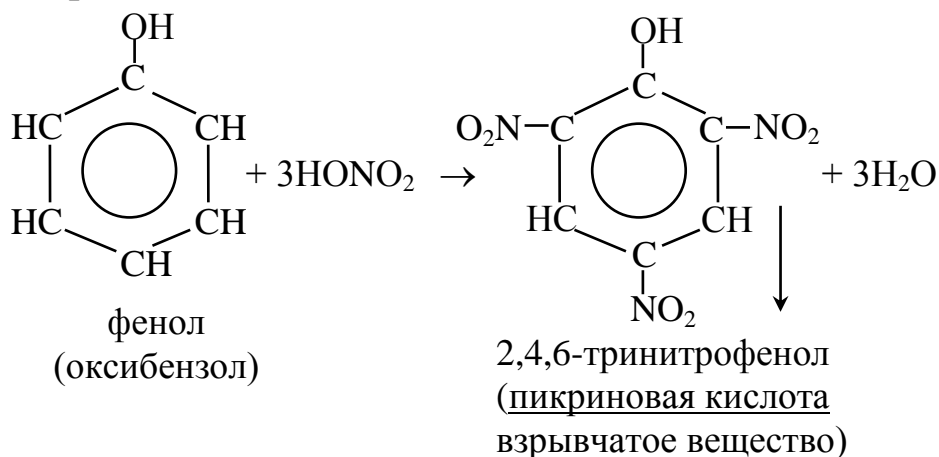


2. **Реакции замещения** (происходят в *орто*- и *пара*-положение).

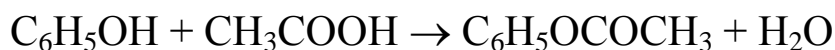
а) бромирование:



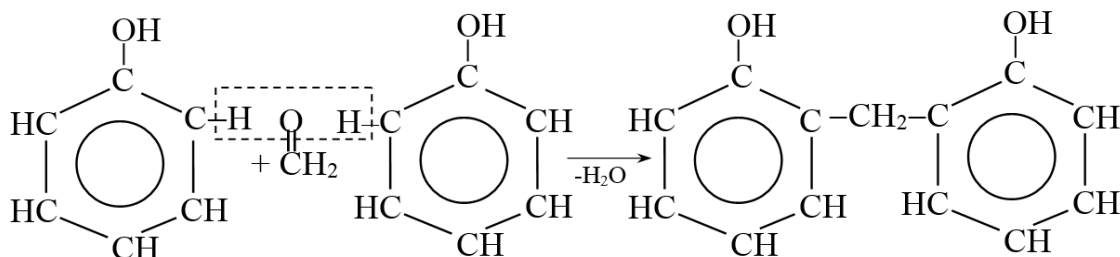
б) нитрование:



3. **Реакция этерификации:**

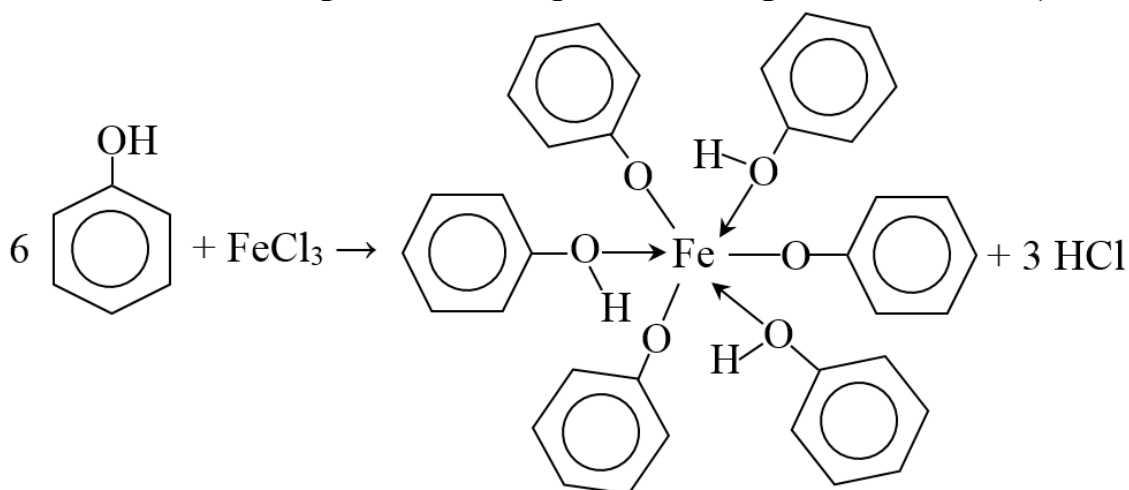


4. **Конденсация** с формальдегидом с образованием фенол-формальдегидных смол:





## 5. Качественная реакция на фенол с хлоридом железа (III):

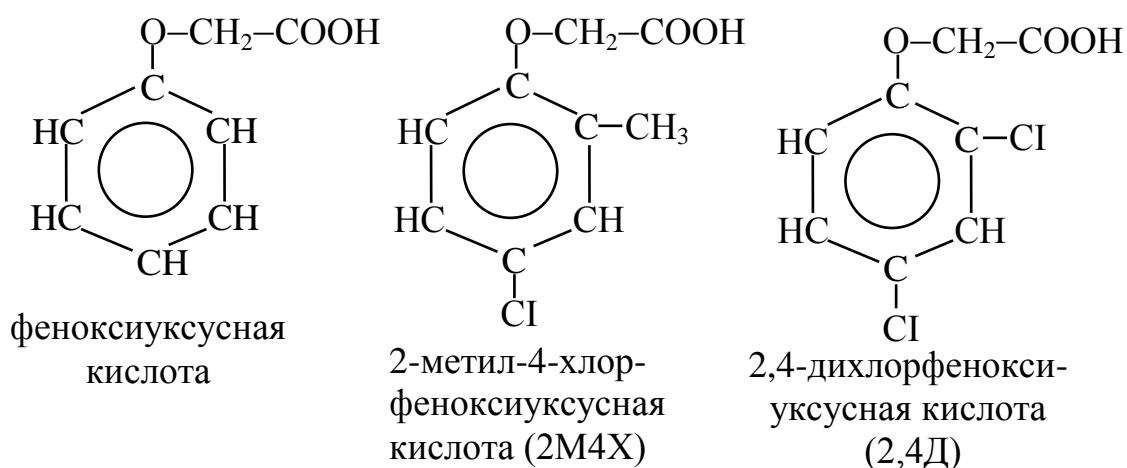


комплексный фенолят железа (III)  
(фиолетовый цвет)

### *Важнейшие представители и их применение*

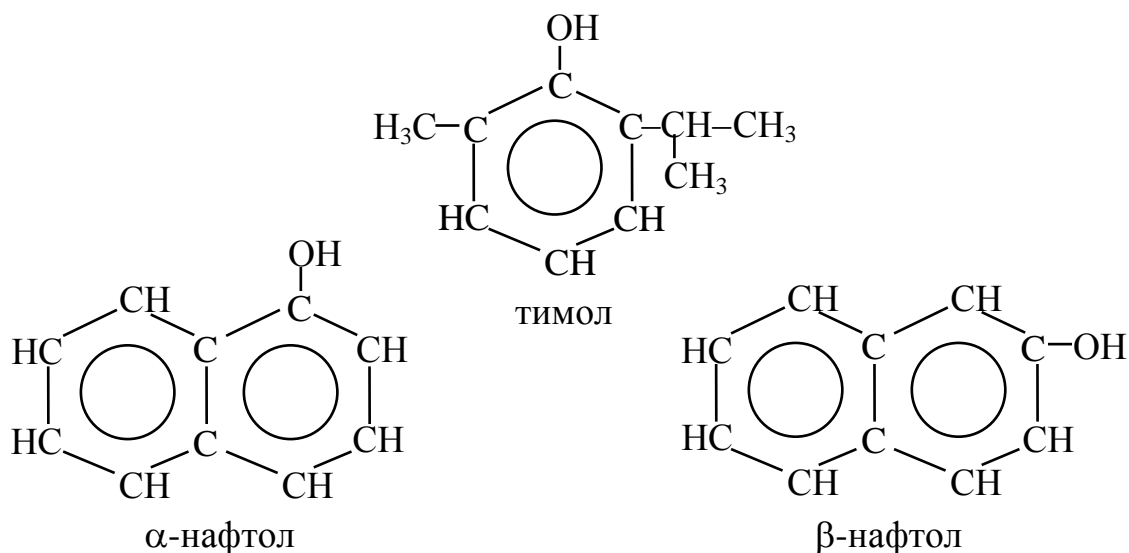
Фенол (оксибензол, карболовая кислота) применяется для производства фенолформальдегидных смол (фенопластов), красителей, дезинфицирующих средств, дубильных, взрывчатых веществ, лекарственных препаратов, пестицидов на основе феноксиуксусной кислоты (гербицидов и регуляторов роста).

**Гербициды** – это средства борьбы с сорняками. В малых дозах эти соединения действуют как регуляторы роста:



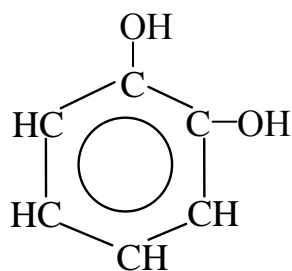
Крезол используют при изготовлении синтетических смол, красителей, для пропитки древесины в целях предохранения от гниения, благодаря бактерицидным свойствам.

Тимол (5-метил-2-изопропил-1-оксибензол) содержится в тминном масле, применяется как антисептик.

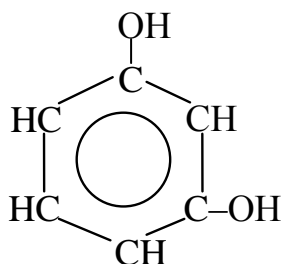


Нафтолы ( $\alpha$ - и  $\beta$ -) являются основой витаминов группы К, применяются в производстве красителей, антисептиков и ростовых веществ.

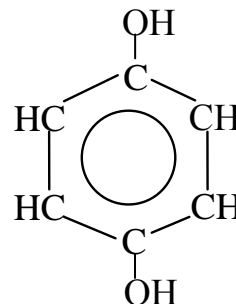
### Двухатомные фенолы



1,2-диоксибензол  
(пирокатехин)



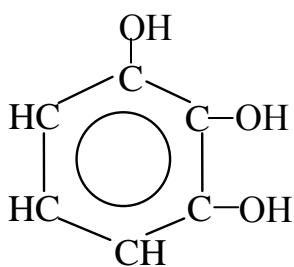
1,3-диоксибензол  
(резорцин)



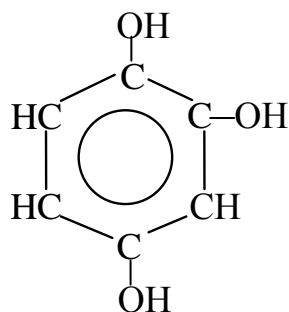
1,4-диоксибензол  
(гидрохинон)

Диоксибензолы применяются для производства красителей, взрывчатых веществ, лекарств, ванилина, душистых веществ, а также в фотографии.

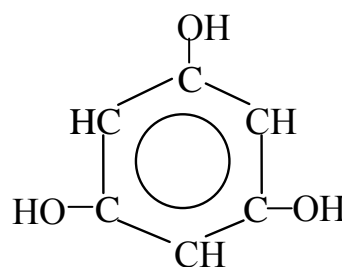
### Трехатомные фенолы



1,2,3-триоксибензол  
(пирогаллол)



1,2,4-триоксибензол  
(оксигидрохинон)



1,3,5-триоксибензол  
(флороглюцин)

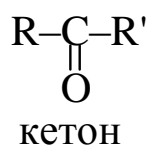
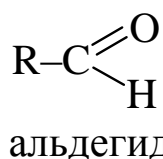
Эти соединения содержатся в эфирных маслах, в семенах тыквы, в дубильных веществах, используются в качестве лекарственных препаратов и в фотографии.

### Вопросы для самоконтроля

1. Какие органические соединения относятся к классу спиртов?
2. Опишите классификацию спиртов, приведите примеры.
3. В какие реакции вступает этиловый спирт? Запишите схемы реакций.
4. Где используется этиловый спирт?
5. Какая реакция называется реакцией этерификации?
6. Составьте формулы двух- и трехатомных спиртов.
7. Какие химические свойства характерны для многоатомных спиртов?
8. С помощью какой реакции можно отличить многоатомные спирты от одноатомных?
9. Какое биологическое значение имеет трехатомный спирт глицерин?
10. Какие соединения называют фенолами? Приведите формулы фенолов.
11. Опишите химические свойства фенолов.
12. Какая качественная реакция используется для обнаружения фенолов?
13. Где применяются фенолы?
14. Какие производные фенолов используются в качестве пестицидов в сельском хозяйстве?
15. Допишите схемы следующих реакций:
  - а)  $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—OH} + \text{Na} \rightarrow$
  - б)  $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—OH} + \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow$
  - в)  $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—OH} + [\text{O}] \rightarrow$
  - г)  $\text{C}_6\text{H}_5\text{—OH} + \text{NaOH} \rightarrow$

## АЛЬДЕГИДЫ И КЕТОНЫ (ОКСОСОЕДИНЕНИЯ)

Альдегиды и кетоны являются производными углеводов, которые содержат карбонильную (оксо-) группу  $>C=O$ . В альдегидах углерод карбонильной группы связан с атомом водорода и углеводородным радикалом, а в кетонах – с двумя углеводородными радикалами.

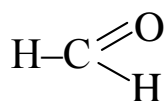


Группа  $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C} \\ \backslash \\ \text{H} \end{array}$  называется альдегидной группой, а группа  $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}- \end{array}$  называется кетонной группой.

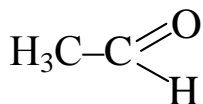
### Классификация

Альдегиды и кетоны различают по типу углеводородного радикала R. Тривиальные названия альдегидов соответствуют названиям кислот, в которые они окисляются. Названия кетонов складываются из названий радикалов и слова «кетон» (рациональная номенклатура). По номенклатуре ИЮПАК наличие альдегидной группы обозначается окончанием «аль», наличие кетонной группы – окончанием «он».

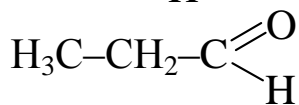
### Предельные альдегиды и кетоны:



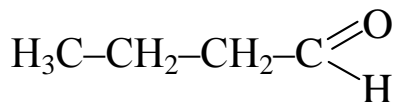
муравьиный альдегид (метаналь)



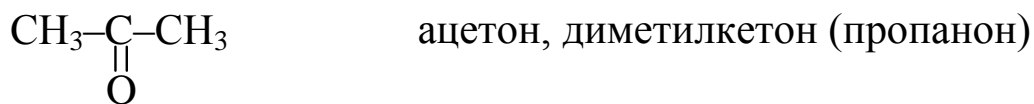
уксусный альдегид (этаналь)



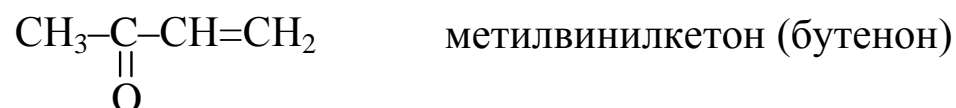
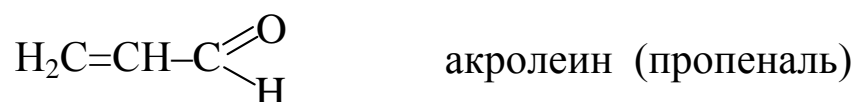
пропионовый альдегид (пропаналь)



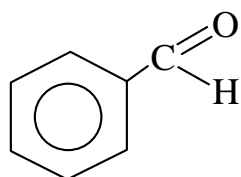
масляный альдегид (бутаналь)



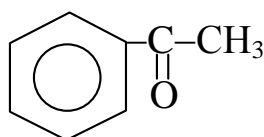
### Непредельные альдегиды и кетоны:



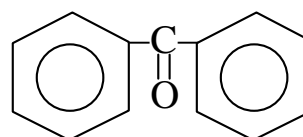
### Ароматические альдегиды и кетоны:



бензойный  
альдегид  
(бензальдегид)



ацетофенон  
(метилфенилкетон)



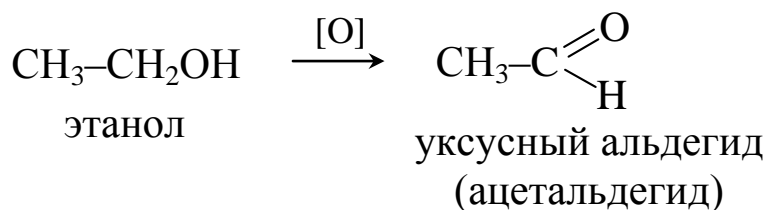
бензофенон  
(дифенилкетон)

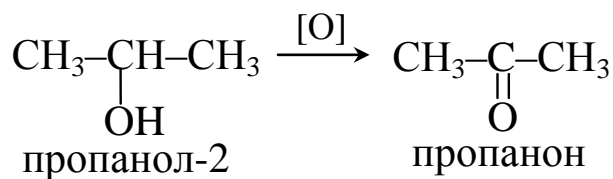
Кроме того, по числу карбонильных групп оксосоединения подразделяются на моно-, ди- и поликарбонильные (например, диальдегид, дикетон и т.д.).

### Способы получения

Альдегиды и кетоны входят в состав эфирных масел, а также образуются при окислении природных органических соединений.

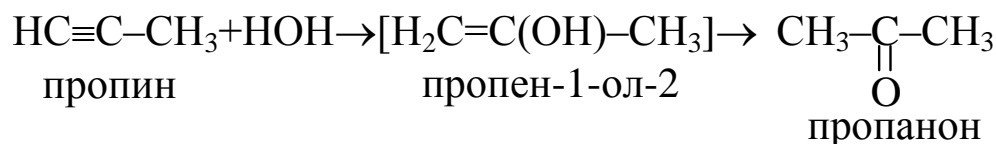
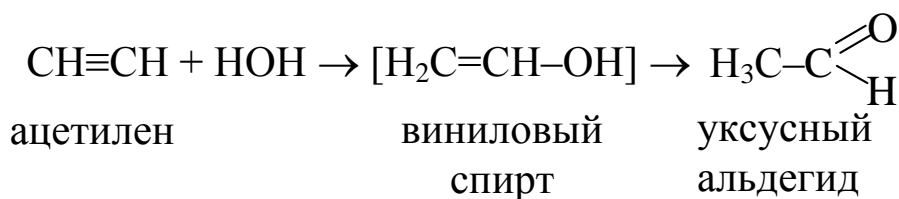
#### 1. Окисление спиртов:





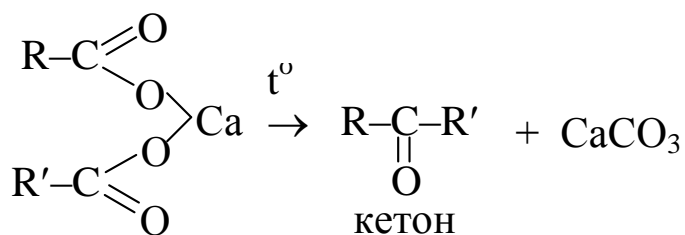
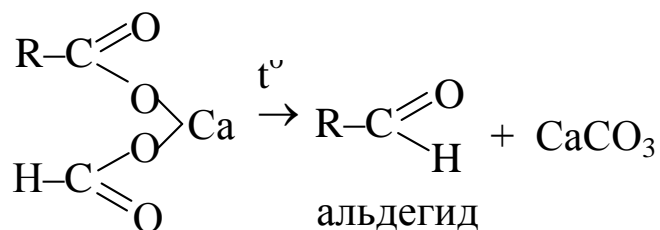
Аналогичные продукты образуются при денатурировании спиртов.

2. Гидратация ацетиленовых углеводородов (реакция Кучерова):



3. Пиролиз солей органических кислот.

При нагревании солей, содержащих остаток муравьиной кислоты, образуются альдегиды, остальные соли дают кетоны:

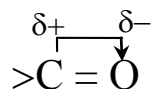


### ***Физические свойства***

Муравьиный альдегид – газ, остальные альдегиды и кетоны – жидкости или твердые вещества, легче воды, в большинстве растворимые в воде.

## Химические свойства

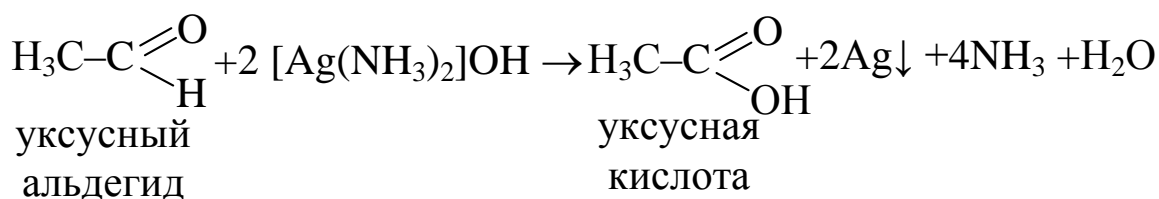
Альдегиды и кетоны – самые реакционноспособные органические соединения, т.к. содержат активную полярную карбонильную группу:



Поэтому они вступают во все типы органических реакций: окисления, присоединения, замещения, полимеризации и поликондесации. Причем альдегиды активнее, чем кетоны, в молекулах которых сказывается влияние второго радикала на карбонильную группу.

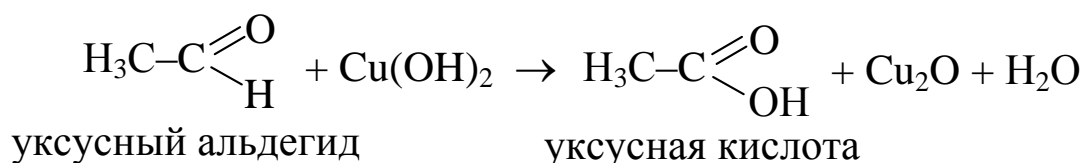
### 1. Реакции окисления.

Альдегиды окисляются более слабыми окислителями, чем кетоны, с образованием карбоновых кислот с тем же числом атомов углерода:

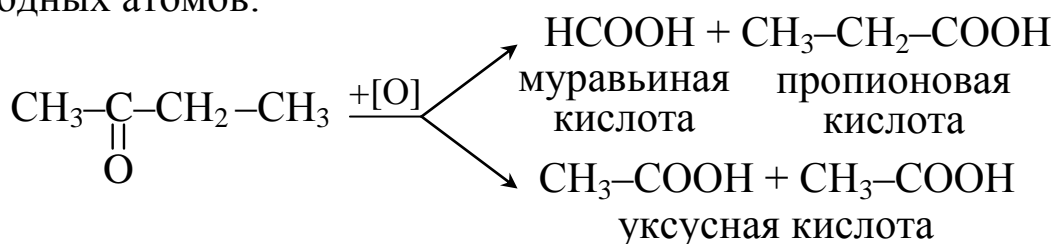


Эта реакция называется «**реакцией серебряного зеркала**», является качественной на альдегидную группу и позволяет установить ее наличие в сложных природных соединениях.

Окисление альдегидов может происходить и под действием гидроксида меди (II) с выделением оксида меди (I):

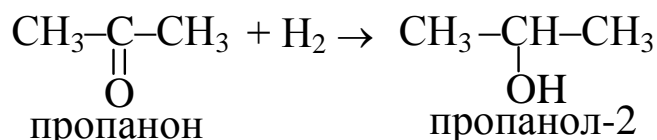
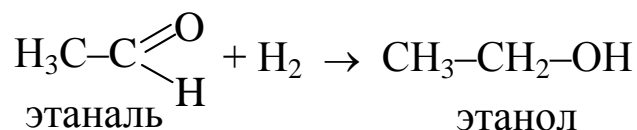


Кетоны окисляются сильными окислителями с разрывом углеродной цепи и образованием кислот с меньшим числом углеродных атомов:

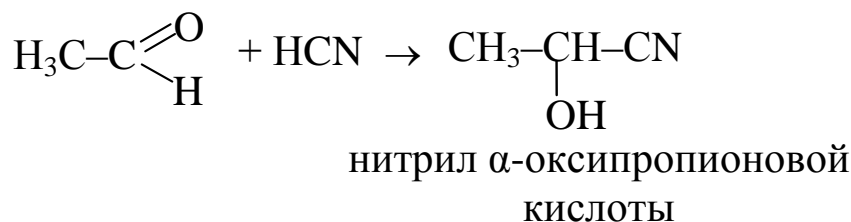


2. **Реакции присоединения** происходят за счет разрыва двойной связи в карбонильной группе:

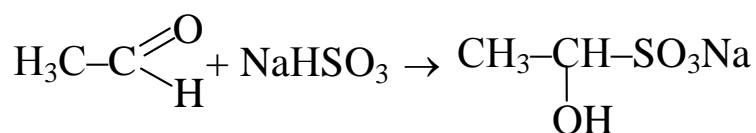
а) реакция восстановления (под действием водорода альдегиды превращаются в первичные спирты, кетоны – во вторичные):



б) присоединение синильной (циановодородной) кислоты с образованием оксинитрилов. При этом водород направляется к кислороду карбонильной группы, а нитрильная группа – к углероду. Это пример нуклеофильного присоединения:

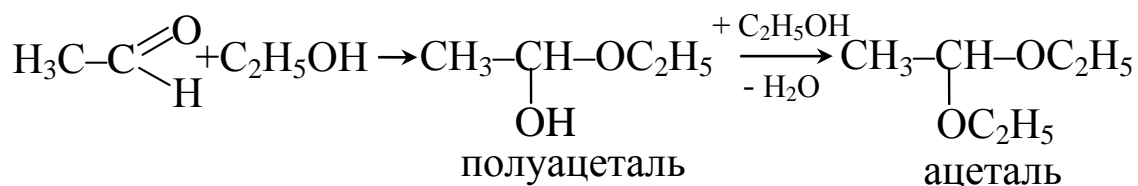


в) присоединение гидросульфита натрия:



В результате образуются соли сульфокислот. Этим методом устанавливают содержание оксосоединений, в том числе в пищевых продуктах.

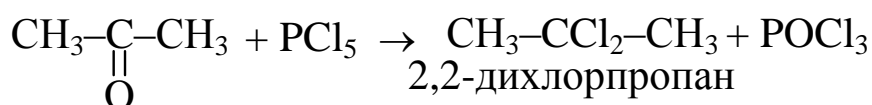
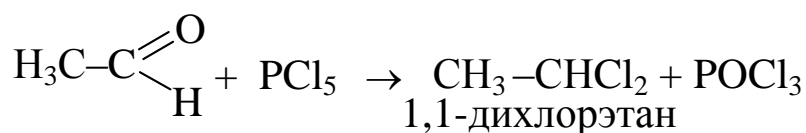
г) присоединение спиртов с образованием ацеталей:



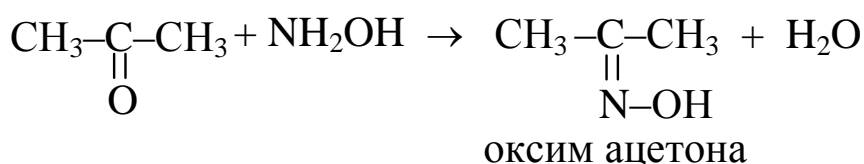
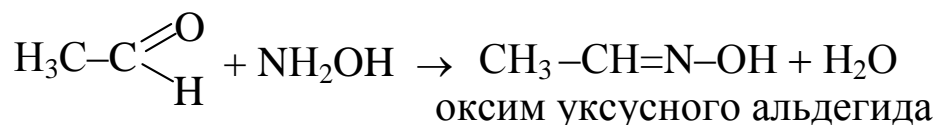
3. **Реакции замещения** атома кислорода в карбонильной группе:

а) взаимодействие с пятихлористым фосфором:



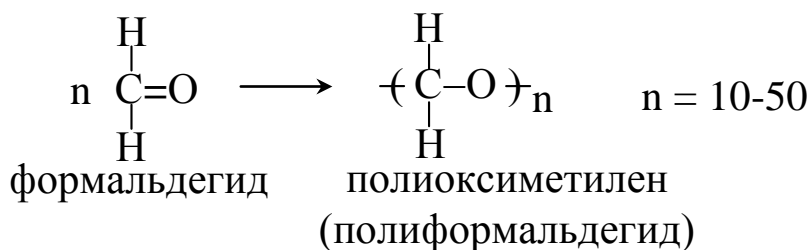


б) взаимодействие с гидроксиламином ( $\text{NH}_2\text{OH}$ ) с образованием оксимов:



Оксимы – кристаллические вещества, которые используются для идентификации альдегидов и кетонов и для выделения их из смеси веществ других классов.

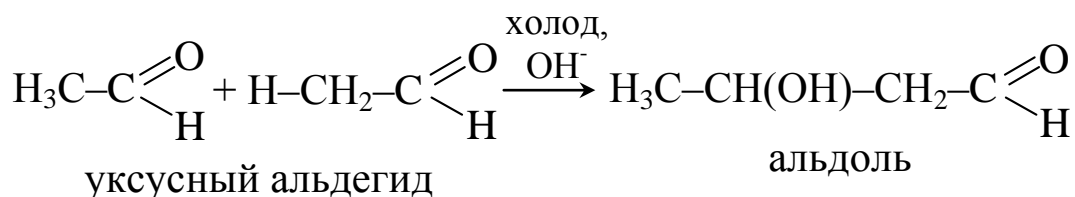
**4. Реакция полимеризации** (характерна только для альдегидов):



Полиформальдегид, благодаря высокой прочности, применяется в качестве заменителя металлов.

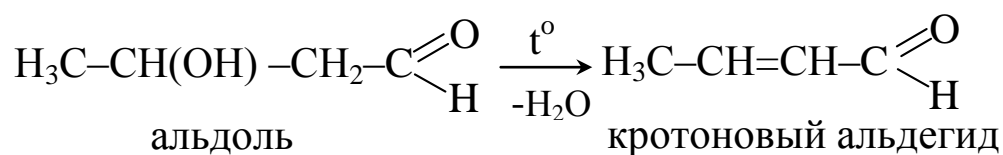
**5. Реакции конденсации** бывают двух типов:

а) альдольная конденсация:



С помощью этой реакции А.М. Бутлеров впервые синтезировал сахаристое вещество конденсацией формальдегида.

б) котоновая конденсация:

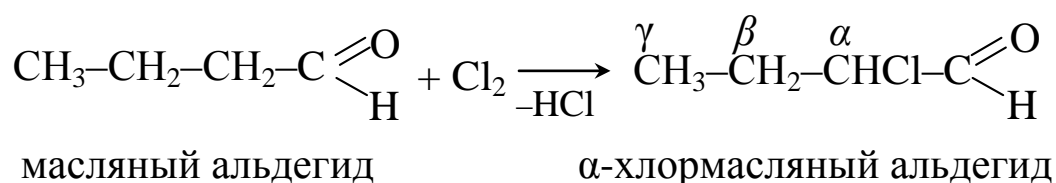


Аналогично проходит реакция конденсации молекул кетонов.

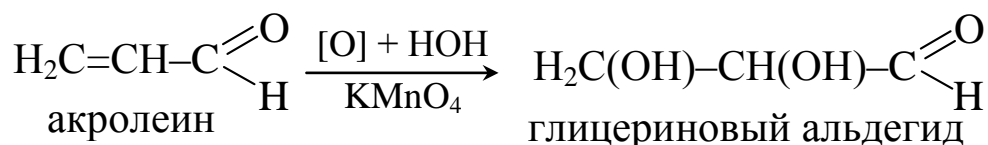
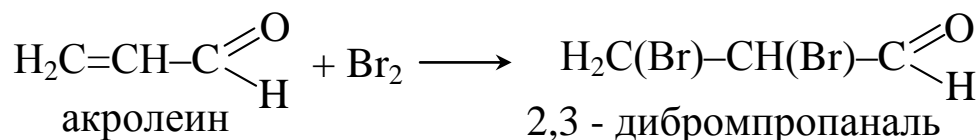
### 6. Реакции с участием углеводородного радикала:

а) замещение атома водорода на галоген.

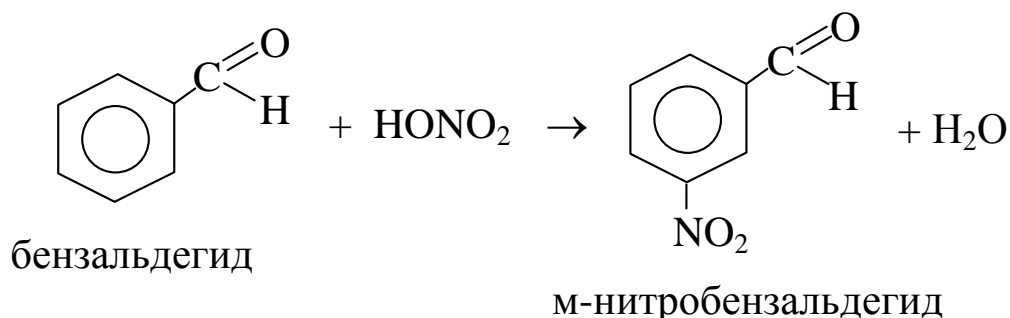
Под влиянием карбонильной группы увеличивается подвижность водорода в  $\alpha$ -положении предельных альдегидов:



б) реакции на двойную связь для непредельных альдегидов и кетонов происходят аналогично алкенам и сопровождаются обесцвечиванием растворов брома и перманганата калия:



в) реакции замещения для ароматических альдегидов и кетонов происходят в мета-положение ароматического кольца, т.к. карбонильная группа является заместителем II-рода:



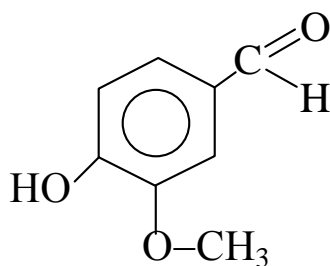
## ***Важнейшие представители и их применение***

Муравьиный альдегид (формальдегид) – газообразное ядовитое вещество с резким запахом. Водный раствор формальдегида 30-40 % называется формалином и является сильным антисептиком. Он применяется в медицине и ветеринарии для хранения анатомических препаратов, а также для протравливания зерна, т.к. обладает **фунгицидной (противогрибковой) активностью**.

Кроме того, формальдегид используется в производстве метилового спирта, фенолформальдегидных смол, пластмасс, лекарственных препаратов.

Уксусный альдегид (ацетальдегид) – ядовитая, легколетучая жидкость, применяется для получения синтетического этилового спирта, уксусной кислоты и других важных продуктов.

Бензойный альдегид – жидкость с запахом горького миндаля, применяется для синтеза красителей, душистых и лекарственных веществ, а также в кондитерской промышленности в виде производного ванилина.



ванилин

Ацетон (пропанон) – жидкость с резким запахом, растворимая в воде. Широко используется в качестве растворителя лаков, красок и в органическом синтезе.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какая функциональная группа называется карбонильной?
2. Приведите формулы низших гомологов предельных альдегидов и кетонов. В чем их различие?
3. Опишите номенклатуру альдегидов и кетонов.

4. Перечислите типы реакций, характерные для альдегидов и кетонов, приведите примеры.

5. Какой реакцией можно отличить альдегиды от кетонов?

6. Где применяется формалин? Приведите формулу метанала.

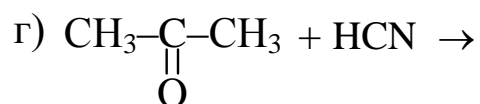
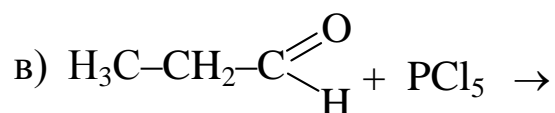
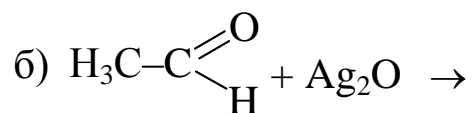
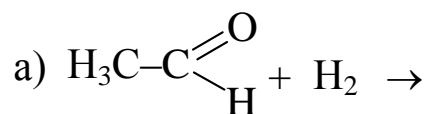
7. Напишите формулы следующих соединений:

а) 2,2-диметилпропаналь;

б) 3-метилбутен-2-аль;

в) 2,2,5-триметилпентанон-3.

8. Допишите схемы следующих реакций:

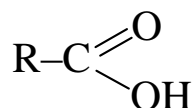


9. Где применяется ацетон? Запишите его формулу.

10. Приведите формулы ароматических альдегидов и кетонов.

# КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ

Органическими или карбоновыми кислотами называются соединения, содержащие карбоксильную группу –COOH:



## Классификация

1. По типу углеводородного радикала *R* различают предельные, непредельные, ароматические кислоты.

2. По основности, т.е. по числу карбоксильных групп, кислоты делятся на одноосновные, двухосновные и многоосновные.

3. По наличию другой функциональной группы. Например, оксикислоты содержат группы –COOH и –OH, аминокислоты –COOH и –NH<sub>2</sub>.

## Предельные одноосновные кислоты

Формула гомологического ряда C<sub>n</sub>H<sub>2n+1</sub>COOH.

H–COOH	муравьиная (метановая) кислота
CH <sub>3</sub> –COOH	уксусная (этановая) кислота
CH <sub>3</sub> –CH <sub>2</sub> –COOH	пропионовая (пропановая) кислота
CH <sub>3</sub> –CH <sub>2</sub> –CH <sub>2</sub> –COOH	масляная (бутановая) кислота
C <sub>15</sub> H <sub>31</sub> –COOH	пальмитиновая (гексадекановая) кислота
C <sub>16</sub> H <sub>33</sub> –COOH	маргариновая (гептадекановая) кислота
C <sub>17</sub> H <sub>35</sub> –COOH	стеариновая (октадекановая) кислота

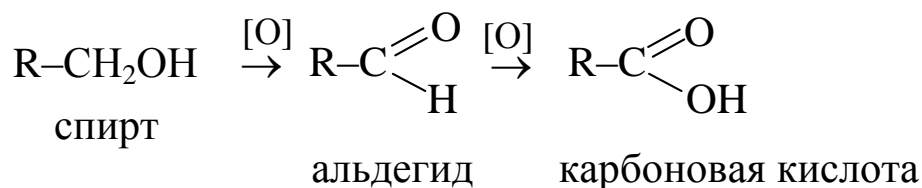
## Номенклатура

Наиболее употребляемые тривиальные названия кислот часто соответствуют природным источникам. В соответствии с номенклатурой ИЮПАК к названию углеводорода с тем же числом атомов углерода добавляется окончание «-овая кислота». Остатки кислот без гидроксильной группы (R-CO-) называются ацилами. Например: (H-CO-) – формил, (CH<sub>3</sub>-CO-) – ацетил.

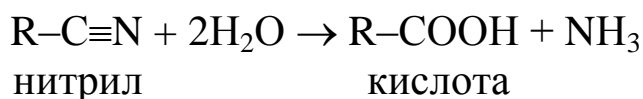
Органические кислоты широко распространены и играют важную роль в природе как в свободном состоянии, так и в виде производных.

## Способы получения

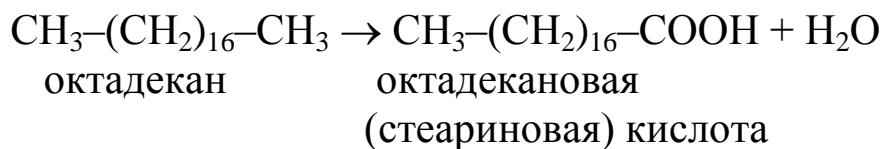
1. Окисление спиртов, альдегидов и кетонов:



2. Гидролиз нитрилов (цианидов):



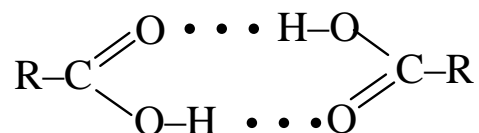
3. Окисление высших гомологов алканов:



## Физические свойства

Низшие гомологи кислот – жидкости с резким запахом, растворимые в воде, высшие – твердые вещества, не растворимые в воде. Молекулы кислот ассоциированы водородными связями в линейные и циклические димеры.

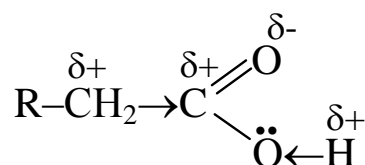
Например:



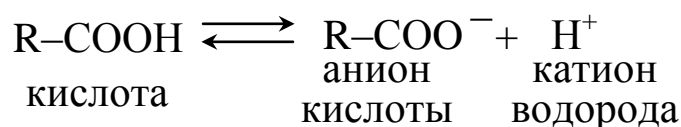
Температуры плавления высших гомологов кислот чередуются в зависимости от числа  $\text{CH}_2$ -групп.

### *Химические свойства*

Химическое поведение кислот связано с наличием карбоксильной группы и строением углеводородного радикала. Распределение электронной плотности в карбоксильной группе таково, что связь  $\text{O}-\text{H}$  значительно ослаблена и водород становится более подвижным. Это обуславливает кислотные свойства. Электронная плотность понижена в  $\alpha$ -положении.



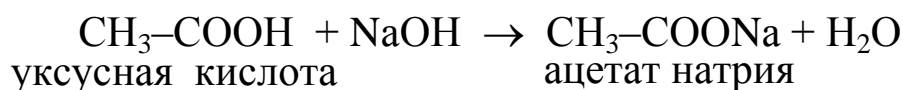
#### 1. Диссоциация кислот:



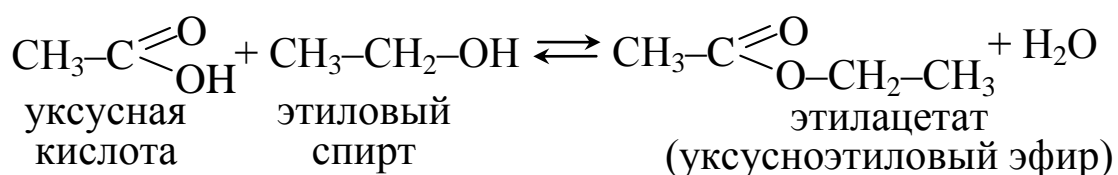
Карбоновые кислоты слабо диссоциированы. Кислотность зависит от углеводородного радикала R.

#### 2. Образование солей:

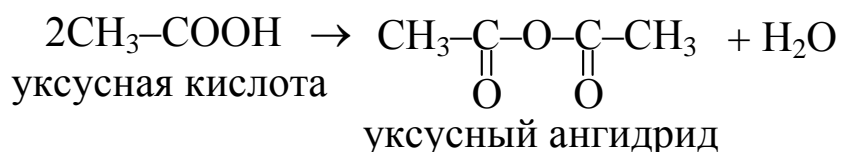
Соли карбоновых кислот образуются под действием металлов, оксидов, гидроксидов. Например:



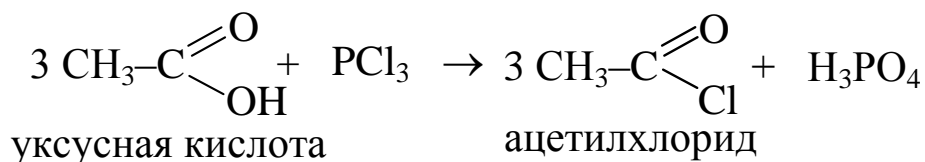
#### 3. Образование сложных эфиров:



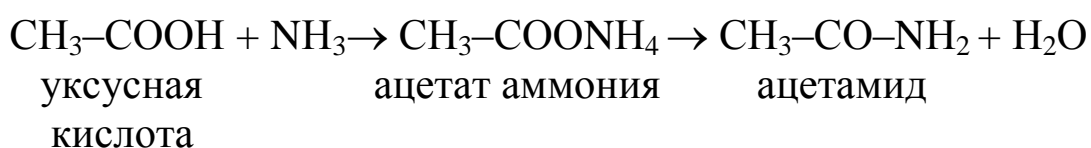
#### 4. Образование ангидридов кислот:



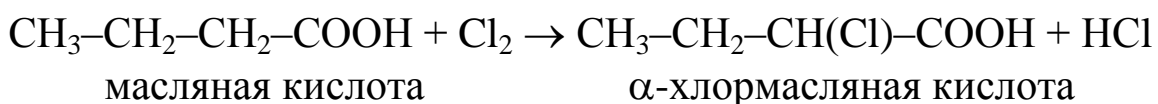
#### 5. Образование галогеноангидридов:



#### 6. Образование амидов кислот:



#### 7. Замещение атома водорода в углеводородном радикале:



### *Важнейшие представители и их применение*

Муравьиная кислота содержится в соке крапивы, выделениях муравьев, хвое, фруктах. Это жгучая жидкость с резким запахом, содержит альдегидную группу, связанную с ОН-группой, поэтому является сильным окислителем и дает «реакцию серебряного зеркала». Муравьиная кислота применяется в текстильной, кожевенной промышленности, в качестве консерванта кормов и в борьбе с болезнями пчел.

Уксусная кислота широко распространена в природе как в свободном состоянии, так и в виде сложных эфиров. Биохимическая уксусная кислота образуется в результате уксуснокислого брожения жидкостей, содержащих этиловый спирт, который под действием «уксусного грибка» окисляется кислородом воздуха. Так, при прокисании вина образуется винный уксус. Уксусная кислота – жидкость с резким специфическим запахом, жгучая на вкус, растворимая в воде. Уксусная эссенция содержит 70-80% уксусной кислоты, столовый уксус – 3-9%. Уксусная кислота используется в пищевой промышленности как



консервирующее средство, а также в производстве искусственного волокна (ацетатного шелка), гербицидов, лекарственных веществ и ароматизаторов. Широко применяются ее соли ацетаты Na, Fe, Cr, Pb, Cu.

Высшие карбоновые кислоты – пальмитиновая, стеариновая – твердые, воскообразные вещества, входят в состав растительных и животных жиров, пчелиного воска, применяются в производстве свечей и мыла.

Кроме того карбоновые кислоты входят в состав сложных высокомолекулярных гуминовых и фульвокислот, которые содержатся в гумусе, определяющем плодородие почв.

### Непредельные одноосновные кислоты

Формула гомологического ряда  $C_nH_{2n-1}COOH$ . Это кислоты, содержащие двойную связь.

$CH_2=CH-COOH$  акриловая (пропеновая) кислота

$CH_2=C(CH_3)-COOH$  метакриловая (2-метилпропеновая) кислота

$CH_3-CH=CH-COOH$  кротоновая (бутен-2-овая) кислота

$C_{17}H_{33}COOH$  олеиновая (октадецен-9-овая) кислота  
( $CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$ )

$C_{17}H_{31}COOH$  линолевая (октадекадиен-9,12-овая) кислота  
( $CH_3-(CH_2)_4-CH=CH-CH_2-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$ )

$C_{17}H_{29}COOH$  линоленовая (октадекатриен-9,12,15-овая) кислота  
( $CH_3-(CH_2-CH=CH)_3-(CH_2)_7-COOH$ )

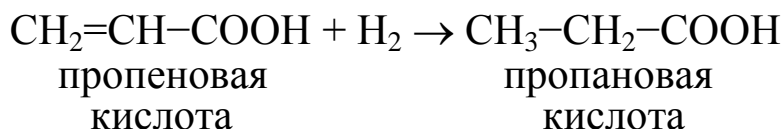
### *Физические свойства*

Непредельные кислоты – жидкости или твердые вещества с характерным запахом. Низшие гомологи растворимы в воде, а высшие – без запаха, не растворимы в воде.

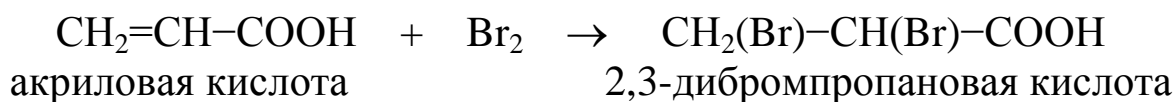
## Химические свойства

Непредельные кислоты вступают в реакции, характерные для карбоксильной группы (аналогично предельным) и в реакции алкенов, например, в реакции присоединения:

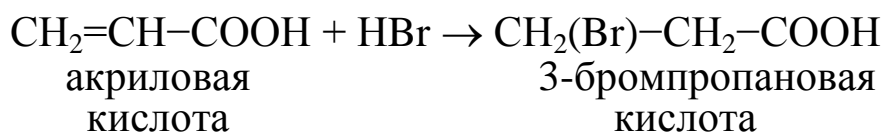
### 1. Присоединение водорода:



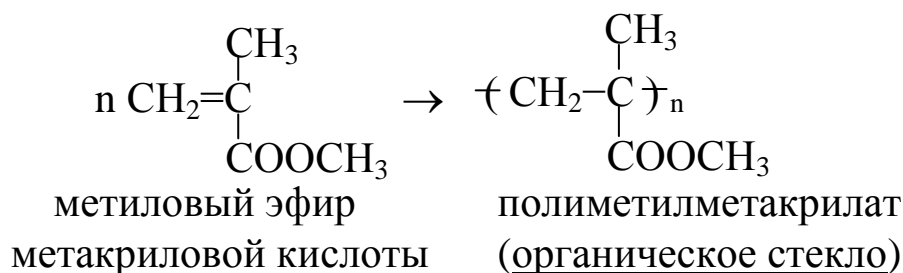
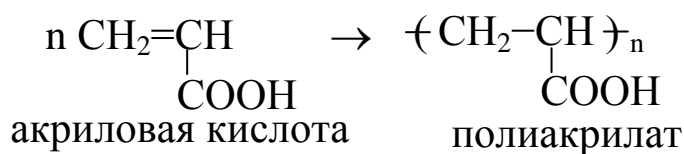
### 2. Присоединение галогенов:



3. Присоединение галогеноводородов под влиянием карбоксильной группы происходит против правила Марковникова:



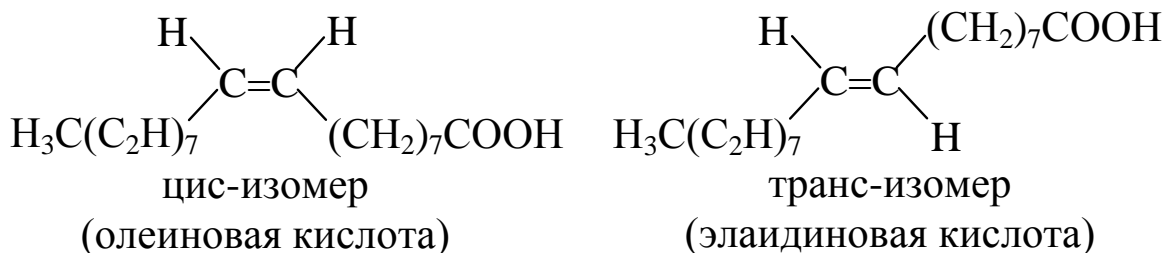
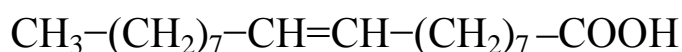
4. Наибольшее практическое значение имеет **реакция полимеризации** акриловой кислоты и метилового эфира метакриловой кислоты:



## *Важнейшие представители и их применение*

Акриловая кислота применяется в органическом синтезе для получения синтетического каучука, синтетического волокна и органического стекла. Полиметилметакрилатное стекло (плексиглас) отличается от обычного силикатного легкостью, прочностью и способностью пропускать УФ-лучи (74% и 3% соответственно), что позволяет применять его в автомобильной и авиационной промышленности.

Олеиновая кислота – маслянистая жидкость, содержащая одну двойную связь. Она существует в виде двух геометрических изомеров:



Олеиновая кислота широко распространена в природе, входит в состав почти всех жиров и масел. В арахисовом масле содержится 50-88% олеиновой кислоты, в оливковом – 70-85%. Олеиновая кислота применяется в качестве важнейшего компонента пищевых продуктов и в технике для получения пластификаторов пластмасс и мыла.

Линолевая и линоленовая кислоты, содержащие 2 и 3 двойные связи, соответственно, также входят в состав жиров и масел. Содержание линолевой кислоты в подсолнечном и кукурузном масле достигает 60-70%, линоленовой кислоты в льняном масле – 30-50%. Эти кислоты применяются в производстве лаков, красок, олифы, являются незаменимыми жирными кислотами, т.к. не могут синтезироваться в организме человека и относятся к витаминам группы F.

## Двухосновные кислоты

Молекулы двухосновных кислот содержат две карбоксильные группы. Они могут быть предельными, непредельными и ароматическими.

### Предельные двухосновные кислоты

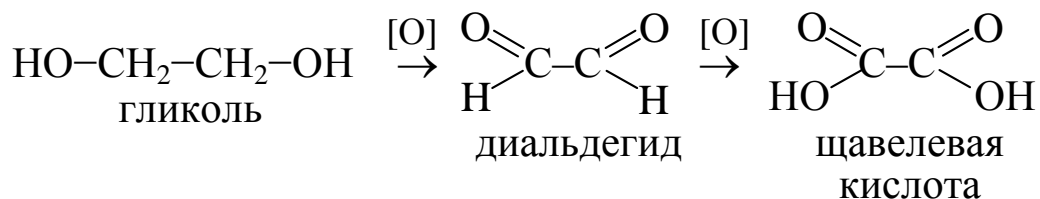
Общая формула  $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_n-\text{COOH}$  ( $n = 0, 1, 2, 3 \dots$ ).

$\text{HOOC}-\text{COOH}$	щавелевая (этандиовая) кислота
$\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{COOH}$	малоновая (пропандиовая) кислота
$\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$	янтарная (бутандиовая) кислота
$\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_3-\text{COOH}$	глутаровая (пентандиовая) кислота
$\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH}$	адипиновая (гександиовая) кислота

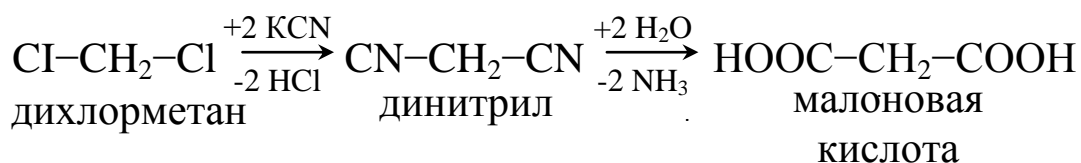
### Способы получения

Двухосновные кислоты встречаются в природе. Так, щавелевая кислота выделена из сока щавеля, янтарная – из янтаря. Способы получения аналогичны предельным одноосновным кислотам. Их получают окислением двухатомных спиртов или омылением динитрилов.

#### 1. Окисление гликолей:



#### 2. Нитрильный синтез (*наращивание цепи*):



## Физические свойства

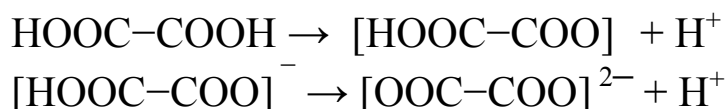
Предельные двухосновные кислоты – кристаллические вещества. Кислоты с четным числом  $\text{CH}_2$ - групп плавятся при более высокой температуре, чем с нечетным. В свою очередь кислоты с нечетным числом  $\text{CH}_2$ - групп растворяются в воде значительно лучше.

## Химические свойства

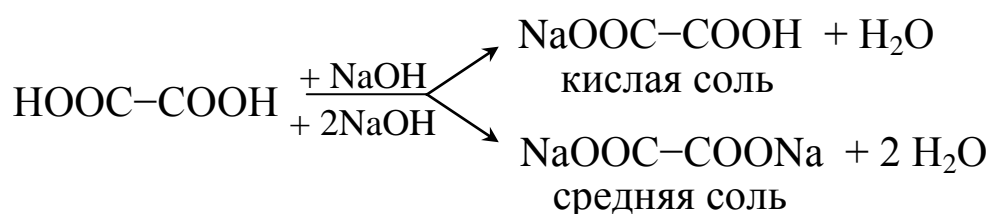
Двухосновные кислоты дают все производные, характерные для одноосновных, но по одной или обеим карбоксильным группам с образованием кислых и средних солей, кислых и средних эфиров и т.д.

### 1. Диссоциация:

Двухосновные кислоты сильнее, чем одноосновные, диссоциируют ступенчато:

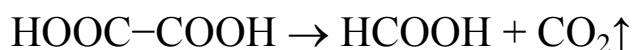


### 2. Образование солей:



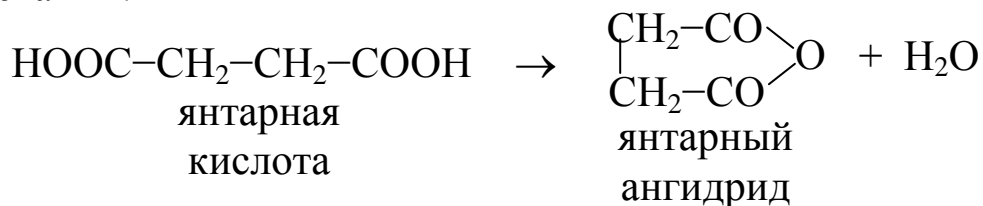
3. Кроме общих реакций, двухосновные кислоты проявляют **специфические свойства**. Низшие ( $n = 0,1$ ) и высшие ( $n = 2, 3 \dots$ ) кислоты дают разные продукты при нагревании:

а) **реакция декарбоксилирования** (для щавелевой и малоновой кислот) при нагревании:



Реакциями декарбоксилирования называются реакции, идущие с отщеплением диоксида углерода. Эти реакции играют важную роль в физиологических процессах.

б) образование *внутренних циклических ангидридов* при нагревании:



### ***Важнейшие представители и их применение***

Щавелевая кислота широко распространена в природе, содержится в водорослях, грибах, лишайниках. Солями оксалатами богаты щавель, кислица и др. Щавелевая кислота образуется в процессе обмена веществ в животном организме, применяется в текстильной, деревообрабатывающей промышленности, а также для осаждения редких металлов, в производстве пластмасс, в фотографии, в аналитической химии.

Малоновая кислота содержится в свекловичном соке, в недозрелых фруктах, в виде диэтилового эфира применяется в синтезе витаминов В<sub>1</sub> и В<sub>6</sub>, барбитуратов, мочевой кислоты и других важных продуктов.

Янтарная кислота содержится в янтаре, во многих растениях, фруктах, применяется в производстве пластмасс, лекарственных веществ, регуляторов роста.

Адипиновая кислота используется в пищевой промышленности как консервант, а также для получения пластификаторов и синтетического волокна «найлона».

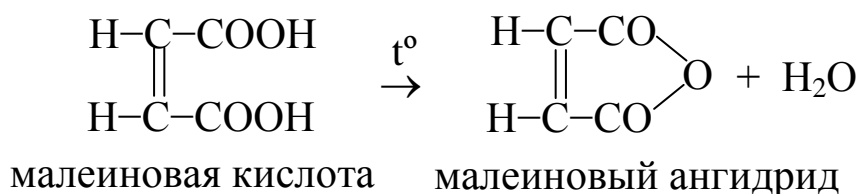
### **Непредельные двухосновные кислоты**

В молекулах этих кислот содержатся две карбоксильные группы и двойная связь. Наибольший интерес представляет бутен-2-диовая кислота, которая существует в виде двух геометрических изомеров (малеиновой и фумаровой), отличающихся по физическим и химическим свойствам:



Малеиновая кислота плавится при более низкой температуре и более растворима в воде, чем фумаровая. Будучи непредельными, обе кислоты дают реакции, характерные для двойной связи (обесцвечивают растворы брома и перманганата калия). Как двухосновные кислоты, они образуют средние и кислые эфиры, соли, амиды. Но отличаются реакциями, происходящими при нагревании.

Малеиновая кислота в отличие от фумаровой дает циклический ангидрид:

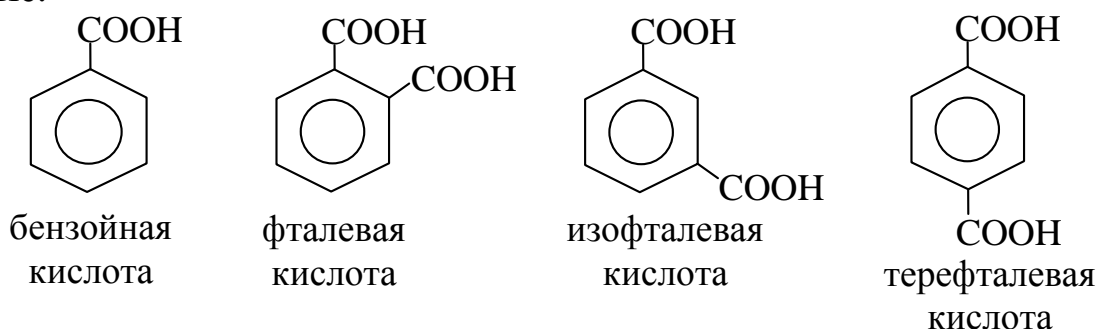


Малеиновая кислота термодинамически менее устойчива, чем фумаровая, при каталитическом действии брома, йода или азотистой кислоты превращается в фумаровую с выделением тепла. При действии УФ-лучей фумаровая кислота переходит в малеиновую.

Малеиновая и фумаровая кислота являются примером того, как геометрия молекул влияет на биологические свойства вещества. Так, малеиновая кислота в природе не встречается, получена синтетическим путем, ядовита. Фумаровая кислота не ядовита, содержится в грибах, лишайниках, мышцах животных, образуется при брожении сахаристых веществ.

## Ароматические кислоты

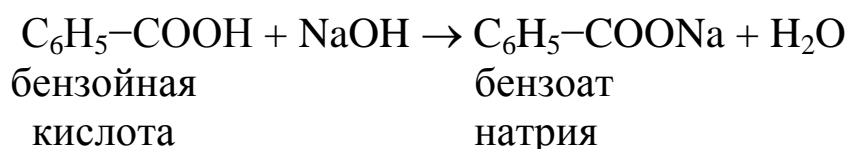
Ароматические кислоты представляют собой производные ароматических углеводородов, имеющие в ароматическом кольце карбоксильные группы. Они бывают одноосновные и двухосновные.



Бензойная кислота – кристаллическое вещество, плохо растворимое в воде, содержится в некоторых смолах, бальзамах, маслах, в мякоти клюквы, брусники, рябины. Это более сильная кислота, чем уксусная, проявляет свойства, характерные для карбоксильной группы (образует соли, эфиры, ангидриды, амиды) и вступает в реакции с участием бензольного кольца.

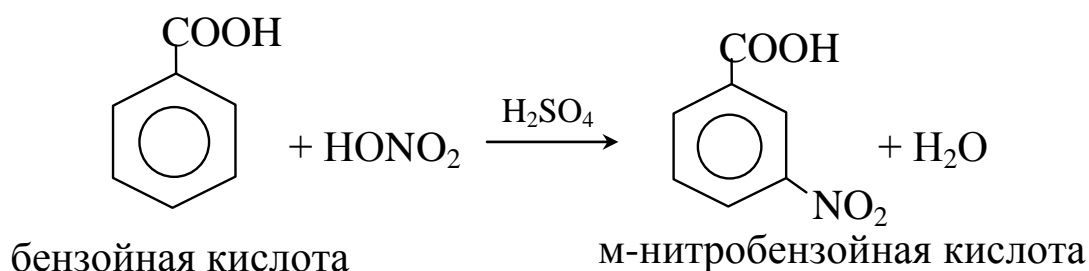
Например:

### 1. Образование солей.



### 2. Реакции замещения в ароматическом кольце.

Карбоксильная группа является заместителем II-рода и в реакциях замещения направляет второй заместитель в мета-положение. Так происходит реакция нитрования:

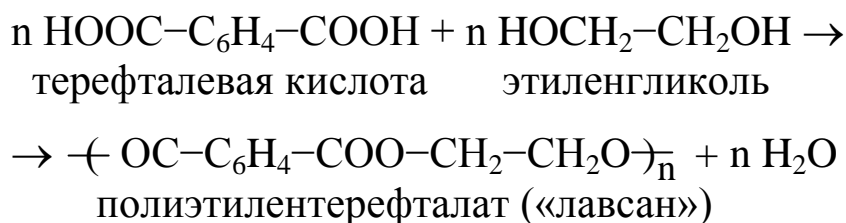


Бензойная кислота и ее соль (бензоат натрия) широко применяются в пищевой промышленности в качестве консервантов, в химической промышленности как инициаторы реакций полимеризации, а также в синтезе красителей и лекарственных средств – антисептиков.

Фталевые кислоты – кристаллические вещества, плохо растворимые в воде. Наибольшее применение получили орто- и пара- изомеры. Фталевая кислота в виде ангидрида применяется в производстве красителей фенолфталеинового ряда, в виде метилового эфира (диметилфталата) – в качестве репеллента (средства для отпугивания кровососущих насекомых), а также пластификаторов и полиэфирных смол.



Терефталевая кислота используется в производстве полиэтилентерефталата, сырья для изготовления синтетического волокна «лавсана». Это пример **реакции поликонденсации**:



## ЛИПИДЫ

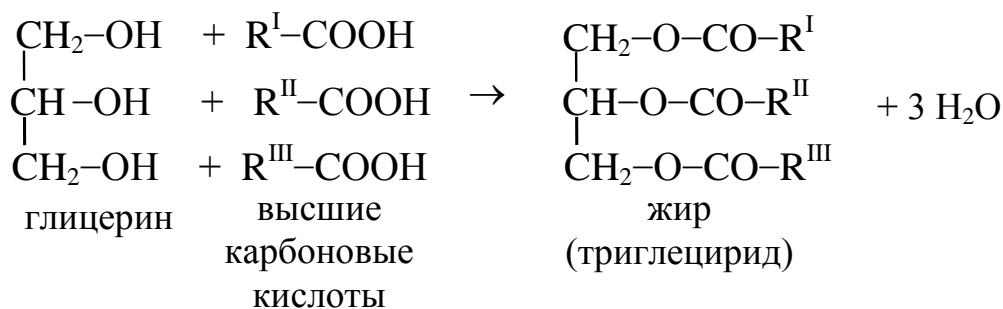
**Липиды** – сложные жироподобные вещества, которые делятся на простые и сложные. К простым липидам относятся жиры, масла и воски. Сложные липиды приведены на стр. 142.

### Жиры и масла

**Жиры** – смеси сложных эфиров трехатомного спирта глицерина и высших карбоновых кислот, называемые триглицеридами или ацилглицеринами.

Жиры входят в состав всех живых организмов и являются одним из трех «компонентов жизни» наряду с белками и углеводами. Они являются аккумуляторами химической энергии, играют важную роль в формировании и старении организма, т.к. образуют липидный слой клеточных мембран, выполняют защитную функцию. Кроме того, это важнейшая составная часть пищевых продуктов, из них получают мыла, масляные краски, олифы и т.д.

#### Схема образования жира:



## Классификация

1. По происхождению жиры делятся на *животные* и *растительные (масла)*. К животным жирам относятся говяжий, бараний жир, свиное сало, сливочное масло. Растительными жирами являются подсолнечное, оливковое, соевое, кукурузное, льняное, конопляное и другие масла. Наиболее богаты маслами семена сои (17-27%), подсолнечника (25-51%), конопли (30-46%), грецкий орех (45-77%).

2. По физическому состоянию различают *твердые* и *жидкие жиры или масла*. Животные жиры, как правило, твердые, а растительные – жидкие. Исключением является жидкий рыбий жир и твердое масло какао.

3. По кислотному составу жиры очень разнообразны. Кислоты, содержащиеся в жирах, имеют четное число атомов углерода. Кислоты с нечетным числом углеродных атомов практически в жирах не встречаются. В состав твердых жиров (животного происхождения) в большем количестве входят *предельные* высшие кислоты:

$C_{15}H_{31}-COOH$  пальмитиновая кислота

$C_{17}H_{35}-COOH$  стеариновая кислота

В жидких жирах (растительного происхождения) в большем количестве содержатся *непредельные* кислоты:

$C_{17}H_{33}-COOH$  олеиновая кислота (содержит 1 двойную связь)

$C_{17}H_{31}-COOH$  линолевая кислота (содержит 2 двойные связи)

$C_{17}H_{29}-COOH$  линоленовая кислота (содержит 3 двойные связи)

В свою очередь масла делятся на *высыхающие, полувысыхающие* и *невысыхающие*. Высыхающие масла отличаются высоким содержанием непредельных кислот с двумя и тремя двойными связями, т.е. линолевой и линоленовой, и способны на воздухе «высыхать», образуя пленки, за счет реакций окисления и полимеризации. К ним относятся льняное, конопляное, тунговое масла.

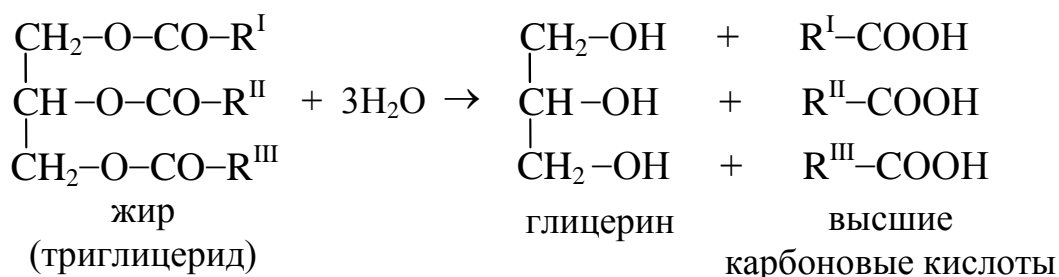
Полувысыхающим является подсолнечное масло, а невысыхающими – оливковое и миндальное.

При хранении растительных и животных жиров происходит прогоркание, которое, так же, как и высыхание, объясняется окислением и расщеплением жиров с образованием низкомолекулярных продуктов – спиртов, альдегидов, кислот (например, масляной). Процесс ускоряется под действием света. В результате снижается пищевая ценность и вкусовые качества жиров. Чтобы предотвратить эти процессы, следует соблюдать правильные условия хранения и добавлять антиоксиданты (производные фенолов).

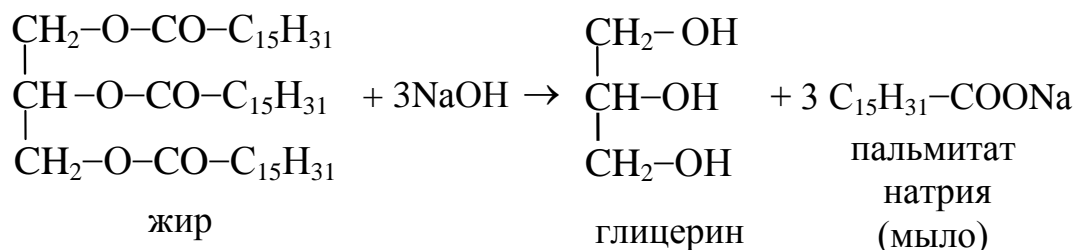
Для характеристики качества жиров используются такие показатели, как **йодное число** (масса йода в граммах, поглощенная 100 г жира), **число омыления** (масса КОН в мг, необходимая для нейтрализации 1 г жира), **кислотное число** (количество свободных кислот, содержащихся в 1 г жира).

### Химические свойства

1. **Гидролиз жиров** происходит в кислой или щелочной среде, либо под действием фермента липазы в организме по следующей схеме:



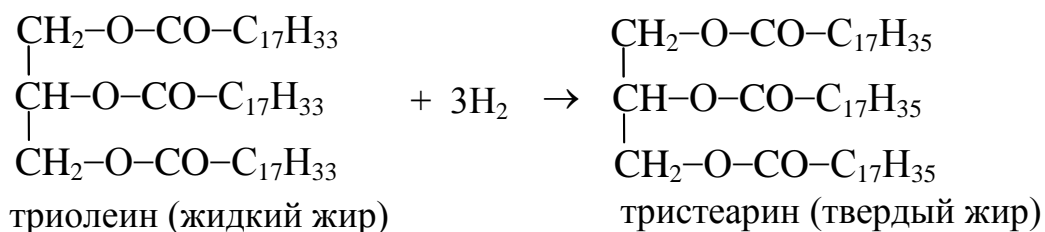
2. **Омыление жира** (получение мыла из жира):



**Мыла** – это соли высших карбоновых кислот (пальмитиновой и стеариновой). Причем натриевые соли – твердые мыла, калийные – жидкие.

Синтетические моющие средства (СМС) называются детергентами. Они представляют собой натриевые соли эфиров серной кислоты и высших спиртов (главным образом, лаурилового и цетилового) общей формулой  $R-SO_3Na$ , где R содержит от  $C_{10}$  до  $C_{16}$ .

3. **Гидрогенизация жира** (переход от жидкого жира к твердому):



Эта реакция проводится при температуре  $180-240^\circ\text{C}$  в присутствии катализаторов (Cu/Ni) и лежит в основе промышленного получения искусственного масла «маргарина». Запах и вкус сливочного масла маргарину придает диацетил ( $\text{CH}_3\text{CO-COCH}_3$ ).

## Воски

**Воски** – сложные эфиры высших спиртов ( $C_{16}-C_{30}$ ) и высших кислот ( $C_{24}-C_{32}$ ). Они бывают растительного и животного происхождения. Воски играют защитную роль. У растений восковой налет покрывает тонким слоем листья, плоды, стебли и предохраняет их от высыхания, поражения вредителями и болезнями. Так, листья пальмы покрыты 3-5мм воска.

К животным воскам относятся пчелиный воск, воск морских животных, китов, овечий воск (ланолин). Они предохраняют животных от переохлаждения, а перья птиц - от слипания.

Например, пчелиный воск содержит мерициловый эфир пальмитиновой кислоты  $C_{15}H_{31}COOC_{31}H_{63}$ , китайский воск (продукт выделения кошениловых насекомых) – цериловый эфир церотиновой кислоты  $C_{25}H_{51}COOC_{26}H_{53}$ , спермацет (воскоподобное вещество, получаемое при охлаждении спермацетового масла, которое содержится в черепной полости кашалота) – цетиловый эфир пальмитиновой кислоты  $C_{15}H_{31}COOC_{16}H_{33}$ .

## Вопросы для самоконтроля

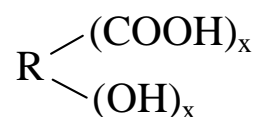
1. Какие органические соединения относятся к карбоновым кислотам?
2. Опишите классификацию карбоновых кислот.
3. Как определить основность карбоновой кислоты?
4. Какие химические свойства характерны для карбоновых кислот?
5. Приведите формулы непредельных карбоновых кислот.
6. Какие химические свойства проявляют непредельные карбоновые кислоты?
7. Какой вид изомерии характерен для бутен-2-диовой кислоты?
8. Допишите схемы следующих реакций:
  - а)  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH} + \text{NaOH} \rightarrow$
  - б)  $\text{HOOC-COOH} + 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow$
  - в)  $\text{C}_6\text{H}_5\text{-COOH} + \text{NH}_3 \rightarrow$
9. Приведите примеры двухосновных предельных и непредельных карбоновых кислот.
10. Каким образом протекают реакции замещения у ароматических карбоновых кислот?
11. Какие соединения относятся к жирам?
12. Опишите классификацию жиров.
13. Приведите примеры животных жиров и растительных масел.
14. Какие карбоновые кислоты входят в состав жиров?
15. Запишите формулу твердого жира тристеарина.
16. Составьте формулу диолеостеарина. Какую консистенцию имеет этот жир?
17. Приведите схему реакции перехода от жидкого жира к твердому.
18. Запишите реакцию получения мыла из жира.
19. Чем воски отличаются от жиров?
20. Приведите примеры животных восков.

## Раздел III

# ГЕТЕРОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

## Оксикислоты

Оксикислоты содержат в молекуле и гидроксильные, и карбоксильные группы, поэтому являются гетерофункциональными соединениями. Общая формула оксикислот следующая:



Для оксикислот различают понятия «атомность» и «основность». **Основность** оксикислот определяется числом карбоксильных групп, **атомность** – числом гидроксильных групп, включая гидроксил карбоксила. Кроме того, оксикислоты различаются положением гидроксильных групп в углеродной цепи ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и т.д.). Примеры одноосновных двухатомных кислот:

$\text{HO}-\text{CH}_2-\text{COOH}$       оксиуксусная (гликолевая) кислота

$\text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})-\text{COOH}$      $\alpha$ -оксипропионовая (молочная) кислота

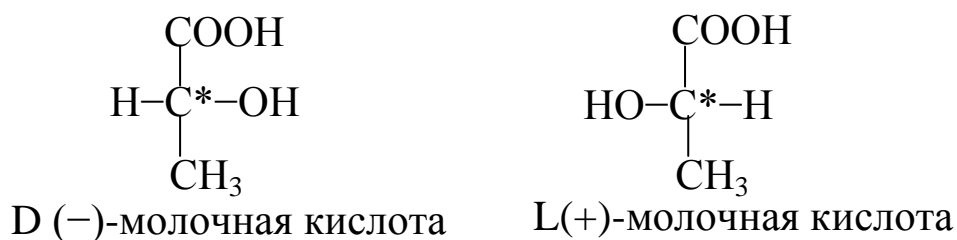
$\text{CH}_2(\text{OH})-\text{CH}_2-\text{COOH}$      $\beta$ -оксипропионовая кислота

Оксикислоты обладают **оптической** или **зеркальной изомерией**, которая обусловлена наличием асимметрического атома углерода ( $\text{C}^*$ ). **Асимметрическим** называется атом углерода, у которого все четыре валентности заняты разными заместителями. При этом возникают два изомера (антипода или энантиомера), относящиеся друг к другу как предмет к своему зеркальному отражению, которые нельзя совместить в пространстве.

Такие изомеры имеют одинаковые физические и химические свойства и отличаются только оптической активностью, т.е. отношением к плоскополяризованному свету, когда электромагнитные колебания происходят в одной плоскости. Один изомер вращает плоскость поляризации вправо (+), другой – влево (-) на один и тот же угол.

Смесь равных количеств оптических изомеров оптически не активна и называется «рацемат».

Проекционные формулы Фишера для зеркальных изомеров молочной кислоты выглядят следующим образом:



Тетраэдрические модели молочной кислоты представлены на рис.12.

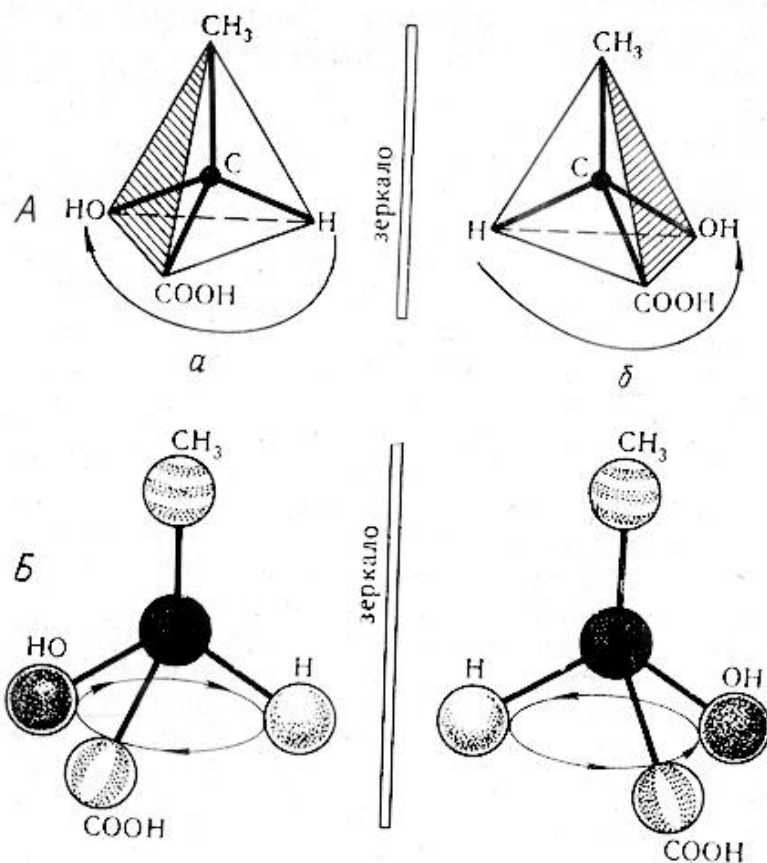
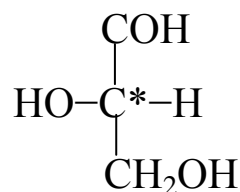
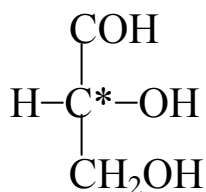


Рис. 12. Тетраэдрические модели молочной кислоты (А и Б):  
 а – D-молочная кислота, б – L-молочная кислота, стрелками  
 показано направление вращения плоскости поляризации света

Знак и угол вращения определяются с помощью прибора поляриметра. Символы D и L условно указывают на конфигура-

цию, т. е. принадлежность данного изомера к D или L-ряду оптических изомеров по аналогии с глицериновым альдегидом:



D (+)-глицериновый альдегид      L(-)-глицериновый альдегид

Если в молекуле имеются два или более асимметрических атомов углерода, то применяется формула Фишера для расчета числа оптических изомеров:

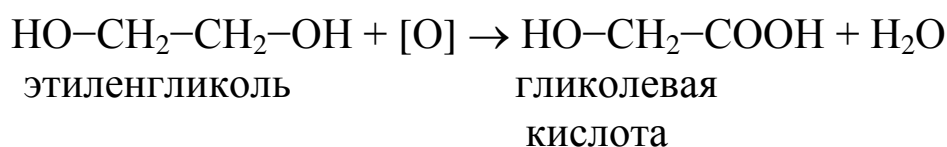
$$N = 2^n, \quad \text{где } N - \text{число оптических изомеров,} \\ n - \text{число асимметрических атомов} \\ \text{углерода (C}^*\text{).}$$

Оптическая изомерия имеет важное биологическое значение. Так, биохимические процессы в организме происходят с участием D-форм сахаров, но L-оптических изомеров окси- и аминокислот.

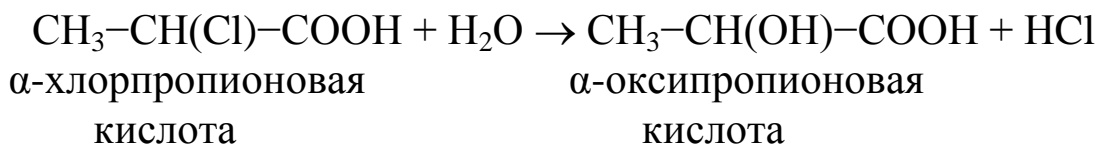
Оксикислоты широко распространены в природе, что видно из их названий.

### *Способы получения*

1. Окисление гликолей:



2. Гидролиз галогенозамещенных карбоновых кислот:



### *Физические свойства*

Оксикислоты – кристаллические вещества, легко растворимые в воде, более сильные, чем соответствующие предельные карбоновые кислоты.

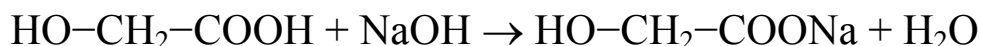


## Химические свойства

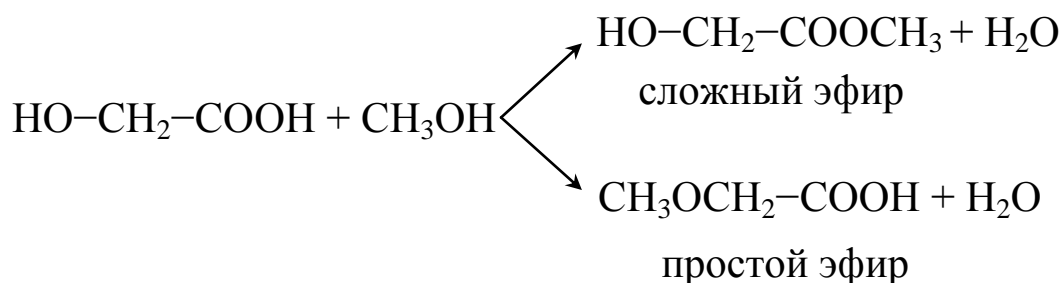
Так как молекулы оксикислот содержат гидроксильные и карбоксильные группы, то они проявляют свойства, характерные как для спиртов, так и для карбоновых кислот.

Например:

### 1. Образование солей со щелочами:



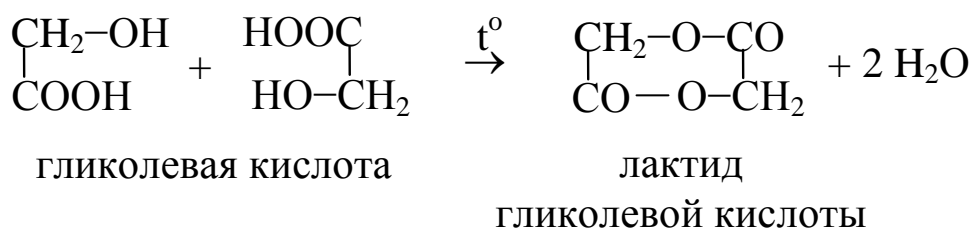
### 2. Образование эфиров:



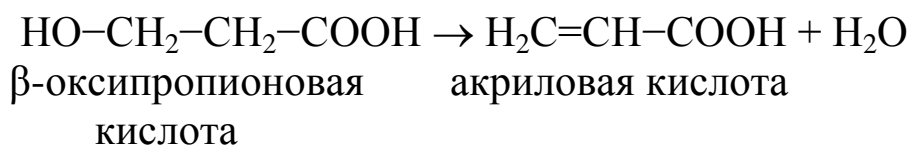
Кроме того, для оксикислот характерны специфические реакции. Так, оксикислоты по-разному относятся к нагреванию. Продукты реакции зависят от положения ОН-групп в углеродной цепи.

### 3. Отношение к нагреванию:

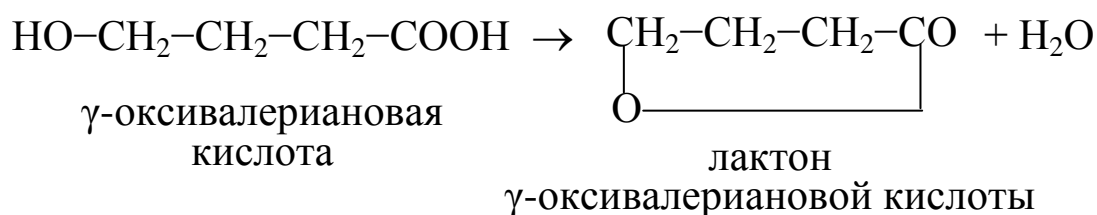
а)  $\alpha$ -оксикислоты дают *лактиды*:



б)  $\beta$ -оксикислоты превращаются в непредельные карбоновые кислоты:



в)  $\gamma$ - и  $\delta$ -оксикислоты неустойчивы и образуют внутренние циклические эфиры – **лактоны**:

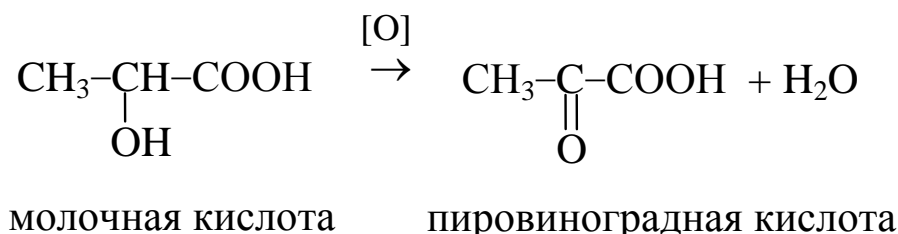


### ***Важнейшие представители и их применение***

Гликолевая (оксиуксусная) кислота содержится в недозре-  
лых фруктах (например, в винограде), в свекловичном соке, ре-  
пе и других растениях, применяется в текстильной промышлен-  
ности.

Молочная кислота ( $\alpha$ -оксипропионовая, 2-оксипропановая)  
– густая, гигроскопичная жидкость, существует в виде двух оп-  
тических изомеров и их смеси рацемата. Оптически неактивная  
молочная кислота (рацемат) образуется в результате молочно-  
кислого брожения, которое происходит при скисании молока,  
квашении капусты, мочении яблок, силосовании кормов, а так-  
же при брожении виноградного, свекловичного, тростникового  
сахаров, применяется в пищевой, текстильной промышленно-  
сти, в кожевенном производстве, в медицине.

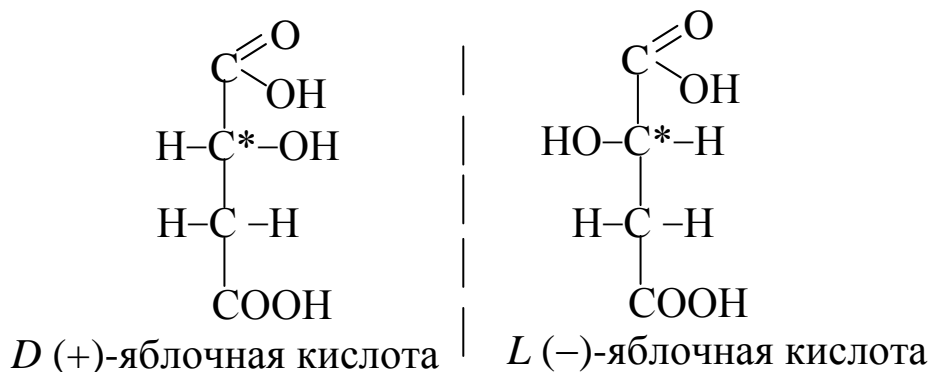
L(+)-молочная кислота (мясомолочная) играет важную  
биологическую роль, содержится в мышцах, печени животных,  
образуется при расщеплении животного крахмала гликогена.  
Большую роль при этом играет процесс окисления молочной  
кислоты в пировиноградную (кетокислоту):



D(-)-молочная кислота получается при брожении сахарис-  
тых веществ под действием особых микроорганизмов.

## Многоосновные многоатомные оксикислоты

Яблочная (оксиянтарная) кислота – двухосновная, трехатомная, содержит асимметрический атом углерода (C\*), существует в виде двух оптических изомеров:

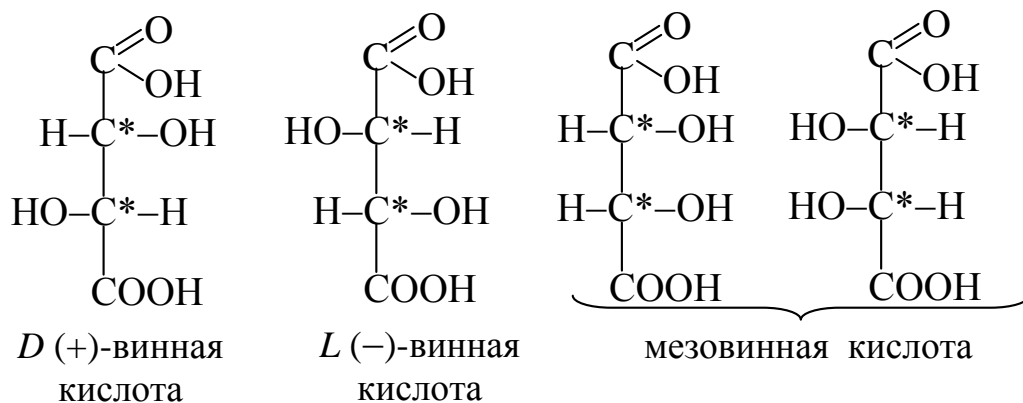


В растениях распространена *L*(-)-яблочная кислота. Она содержится в недозрелых плодах рябины, барбариса, терновника, в махорке, в яблочном и виноградном соках, вине. В животном организме участвует в жировом и углеводном обмене, применяется в пищевой промышленности, в производстве кондитерских изделий и безалкогольных напитков.

Винные (диоксиянтарные) кислоты – двухосновные, четырехатомные кислоты, содержат два асимметричных атома углерода, следовательно, должны иметь 4 изомера, но в действительности существует 3.

*D*(+)- и *L*(-)-винные кислоты являются оптическими изомерами. Вторая пара изомеров представляет собой одно и то же вещество (мезовинную кислоту), т.к. при повороте на 180° в плоскости чертежа они совпадают.

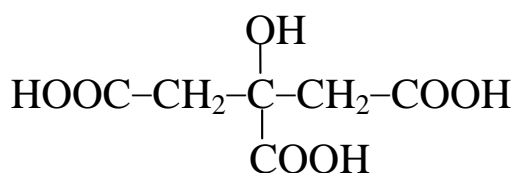
Рацемическая смесь *D*(+)- и *L*(-)-изомеров называется виноградной кислотой.



*D*(+)-винная кислота (виннокаменная) в виде соли выделена из вина. Кислая калиевая соль – винный камень, распространена в растениях. Ее много в виноградном соке, в рябине и др. Виннокаменная кислота применяется в пищевой промышленности при изготовлении фруктовых вод, лимонадов, разрыхлителей, в медицине в виде солей (тарترات).

Калиево-натриевая соль (сегнетова соль) применяется в электронике, входит в состав жидкости Фелинга, которая используется для качественного и количественного определения альдегидов и сахаров.

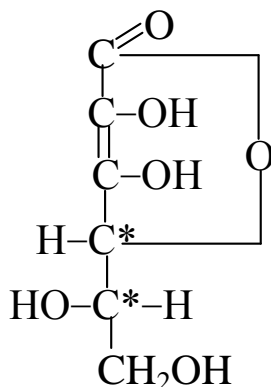
Лимонная кислота – трехосновная, четырехатомная, кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде. Оптических изомеров она не имеет, т.к. не содержит асимметрических атомов углерода. Это основная органическая кислота плодов цитрусовых, содержится также в соках винограда, свеклы, малины, вишни, клюквы, в листьях и стеблях махорки, в еловой хвое.



лимонная кислота

Лимонная кислота – биологически важное соединение, т.к. является промежуточным продуктом окислительного распада углеводов (цикла Кребса), применяется в медицине, пищевой, текстильной промышленности, в производстве алкидных смол.

Аскорбиновая кислота (витамин С) – L-форма  $\gamma$ -лактона 2,3-дегидрогулоновой кислоты содержится в свежих фруктах, плодах, овощах, является одним из важнейших витаминов.



аскорбиновая кислота

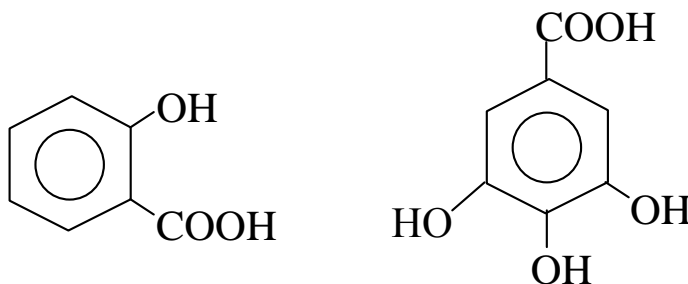
**Витамины** – это вещества, которые участвуют в синтезе ферментов – биологических катализаторов всех биохимических процессов.

При недостатке в организме аскорбиновой кислоты возникает тяжелое заболевание «цинга».

Суточная доза витамина С для человека составляет около 50-70 мг. Высоким содержанием витамина С отличаются лимоны (50мг/100г), петрушка (150мг/100г), ягоды смородины (70мг/100г) и плоды шиповника (1000мг/100г).

### **Фенолокислоты (ароматические оксикислоты)**

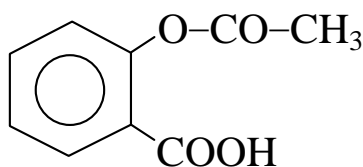
Это ароматические кислоты, содержащие гидроксильную группу, связанную с атомом углерода бензольного кольца. Наибольшее значение имеют салициловая и галловая кислоты.



салициловая кислота

галловая кислота

Салициловая (орто-оксibenзойная) кислота – кристаллическое вещество, плохо растворимое в воде, проявляет свойства ароматической одноосновной кислоты и фенола, обладает антисептическим действием. Сложный эфир салициловой кислоты широко используется как жаропонижающее средство под названием «ацетилсалициловая кислота» или «аспирин».



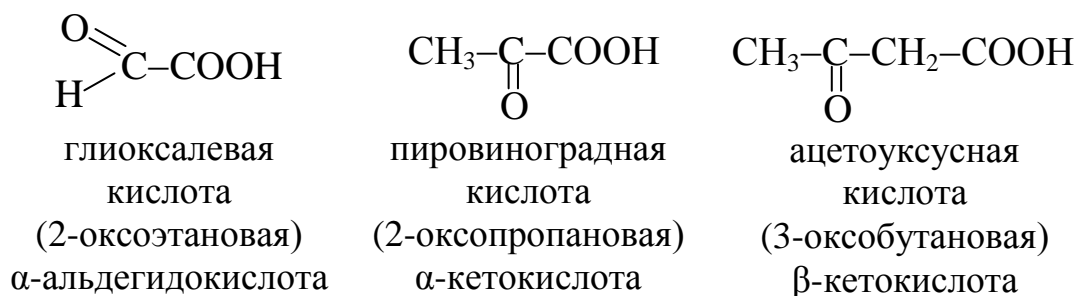
аспирин

Салициловая кислота применяется в пищевой промышленности в качестве консерванта, а также в синтезе красителей и лекарственных средств.

Галловая (3,4,5-триоксибензойная) кислота – кристаллическое вещество, растворимое в воде, содержится в дубовой коре, листьях чая, зернах кофе, входит в состав дубильных веществ (танинов), применяется в кожевенной промышленности для дубления кожи, в текстильной – при крашении тканей, в пищевой – как консервант пищевых и технических продуктов.

## Оксокислоты (альдегидо- и кетокислоты)

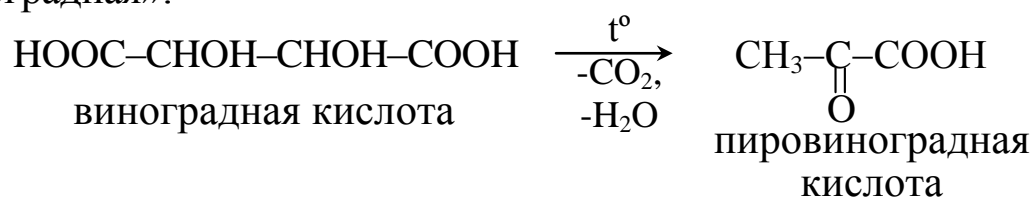
Это гетерофункциональные соединения, содержащие наряду с карбоксильной группой альдегидную или кетонную (оксогруппу), проявляющие химические свойства карбоновых кислот, альдегидов или кетонов. Наибольший интерес представляют следующие оксокислоты:



Глиоксалевая (глиоксиловая) кислота содержится в незрелых фруктах, легко окисляется в щавелевую, играет важную роль в обменных процессах, протекающих в растениях и микроорганизмах.

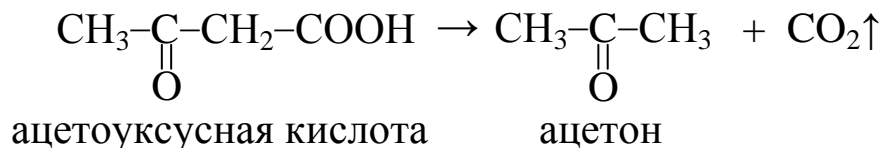
Пировиноградная кислота относится к кетокислотам, образуется при нагревании виноградной кислоты, принимает активное участие в процессах обмена веществ в растительных и животных клетках, может превращаться в аминокислоту аланин, является промежуточным продуктом расщепления сахаров при спиртовом и молочнокислом брожении.

Пировиноградная кислота образуется при нагревании (пирролизе) виноградной (винной) кислоты, отсюда ее название «пировиноградная»:

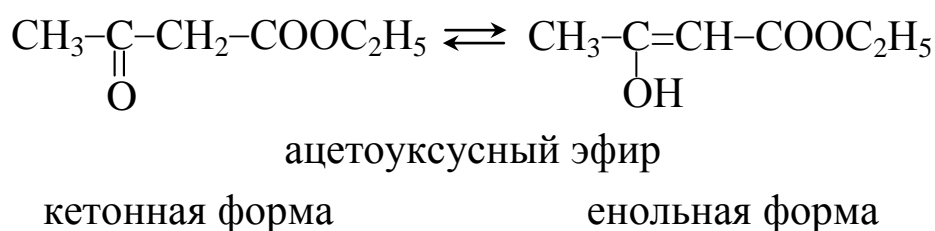


Пировиноградная кислота применяется в медицине.

Ацетоуксусная кислота также является кетокислотой, неустойчива, легко декарбоксилируется (отщепляет  $\text{CO}_2$ ) и превращается в ацетон:



Наибольший интерес представляет ее этиловый эфир (ацетоуксусный эфир), имеющий две изомерные формы, переходящие друг в друга (кетонную и енольную).



Кетонная форма содержит кетонную группу, а енольная – гидроксильную группу при атоме углерода, образующего двойную связь. Такой вид изомерии получил название **кето-енольной таутомерии**.

**Таутомерия** – это вид подвижной или динамической изомерии, при котором вещество существует в виде двух (или более) структурных форм, взаимопереходящих друг в друга.

Ацетоуксусный эфир отличается высокой реакционной способностью и применяется в различных органических синтезах.

### Вопросы для самоконтроля

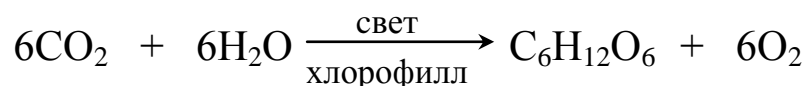
1. Какие органические соединения относятся к оксикислотам?
2. Опишите классификацию оксикислот.
3. Как определить атомность оксикислоты?
4. Какой вид изомерии характерен для оксикислот?
5. Какой атом углерода называется асимметрическим?
6. С помощью какой реакции различают  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ -оксикислоты?
7. Что такое витамины?
8. Приведите формулы феноло- и оксокислот.
9. Какое производное салициловой кислоты используется в медицине как жаропонижающее средство?
10. Приведите таутомерные формы ацетоуксусного эфира.

## УГЛЕВОДЫ (сахара)

Углеводы – это гетерофункциональные соединения, являющиеся многоатомными альдегидо- и кетонспиртами.

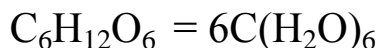
Сахара – наиболее важные и распространенные в природе органические вещества. Они составляют 80% массы сухого вещества растений и около 20% сухого вещества животного организма.

Углеводы не синтезируются в животном организме, а поступают с растительной пищей, т.к. они образуются в растениях из углекислого газа и воды в процессе **фотосинтеза**, который происходит под действием солнечного света с участием зеленого пигмента растений – хлорофилла:



Название «углеводы» происходит от того, что сахар можно рассматривать как сочетание углерода и воды.

Например:



Позже было обнаружены сахара, в молекулах которых это соотношение нарушается.

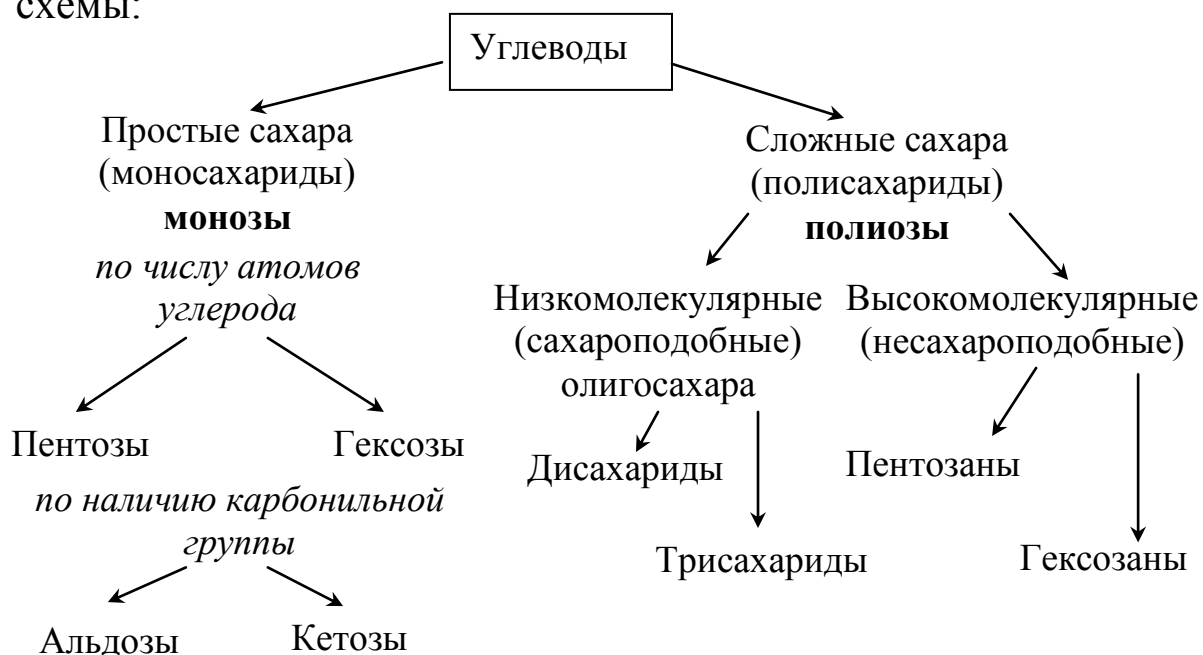
Углеводы выполняют разнообразные биологические функции в живых организмах. Глюкоза и крахмал являются источниками энергии. Клетчатка (целлюлоза) – это опорный материал растительных клеток, крахмал – резервное питательное вещество растений, гликоген – животный крахмал.

Биополимеры на основе углеводов имеют большое практическое значение. Они служат необходимыми компонентами пищевых продуктов и применяются в производстве топлива, натуральных и искусственных волокон (льна, хлопка, вискозы, ацетата), строительных и других ценных материалов.



## Классификация

Классификация углеводов может быть представлена в виде схемы:

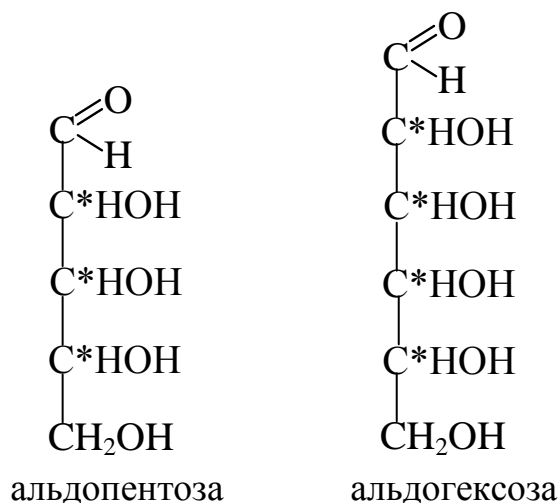


## Моносахариды (монозы)

К простым сахарам относятся триозы ( $C_3H_6O_3$ ), тетрозы ( $C_4H_8O_4$ ) и наиболее важные пентозы ( $C_5H_{10}O_5$ ), и гексозы ( $C_6H_{12}O_6$ ).

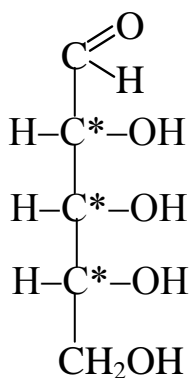
Моносахариды содержат асимметрические атомы углерода ( $C^*$ ) и обладают оптической изомерией.

Число оптических изомеров  $N$  определяется по формуле Фишера:  $N=2^n$ , где  $n$  – число асимметрических атомов углерода. Для альдопентоз  $N=2^3=8$ , для альдогексоз  $N=2^4=16$ . Половина из них – правовращающие, половина – левовращающие.

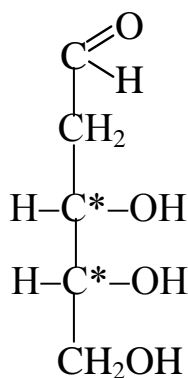


## Пентозы

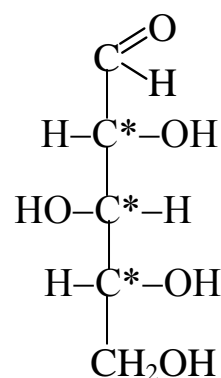
Из пентоз наибольшее распространение в природе имеют D-рибоза, D-дезоксирибоза, D-ксилоза:



*D*(+)-рибоза



*D*(+)-дезоксирибоза

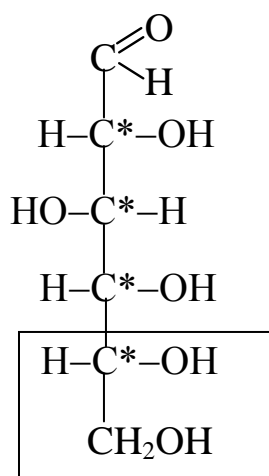


*D*(+)-ксилоза

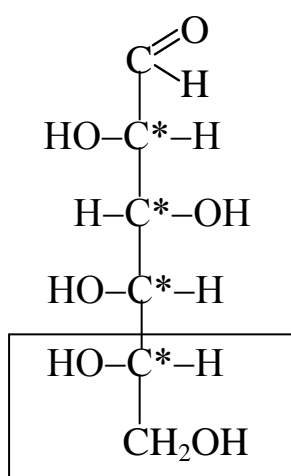
Рибоза и дезоксирибоза входят в состав нуклеиновых кислот РНК и ДНК, ксилоза – в состав полисахаридов пентозанов (ксиланов) и используется в пищевой промышленности в качестве заменителя сахара.

## Гексозы

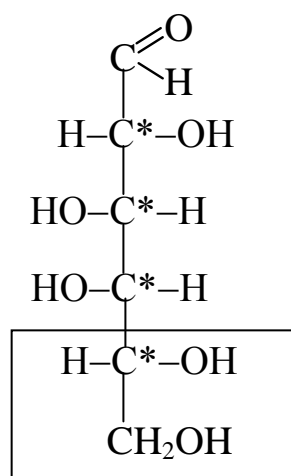
Общая формула гексоз  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ . Оптические изомеры наиболее важных альдогексоз глюкозы и галактозы изображаются следующим образом:



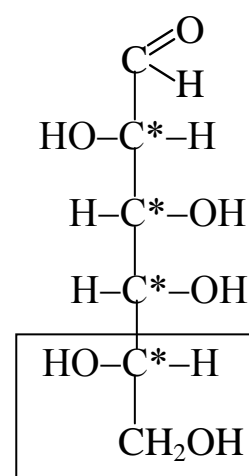
*D*(+)-глюкоза



*L*(-)-глюкоза

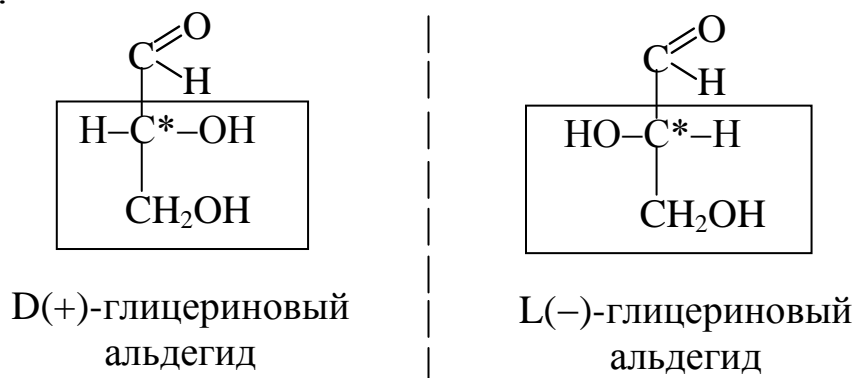


*D*(+)-галактоза



*L*(-)-галактоза

Знаки (+) и (-) указывают направление вращения плоскости поляризации света (вправо или влево) и определяются с помощью прибора поляриметра; принадлежность к D- и L-ряду определяется по расположению гидроксила у последнего асимметрического атома углерода по аналогии с глицериновым альдегидом.

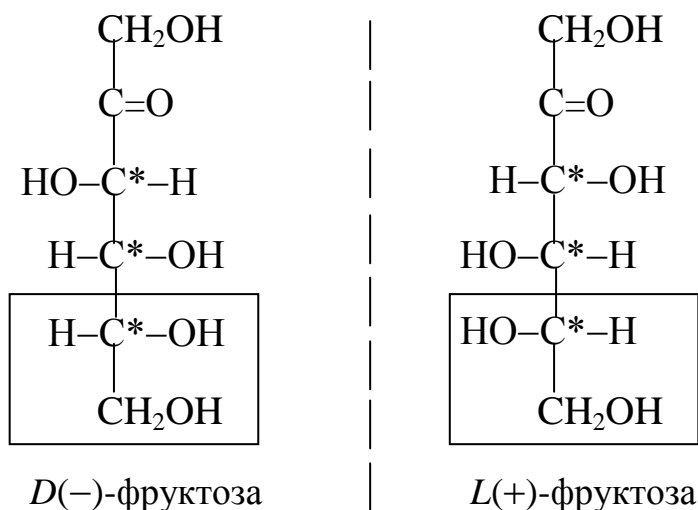


Оптические изомеры D- и L-ряда называются антиподами и имеют все одинаковые свойства, в том числе углы вращения плоскополяризованного света, только разные знаки.

D-глюкоза и D-галактоза отличаются расположением гидроксила только при одном асимметрическом атоме углерода (при четвертом) и являются «диастереомерами». Они различаются углом вращения, температурой плавления, растворимостью и другими свойствами.

Большинство природных моносахаридов относятся к D-ряду, L-формы животным организмом не усваиваются.

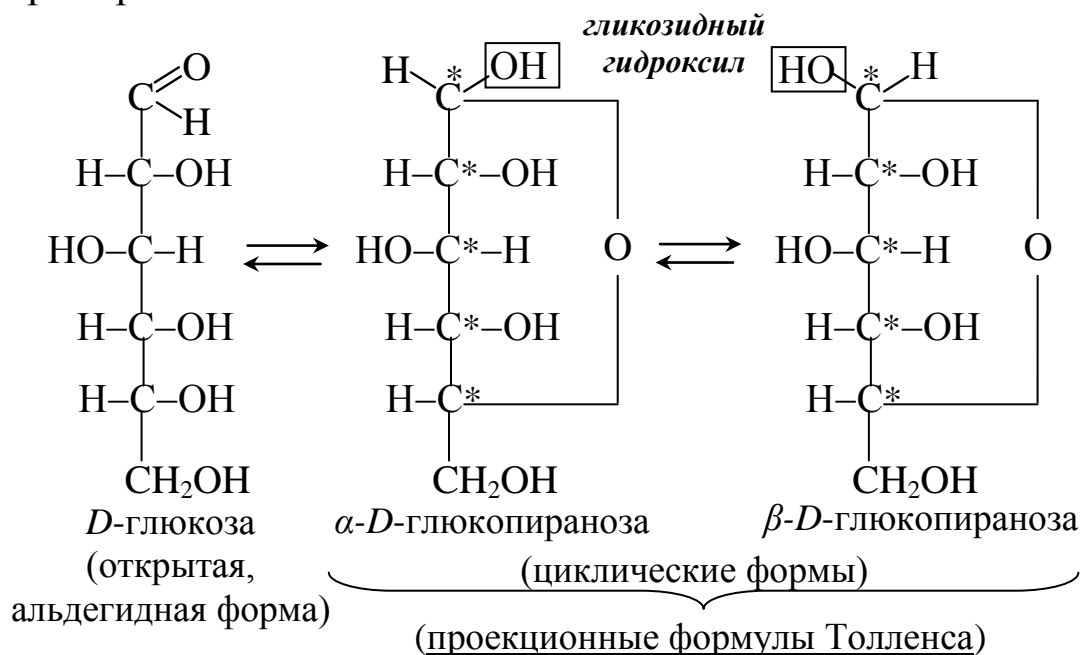
Из кетоз наиболее важными являются кетогексозы. Они содержат 3 асимметрических атома углерода и число оптических изомеров  $N=8$ . Наиболее распространена в природе фруктоза:



## Циклические формы моносахаридов. Таутомерия

Для моносахаридов характерен особый вид структурной изомерии, который называется «таутомерией» (см. стр. 111).

Было установлено, что моносахариды в растворе способны существовать в двух формах – открытой (альдегидной или кетонной) и циклической полуацетальной, находящихся в равновесии. Например:



Такая таутомерия называется «кольчато-цепной».

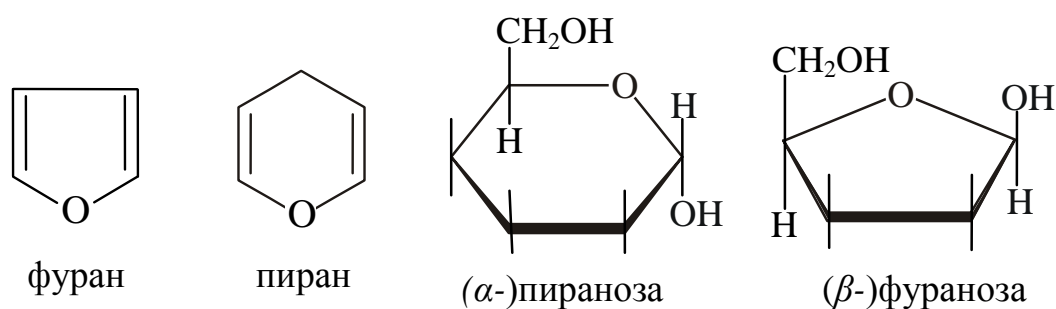
Циклизация моносахаридов происходит в результате присоединения атома водорода гидроксильной группы при  $C_5$  (реже при  $C_4$ ) к кислороду альдегидной группы за счет разрыва  $\pi$ -связи. Одновременно оставшийся кислород гидроксильной группы замыкает с атомом углерода карбонильной группы шестичленный или пятичленный цикл.

Таким образом, в молекуле появляется новая гидроксильная группа – «гликозидный гидроксил» и еще один асимметрический атом углерода. В результате возникают две циклические полуацетальные формы  $\alpha$  и  $\beta$ , отличающиеся только расположением гликозидного гидроксила. В  $\alpha$ -форме он располагается справа, а в  $\beta$ -форме – слева. Поэтому эти формы являются диастереоизомерами (аномерами) и имеют разные свойства и углы вращения. Для  $\alpha$ -D-глюкозы  $\alpha=+113^\circ$ , для  $\beta$ -D-глюкозы  $\alpha=+19^\circ$ . При стоянии свежеприготовленного раствора глюкозы  $\alpha$ -форма переходит в  $\beta$ - и угол

вращения становится равным  $+52^\circ$ . Такой оптический эффект называется мутаротацией.

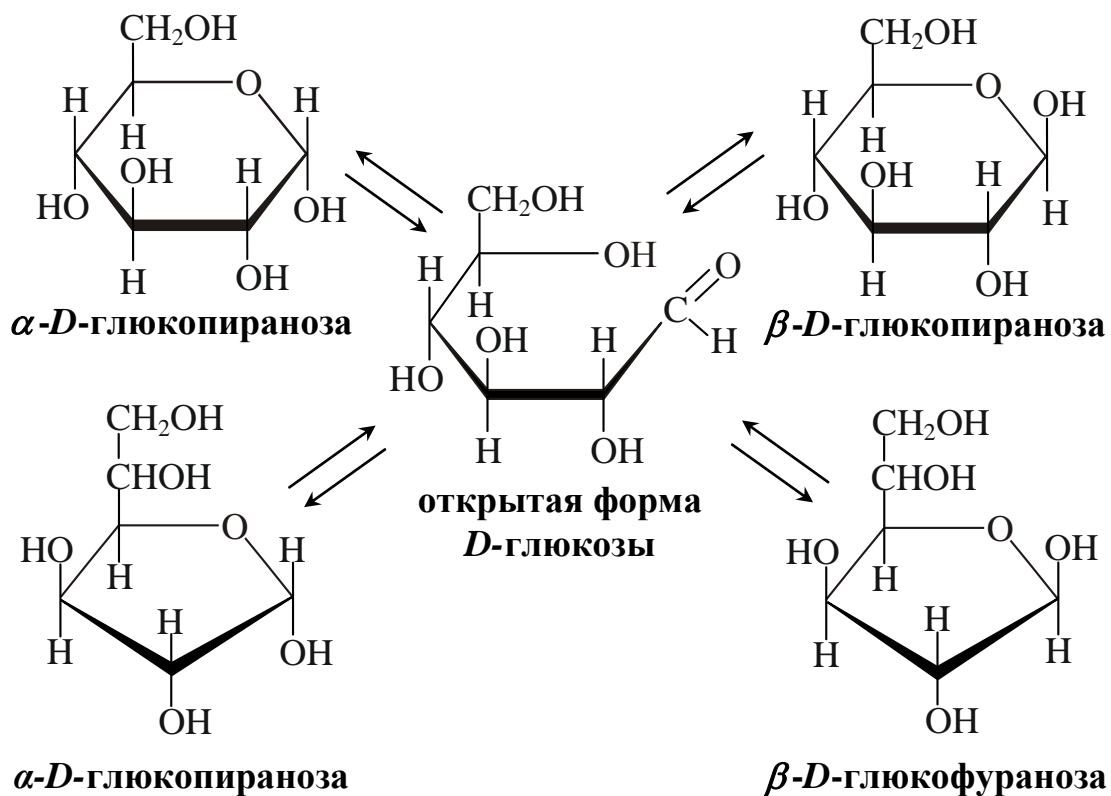
Следует отметить повышенную реакционную способность гликозидного гидроксила по сравнению со спиртовыми гидроксильными группами.

Циклические формы, содержащие шестичленное кольцо, называются «**пиранозами**», пятичленный цикл – «**фуранозами**» по аналогии с соответствующими гетероциклами пираном и фураном. Строение пираноз и фураноз можно изобразить «перспективными» формулами Хеуорса:



Гликозидный гидроксил располагается под плоскостью кольца в  $\alpha$ -форме и над плоскостью – в  $\beta$ -форме.

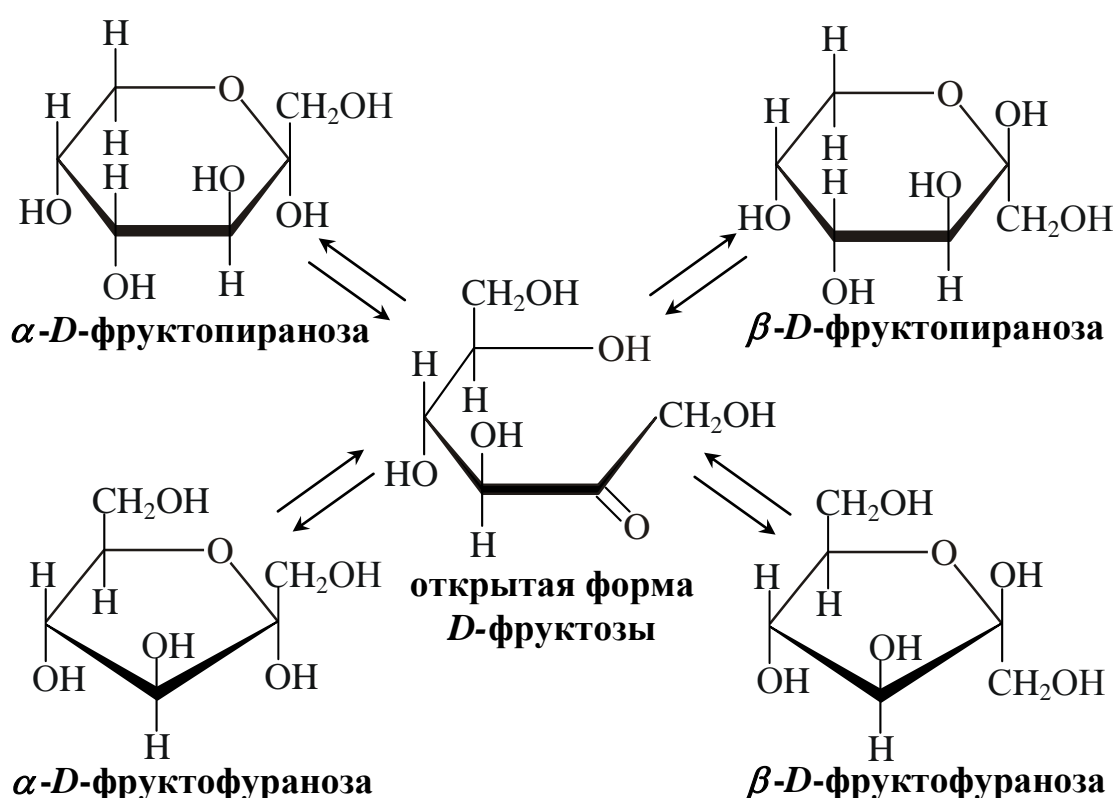
***Таутомерные превращения глюкозы:***



В кристаллическом состоянии и в концентрированных растворах молекулы моносахаридов имеют циклическое строение, а в разбавленном растворе существуют в виде таутомерного равновесия. Как показали рентгеноструктурные исследования, пиранозы существуют в виде кресловидной конформации, аналогично конформации типа «кресло» для циклогексана (см. стр. 44).

Аналогичный процесс циклизации происходит и с фруктозой, которая чаще имеет фуранозную форму.

### *Таутомерные превращения фруктозы:*



Таким образом, каждый из моносахаридов имеет пять таутомерных форм, одну открытую и четыре циклических.

### *Физические свойства моносахаридов*

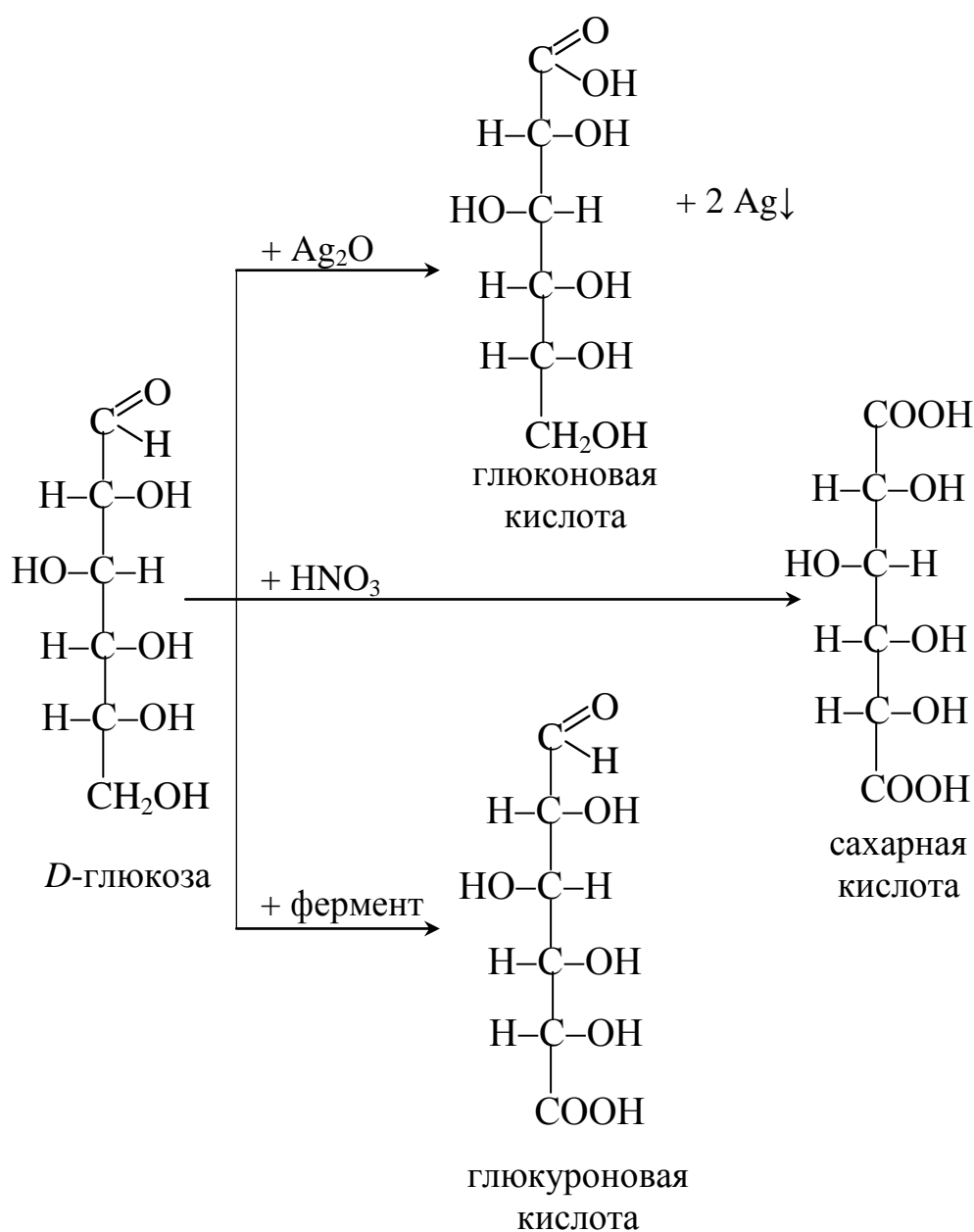
Моносахариды – бесцветные кристаллические вещества, хорошо растворимые в воде, сладкие на вкус. Их растворы оптически активны.

## Химические свойства моносахаридов

Моносахариды – гетерофункциональные соединения, т.к. содержат гидроксильные, альдегидные или кетонные группы. Поэтому они проявляют свойства многоатомных спиртов, альдегидов или кетонов.

Наиболее важные реакции, характерные для простых сахаров, следующие:

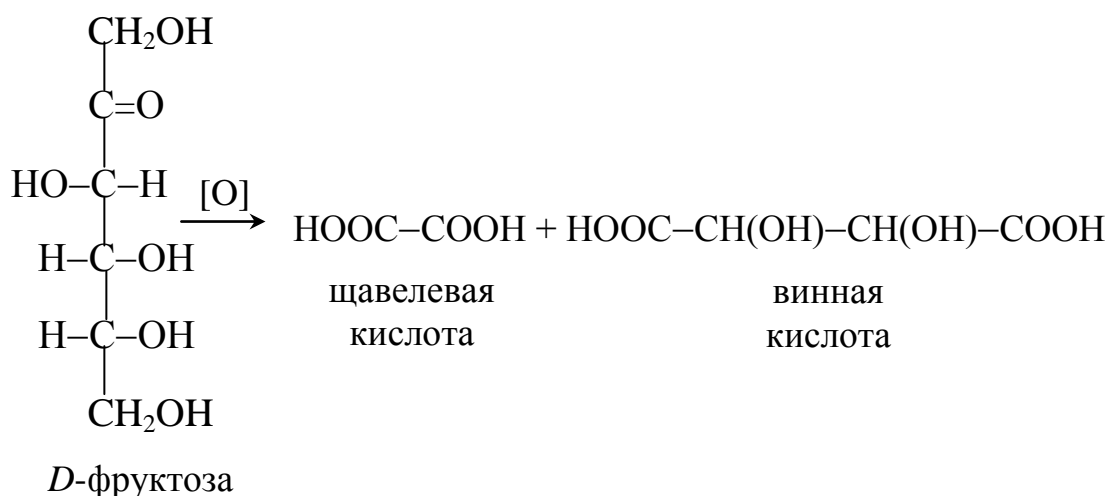
1. **Окисление альдоз** происходит с образованием разных продуктов в зависимости от окислителя:



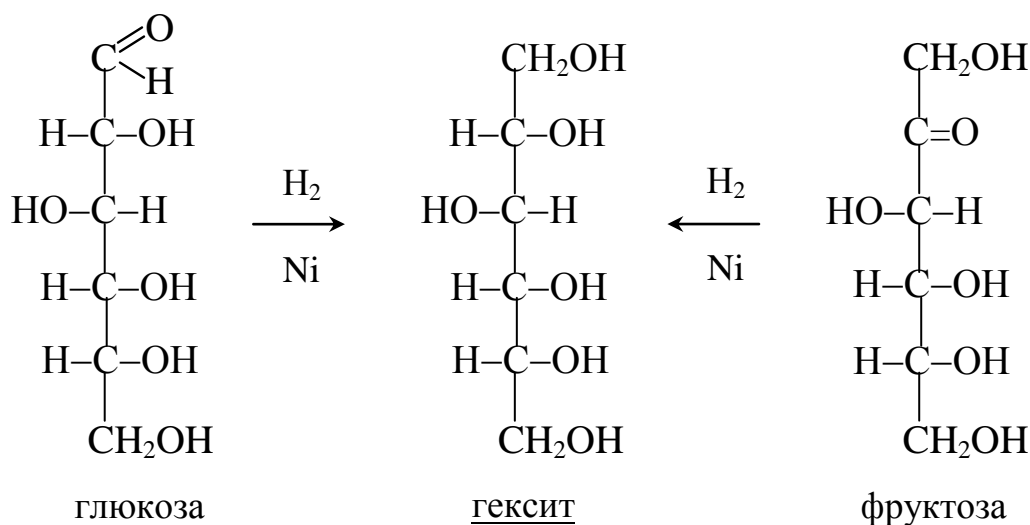
Уроновые кислоты играют важную физиологическую роль, содержатся в крови, моче, участвуют в процессах детоксикации в животном организме.

Полигалактоуроновая кислота является основой пектиновых веществ, которые имеют важное биологическое и практическое значение.

**2. Окисление кетоз** сопровождается расщеплением углеродной цепи и образованием двухосновных кислот:



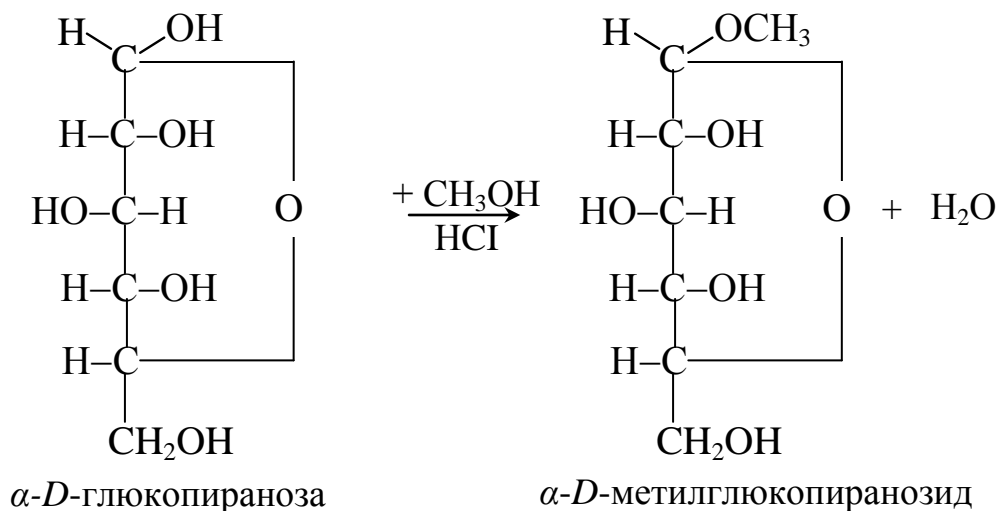
**3. Восстановление моносахаридов** приводит к образованию многоатомных спиртов (пентитов из пентоз, гекситов из гексоз). Так, при действии водорода на глюкозу и фруктозу образуется один и тот же спирт:





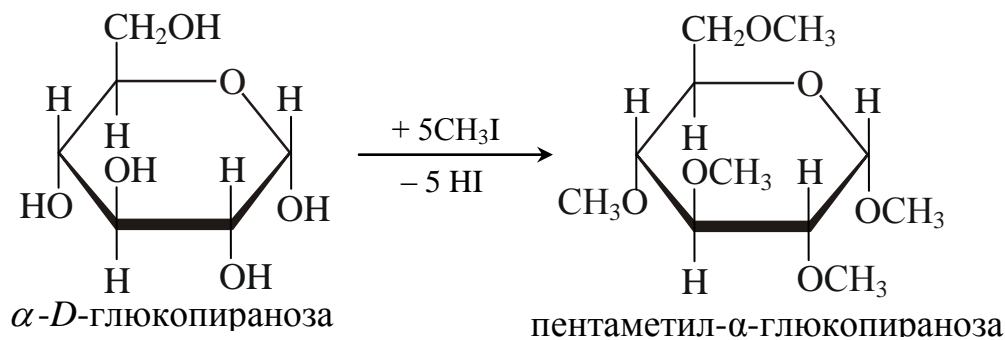
#### 4. Образование эфиров:

а) образование простых эфиров – гликозидов – происходит при нагревании моносахаридов со спиртами в присутствии газообразного хлороводорода за счет наиболее активного гликозидного гидроксила:

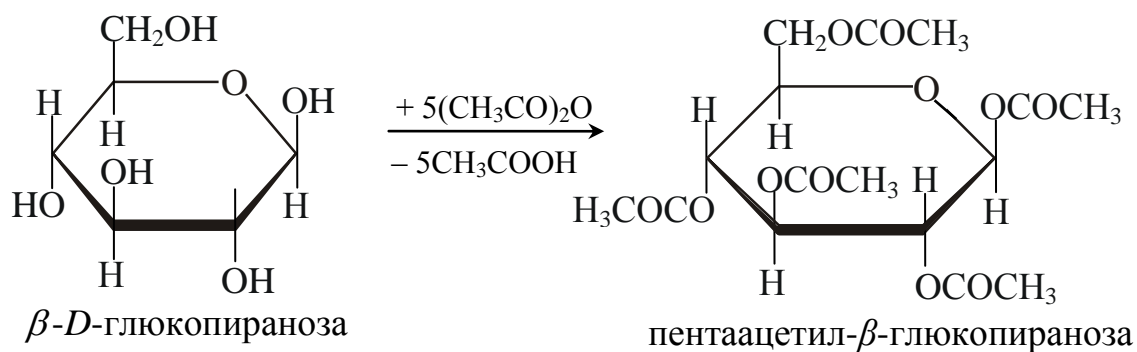


Гликозиды играют важную роль в природе и применяются для лечения сердечно-сосудистых заболеваний.

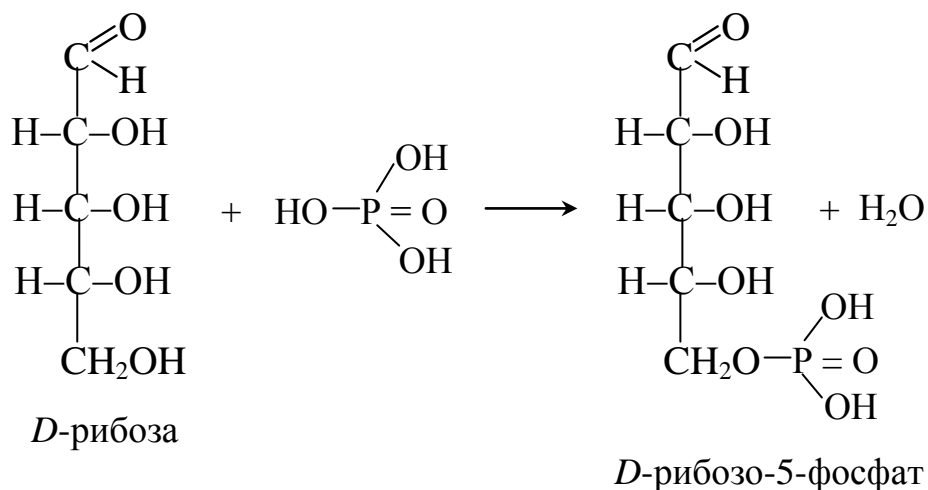
б) алкилирование моносахаридов под действием галогеноалкилов приводит к образованию полных простых эфиров:



в) образование сложных эфиров происходит под действием ацилирующих средств, например, уксусного ангидрида:



г) образование сложных эфиров идет и с минеральными кислотами. Наибольшее биологическое значение имеют фосфорные эфиры сахаров, которые входят в состав нуклеиновых кислот, участвуют в процессах фотосинтеза, дыхания и др. Например:



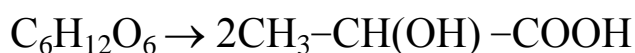
## 5. Брожение сахаров

Брожение – это расщепление сахаров под действием биокатализаторов – ферментов, вырабатываемых различными микроорганизмами. Брожению подвергается в основном глюкоза. По продуктам реакции различают следующие виды брожения:

а) спиртовое брожение:



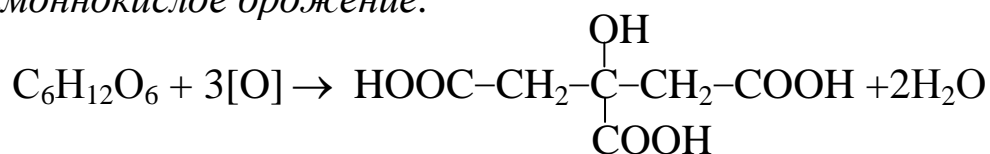
б) молочнокислое брожение:



в) маслянокислое брожение:



г) лимоннокислое брожение:



В животном организме постоянно протекают процессы расщепления и синтеза моносахаридов. Процесс расщепления углеводов с образованием молочной кислоты называется гликолизом и происходит при мышечных сокращениях.

Процессы брожения играют важную роль в природе и широко применяются в промышленности.

### ***Важнейшие представители и их применение***

Глюкоза (виноградный сахар) – наиболее распространена в природе, содержится в соках винограда и других плодов и фруктов, а также в меде, в крови и других биологических жидкостях животных организмов. Глюкоза является главной составной частью ди- и полисахаридов и важнейшим источником энергии в живом организме. Она применяется в медицине, в производстве аскорбиновой кислоты, в кондитерской и текстильной промышленности.

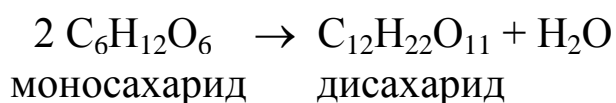
Фруктоза (плодовый сахар) – важная из кетоз, встречается в природе вместе с глюкозой, входит в состав тростникового и свекловичного сахара, полисахарида – инулина, меда, более сладкая, чем глюкоза. Фруктоза применяется в медицине и пищевой промышленности как заменитель сахара.

Мед – густая, сладкая жидкость, представляющая собой переработанный пчелами нектар цветов. Мед содержит около 74% моносахаридов, из них 35% глюкозы и около 40% фруктозы, а также сахарозу, оксикислоты (яблочную, молочную, лимонную), витамины и другие вещества.

### **Олигосахариды (ди- и трисахариды)**

Олигосахариды, т.е. низкомолекулярные сахара содержат небольшое число (2,3,...) звеньев моносахаридов.

Молекулы дисахаридов (биоз) состоят из остатков двух молекул моносахаридов. Схема образования:

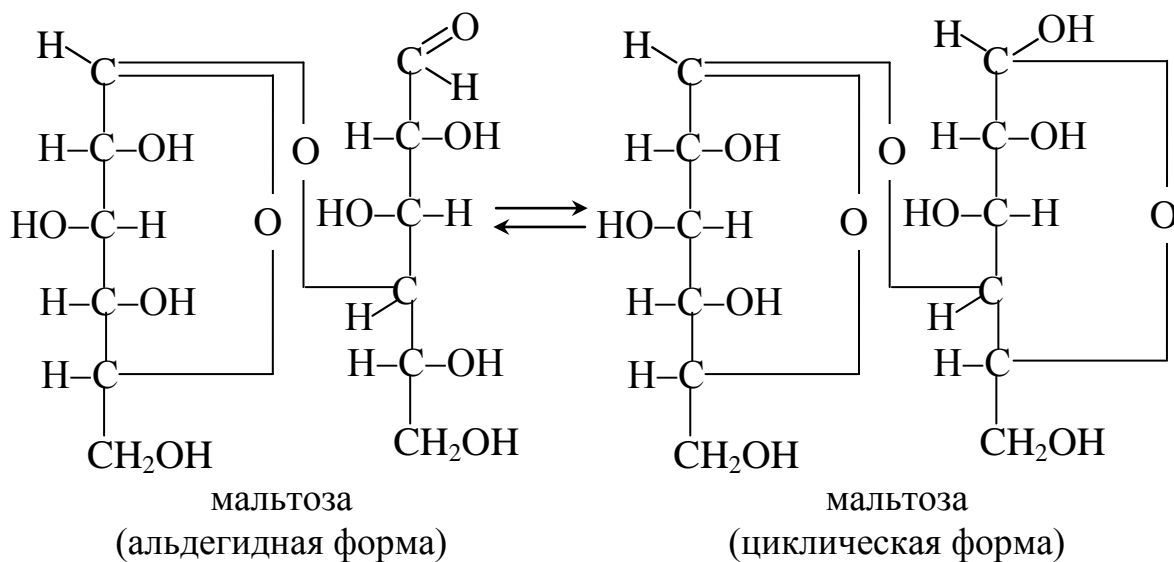


**Классификация.** Различают два типа дисахаридов (восстанавливающие и невосстанавливающие) в зависимости от того,

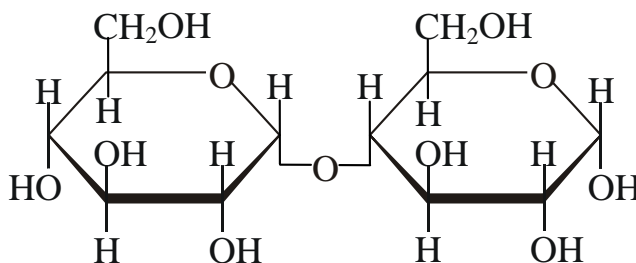
какие гидроксильные группы участвуют в соединении молекул моносахаридов.

**Восстанавливающие дисахариды** (гликозидгликозы) образуются в результате отщепления молекулы воды за счет одного гликозидного и одного спиртового (чаще при 4-ом атоме углерода) гидроксильных, что приводит к возникновению моногликозидной связи. Восстанавливающие дисахариды содержат свободную альдегидную группу (или гликозидный гидроксил) и способны восстанавливать оксид серебра или жидкость Фелинга. К ним относятся мальтоза, целлобиоза и лактоза.

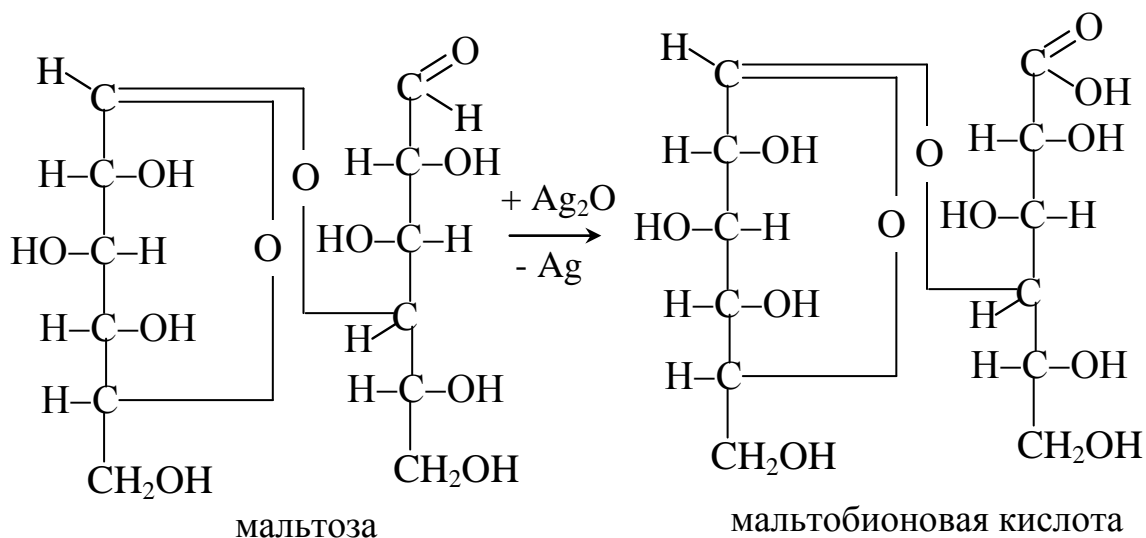
Молекула мальтозы (солодовый сахар) состоит из двух остатков молекул  $\alpha$ -D-глюкопиранозы. В растворе циклическая форма мальтозы находится в равновесии с таутомерной альдегидной формой.



Перспективная циклическая форма мальтозы имеет вид:

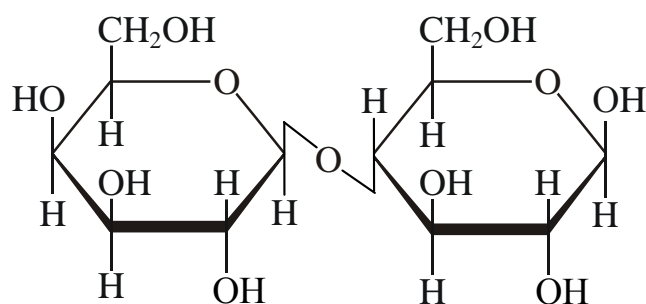


При окислении мальтозы (в альдегидной форме) образуется мальтобионовая кислота:



Мальтоза (солодовый сахар) – кристаллическое вещество, растворимое в воде, образуется при неполном гидролизе крахмала ферментами, которые содержатся в проросших зернах (солоде), применяется в пищевой промышленности.

Целлобиоза – дисахарид, образующийся при неполном гидролизе клетчатки (целлюлозы). Ее молекула состоит из двух остатков  $\beta$ -D-глюкопиранозы. Целлобиоза почти не сладкая, не сбраживается и не усваивается организмом человека.



Лактоза (молочный сахар) состоит из остатков  $\beta$ -D-галактопиранозы и  $\alpha$ -D-глюкопиранозы, соединенных моногликозидной связью. Подобно мальтозе, лактоза в альдегидной форме окисляется до лактобионовой кислоты, подвергается молочнокислому и лимоннокислому брожению, входит в состав молока, содержится в пыльце многих растений, применяется в фармакологии.



В результате гидролиза образуется смесь равных количеств глюкозы и фруктозы, которая называется «*инвертным сахаром*». Процесс гидролиза лежит в основе усвоения сахара организмом человека.

Сахароза – самый распространенный в растениях дисахарид. В промышленности сахарозу получают из сахарного тростника, содержащего 14-26% сахара, или из сахарной свеклы, которая содержит 16-20% сахара. Кроме того, сахароза содержится в листьях, семенах, а также в плодах (абрикосах, персиках, грушах, ананасах).

**Основы свеклосахарного производства.** При промышленном производстве сахарозы измельченную свеклу обрабатывают горячей водой. Полученный раствор содержит 12-15% сахара и много примесей (фосфорную, лимонную, щавелевую кислоты, белки и др.). Примеси осаждают, обрабатывая раствор «известковым молоком»  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

После фильтрования раствор содержит сахарозу и сахарат кальция. Через раствор пропускают углекислый газ, при этом сахараты разлагаются с образованием осадка  $\text{CaCO}_3$ , который отделяют фильтрованием.

Оставшуюся в растворе сахарозу выделяют упариванием в вакууме (при пониженном давлении) до начала кристаллизации и отделяют от раствора центрифугированием. Такую операцию повторяют многократно. Отходом производства является густая некристаллизуемая масса (свекловичная патока), которая используется в кондитерской промышленности и в качестве корма для скота.

Полученная таким образом сахароза представляет собой «сахарный песок», который подвергают очистке с помощью активированного угля или ионитных смол, прессуют и получают сахар-рафинад.

Трегалоза или микоза (грибной сахар) содержится во многих грибах, лишайниках, водорослях, дрожжах, а также в организмах некоторых насекомых и беспозвоночных животных. Она состоит из двух молекул  $\alpha$ -D-глюкопиранозы, соединенных бигликозидной связью, и не дает «реакцию серебряного зеркала».

**Трисахариды** состоят из остатков трех молекул моносахаридов. Наиболее распространена рафиноза, которая состоит из галактозы, глюкозы и фруктозы и содержится в сахарной свекле, в семенах хлопчатника, ржи, пшеницы и во многих других растениях.

## Полисахариды

Полисахариды – это высокомолекулярные соединения (биополимеры), состоящие из десятков и сотен тысяч остатков молекул моносахаридов. Полисахариды широко распространены в природе, особенно в растениях.

**Классификация.** Различают пентозаны  $(C_5H_8O_4)_x$ , полисахариды, построенные из остатков пентоз, и гексозаны  $(C_6H_{10}O_5)_x$ , построенные из остатков гексоз.

Пентозаны, например, ксиланы, арабаны, содержатся в соломе, лишайниках, в оболочках семян. Наибольшее биологическое и практическое значение имеют гексозаны. К ним относятся растительный крахмал, животный крахмал (гликоген), клетчатка или целлюлоза, построенные на основе глюкозы, и инулин, состоящий из остатков фруктозы.

## Крахмал

Крахмал образуется в зеленых листьях растений в результате фотосинтеза и, как резервное питательное вещество, накапливается в семенах, клубнях, корнях, тканях. Так, в семенах растений содержится 70-80% крахмала, в клубнях картофеля – 16-19%. Макромолекулы крахмала имеют зернистое строение. Зерна крахмала различаются у каждого растения по величине, форме и строению.

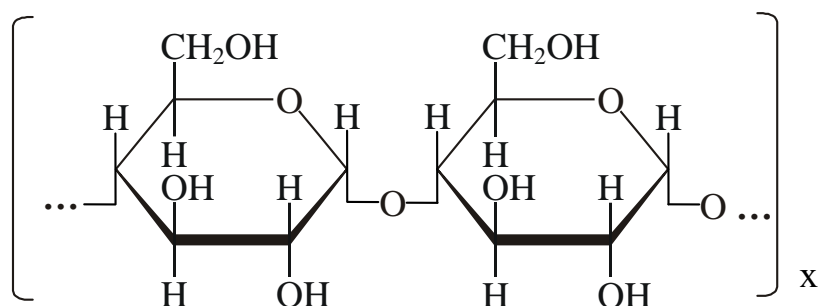
**Строение крахмала.** Крахмал неоднородное вещество и представляет собой смесь полисахаридов, построенных из остатков  $\alpha$ -D-глюкопиранозы, соединенных по мальтозному типу.

Полисахариды растительного крахмала делятся на две фракции: амилозу (15-25%) и амилопектин (75-85%). Их соотношение зависит от вида растений. Например, в картофельном

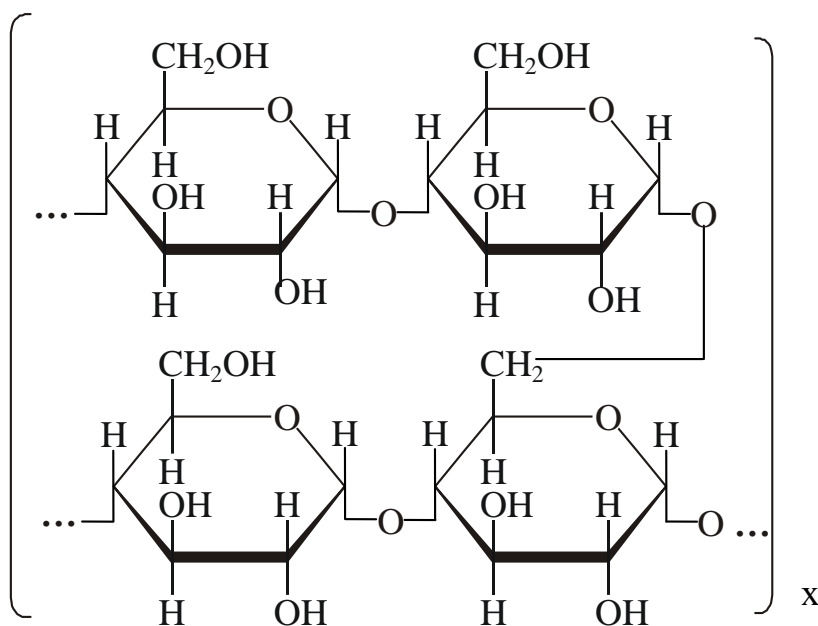


крахмале содержится 19-22% амилозы, в кукурузном – 21-24%, в рисовом – 17%.

Молекулы амилозы - это линейные или малоразветвленные цепи, состоящие из 200-1000 остатков  $\alpha$ -D-глюкопиранозы, соединенных кислородными мостиками, образованными за счет 1,4-гликозид-гликозной связи. Кроме того, амилоза содержит около 0,05% фосфорной кислоты. Фрагмент цепи амилозы выглядит следующим образом:



Молекула амилопектина построена аналогично амилозе, но его цепи значительно разветвлены, т.к. кислородные мостики образуются между цепями за счет 6-го спиртового гидроксила и 1-го гликозидного гидроксила. Число звеньев в амилопектине значительно выше, чем в амилозе и составляет 600-6000, содержание фосфорной кислоты – 0,4%. Ниже приведен участок молекулы амилопектина:

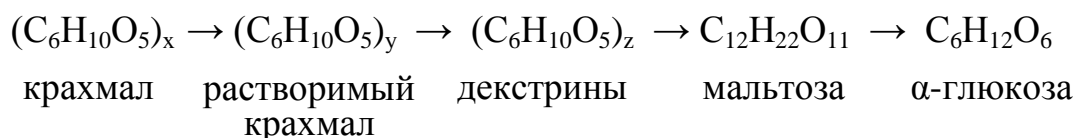


**Свойства крахмала.** Крахмал – белое порошкообразное вещество зернистого строения. Внешняя часть крахмального зерна состоит из амилопектина, внутренняя – из амилозы.

В холодной воде крахмал не растворяется, в горячей воде его зерна набухают и дают коллоидный раствор (клейстер).

Крахмал почти не проявляет восстановительные свойства и не взаимодействует с жидкостью Фелинга. Раствор йода дает с крахмалом характерное синее окрашивание, которое исчезает при нагревании.

Гидролиз крахмала происходит под действием минеральных кислот или фермента (амилазы) в живом организме. Конечным продуктом гидролиза крахмала является  $\alpha$ -D-глюкопираноза. Схема гидролиза следующая:



**Декстрины** – полисахариды с более короткими цепями, которые образуются при действии высокой температуры на крахмал и определяют качество выпечки хлеба.

**Применение крахмала.** Крахмал – это один из основных компонентов пищевых продуктов. Мука, хлеб, крупы, картофель являются главными источниками углеводов для организма человека. Крахмал применяется при производстве кондитерских и колбасных изделий, косметических средств, лекарственных препаратов, а также в текстильной, бумажной, микробиологической промышленности.

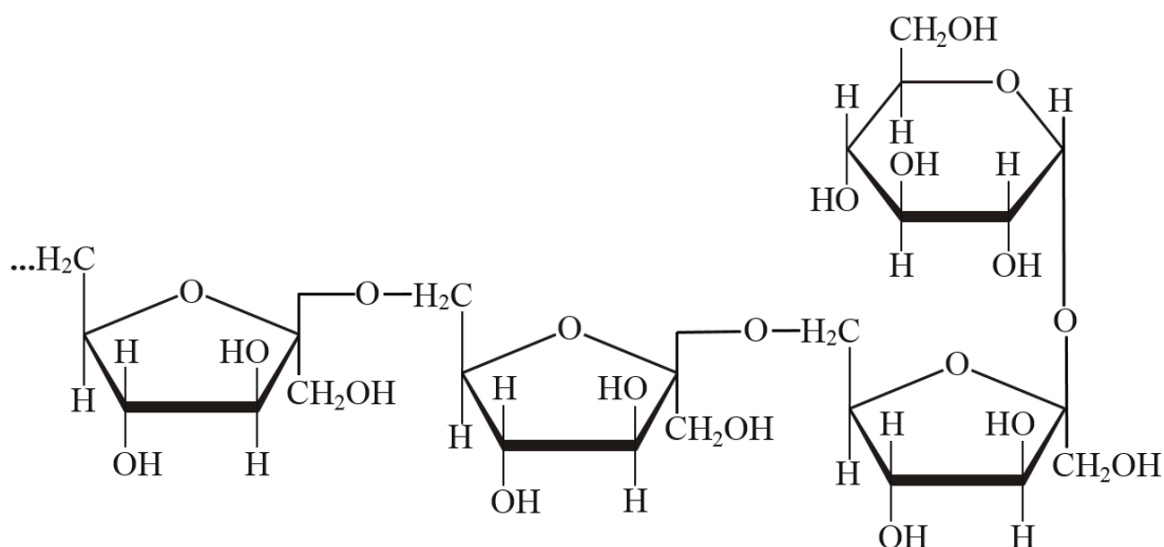
## Гликоген

Гликоген – животный крахмал с общей формулой  $(C_6H_{10}O_5)_x$ , построенный из остатков  $\alpha$ -D-глюкопираноза, но имеет более разветвленное строение по сравнению с растительным крахмалом, и число звеньев в его молекуле составляет около 60000. Под действием фермента фосфорилазы гликоген подвергается гидролизу (фосфоролизу). Гликоген – это резервное питательное вещество животного организма, накапливается в мышцах (4%) и в печени (до 20%), играет важную роль в энергетическом балансе, является

ценной составной частью пищевых продуктов животного происхождения, содержится в рыбе, мясе, печени и др.

## Инулин

Инулин – питательное вещество некоторых растений, содержится в корнях цикория, клубнях георгина, в топинамбуре (земляной груше), нарциссах и др. Инулин – это полисахарид, состоящий из 35-42 остатков фруктозы, на конце цепи содержит одну молекулу глюкозы:



Инулин легко усваивается человеком и животными, поэтому многие растения, богатые инулином, используются как кормовые культуры.

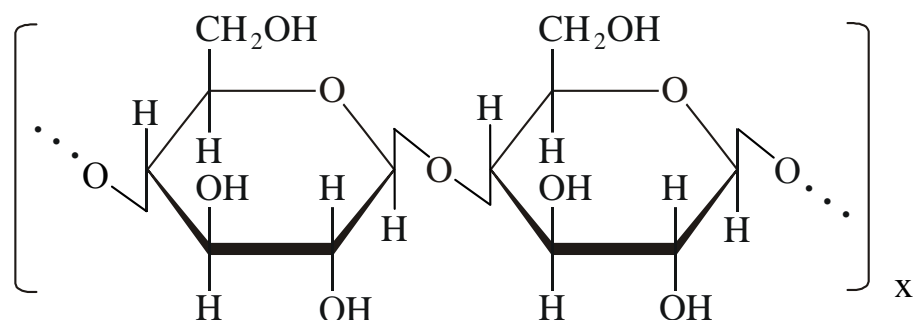
Инулин применяется в пищевой промышленности и медицине (в качестве сахарозаменителя).

## Целлюлоза (клетчатка)

Клетчатка наиболее распространена в растениях и выполняет структурные функции. Из ее молекул построены стенки растительных клеток, она образует каркас растений. Целлюлоза является главной составной частью древесины (до 70%), хлопка (почти 100%), содержится в стеблях растений, оболочках плодов, овощей, семян, в муке, крупе и т.д.

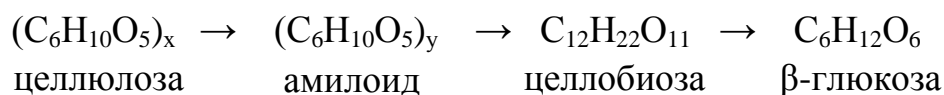
**Строение целлюлозы.** Целлюлоза – это полисахарид с общей формулой  $(C_6H_{10}O_5)_x$ , молекулы которого состоят из остат-

ков β-D-глюкопиранозы, связанных между собой по типу целлобиозы, и имеющий линейное строение:



Число звеньев составляет от 1800 до 36000.

Схема гидролиза клетчатки:

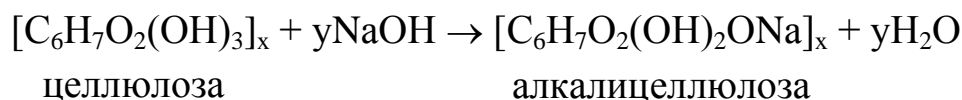


Клетчатка более устойчива, чем крахмал, ее гидролиз идет лишь при длительном кипячении в кислоте. Из амилоида получают пергаментную бумагу.

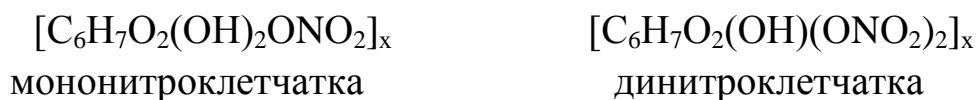
В животном организме гидролиз целлюлозы происходит только под действием особых ферментов, вырабатываемых микроорганизмами в рубце жвачных животных и в кишечнике у свиней. Организм человека не усваивает целлюлозу, она выполняет роль скраба в кишечнике.

**Свойства клетчатки.** По свойствам клетчатка резко отличается от крахмала, хотя имеет незначительные различия в строении. Клетчатка – волокнистое, прочное вещество, не растворяется и не набухает в воде, в отличие от крахмала не дает синее окрашивание с йодом, но растворяется в реактиве Швейцера ( $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$ ).

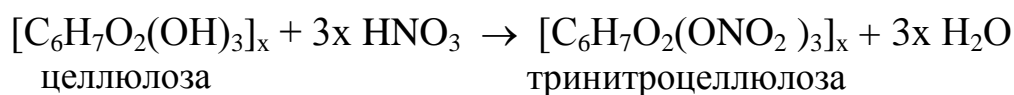
В каждом звене целлюлоза содержит три свободные гидроксильные группы. Схематично формулу целлюлозы можно представить следующим образом:  $[\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_3]_x$ . Поэтому она проявляет свойства многоатомных спиртов. Например, образует алкалицеллюлозу (щелочную целлюлозу) после обработки щелочами:



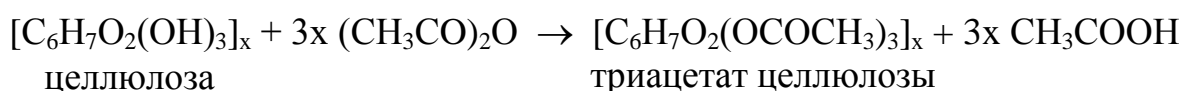
Кроме того, целлюлоза образует простые и сложные эфиры. Наибольшее практическое значение имеют сложные эфиры клетчатки с азотной и уксусной кислотами. Так, моно- и динитроэфиры применяются в производстве лаков, красок, кино- и фотопленки, пластмасс.



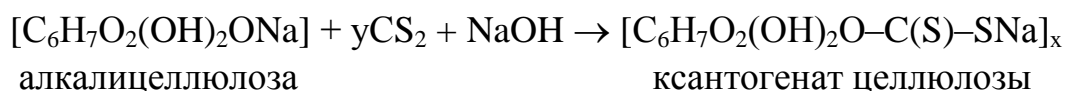
При действии на клетчатку азотной кислоты в соотношении 1:3 образуется тринитроклетчатка, взрывчатое вещество, которое применяется для изготовления бездымного пороха (пироксилина).



При этерификации целлюлозы уксусным ангидридом образуется триацетат целлюлозы, который используется в производстве ацетатного волокна (искусственного шелка).



Вискозное волокно получают обработкой алкалицеллюлозы сероуглеродом:



Различают натуральные, искусственные и синтетические волокна. Натуральное волокно (льняное, хлопковое) получают механической обработкой природного сырья (треплют лен, прядут хлопок). Искусственное волокно производят химической переработкой природного сырья, например, древесины, из которой получают ацетатный и вискозный шелк. Синтетическое волокно (лавсан, нейлон, капрон и др.) образуется в результате полимеризации или поликонденсации.

Таким образом, клетчатка имеет очень большое практическое значение. Она применяется в производстве строительных и отделочных материалов, картона, бумаги, лаков, красок, взрывчатых веществ, натуральных и искусственных волокон и т.д.

Наряду с целлюлозой одной из важнейших составляющих древесины является лигнин. Он представляет собой нерегулярный полимер с разветвленными макромолекулами, состоящими

в том числе из полиоксибензальдегидов и полиоксибензойных кислот, которые содержат метоксильные группы ( $-\text{OCH}_3$ ).

Строение лигнина неизвестно. Установлено, что лигнин является важным компонентом почвы, участвующим наряду с другими соединениями в гумусообразовании.

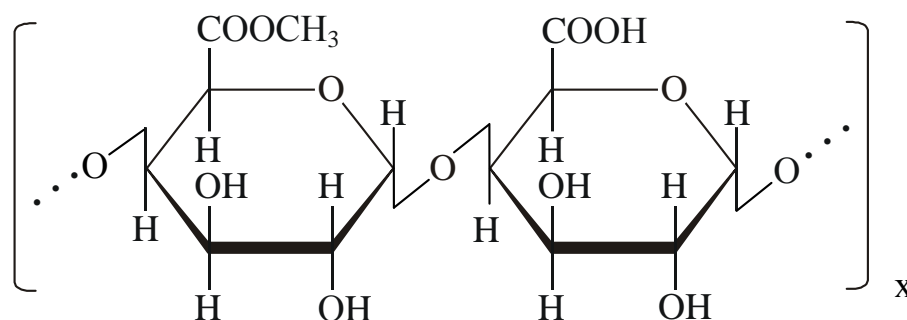
### Пектиновые вещества

Пектиновые вещества – высокомолекулярные соединения, относящиеся к углеводам и содержащиеся в соке плодов (яблок, груш, лимонов и др.), ягодах, овощах (свекле, моркови и др.), а также в корнях некоторых растений (цикория, ромашки).

Пектины осаждают из водных растворов спиртом.

В химическом отношении пектиновые вещества представляют собой поли- $\beta$ -галактоуроновую кислоту, у которой одна часть карбоксильных групп (около 75%) метилирована, а другая часть образует соли с катионами Na, Ca, Mg.

Фрагмент молекулы пектина имеет следующий вид:



В дальнейшем было установлено, что пектиновые вещества могут иметь разветвленное строение и содержать нейтральные сахара (галактозу, глюкозу, ксилозу, арабинозу и рамнозу).

Пектины обладают желирующей способностью и применяются в пищевой промышленности для производства желе, джемов, конфитюров, мармеладов, пастилы и других кондитерских изделий. В медицине и здравоохранении пектины используют как стабилизаторы обмена веществ, для снижения содержания холестерина, для вывода из организма тяжелых металлов и радионуклеидов, а также в качестве обволакивающих, обезболивающих и противовоспалительных средств при лечении заболеваний желудочно-кишечного тракта.

## Вопросы для самоконтроля

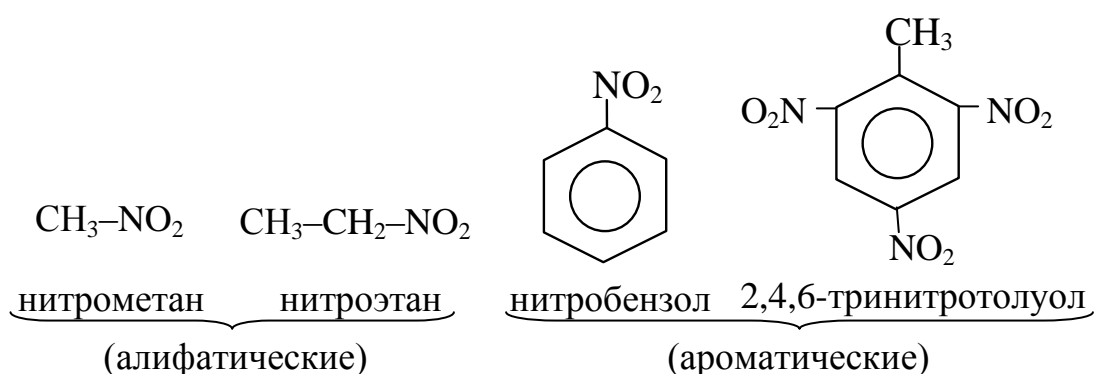
1. Дайте определение углеводам или сахарам.
2. Опишите классификацию углеводов.
3. Приведите формулы D-рибозы и D-дезоксирибозы. В состав каких важных природных соединений входят эти пентозы?
4. Где в природе встречается глюкоза? Сколько асимметрических атомов углерода она содержит? Напишите формулы D-глюкозы и L-глюкозы.
5. Запишите таутомерные формы глюкозы.
6. Приведите формулу D-фруктозы. Сколько асимметрических атомов углерода она содержит?
7. Как образуются циклические формы моносахаридов? Запишите формулы  $\alpha$ ,D-глюкопиранозы и  $\beta$ ,D-фруктофуранозы.
8. Какие моносахариды входят в состав меда?
9. С помощью какой реакции можно отличить глюкозу от фруктозы?
10. Какой дисахарид содержится в молоке?
11. Как называется сахар, который употребляется в пище? Как его получают?
12. Где в растениях накапливается крахмал? Какую биологическую роль играет этот полисахарид?
13. Назовите природные источники целлюлозы.
14. Опишите применение целлюлозы.
15. Какое строение имеют пектиновые вещества? Где они применяются?

## АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ СОЕДИНЕНИЯ

Органические соединения, содержащие в молекулах атом азота, широко представлены в природе и играют большую роль в промышленности. К ним относятся белковые вещества, многие важнейшие физиологически активные соединения, красители, лекарственные препараты, пестициды. В настоящем разделе рассмотрены азотсодержащие органические вещества, в молекулах которых атом азота непосредственно связан с атомом углерода: нитросоединения, амины, аминоспирты, аминокислоты и другие.

### Нитросоединения

**Нитросоединения** – это производные углеводородов, содержащие одну или несколько нитрогрупп ( $-\text{NO}_2$ ). Они могут быть алифатическими или ароматическими. Например:



Основным способом получения нитросоединений является реакция нитрования. Нитрование алканов и циклоалканов осуществляется по **реакции Коновалова**.

Нитрование ароматических соединений – типичный пример реакции электрофильного замещения. Причем нитрогруппа является заместителем второго рода, поэтому вторая и третья нитрогруппа вступают в мета-положение ароматического кольца.

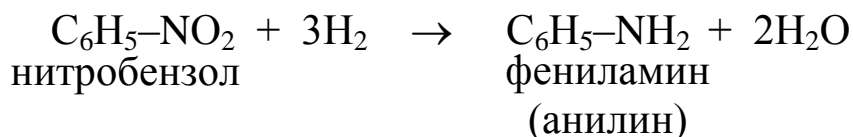
Алифатические нитросоединения – жидкости с приятным запахом, нерастворимые в воде. Ароматические нитросоедине-



ния – жидкости или твердые вещества с запахом горького миндаля, ядовиты.

Наиболее важным химическим свойством нитросоединений является реакция восстановления. При этом нитрогруппа превращается в аминогруппу.

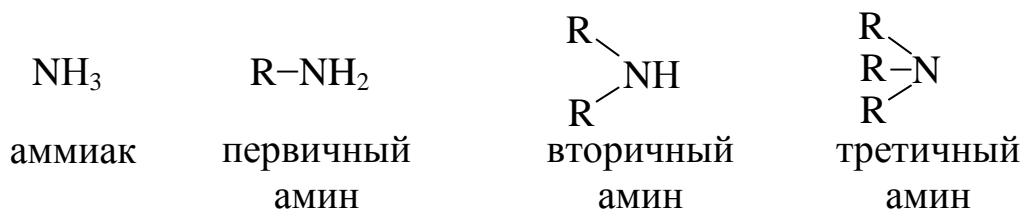
Большое промышленное значение имеет восстановление ароматических соединений (**реакция И.Н. Зинина**):



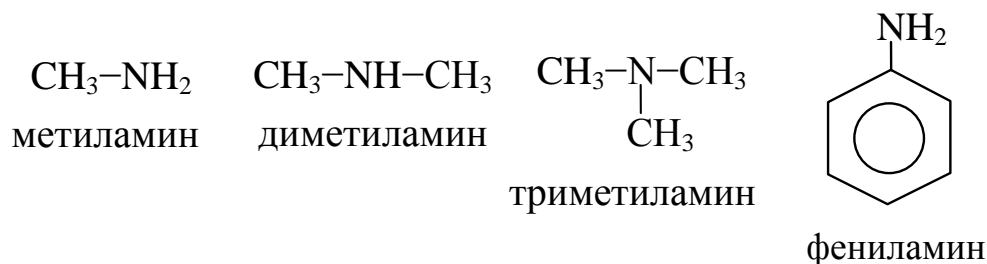
Нитроалканы применяются в основном в качестве растворителей и в производстве зооцидов. Нитробензол служит исходным сырьем в производстве анилина, а на его основе – разнообразных красителей. Тринитротолуол (тол, тротил) широко применяется в качестве взрывчатого вещества и эталона мощности взрыва.

## АМИНЫ

Аминами называются производные аммиака, в молекуле которого атомы водорода замещены на углеводородные радикалы. Они могут быть первичные, вторичные и третичные:



Различают алифатические и ароматические амины, например:



Группа  $\text{--NH}_2$  называется аминогруппой, группа  $\text{>NH}$  – иминогруппой.

Названия аминов строятся из названия радикалов с прибавлением слова «амин» в конце, либо из названия углеводородов с приставкой «амино», а цифрой указывается место аминогруппы в углеродной цепи.

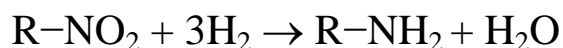
Например:



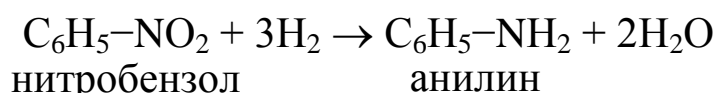
### *Способы получения*

Амины образуются в результате разложения белков, аминокислот и других азотсодержащих соединений, главным образом, под действием гнилостных бактерий. Существует много способов получения аминов. Основные из них следующие:

1. Восстановление алифатических и ароматических нитросоединений:

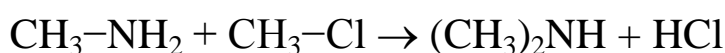
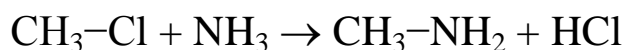


Восстановление ароматических нитросоединений называется **реакцией Зинина** и имеет важное практическое значение в производстве красителей анилинового ряда:

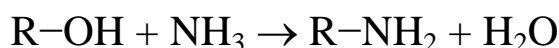


Амины можно получить также восстановлением нитрилов ( $\text{R-CN}$ ) и изонитрилов ( $\text{R-N=C}$ ).

2. Действие аммиака на галогенпроизводные углеводородов (**синтез Гофмана**). В результате получают как первичные, так и вторичные и третичные амины:



3. Взаимодействие спиртов с аммиаком:



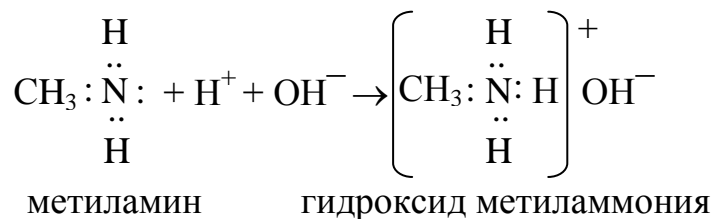
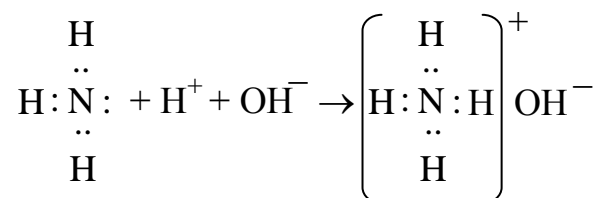
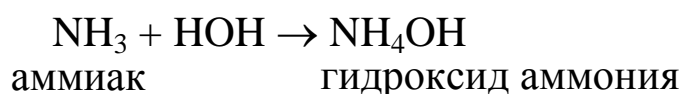
## Физические свойства

Простейшие амины (моно-, ди- и триметиламины) – газообразные вещества, остальные алифатические амины – жидкости с запахом аммиака, хорошо растворимые в воде. Высшие амины – твердые вещества, нерастворимые в воде. Ароматические амины – жидкости или твердые вещества, слабо растворимые в воде.

## Химические свойства

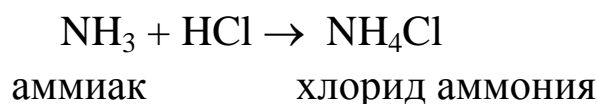
Подобно аммиаку амины проявляют основные свойства, т.е. при растворении в воде дают гидроксиды, под действием кислот – соли. При этом образуются координационные связи в результате донорно-акцепторного взаимодействия неподеленной пары электронов у азота (донора) с положительно заряженным ионом водорода (акцептором).

1. **Взаимодействие аминов с водой** происходит аналогично аммиаку:

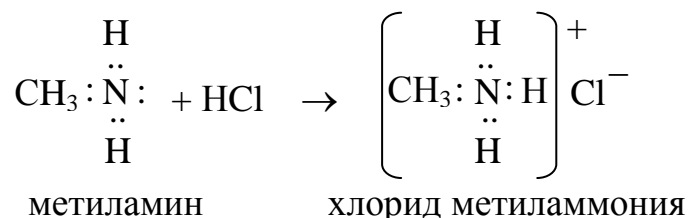


Под действием алкильных радикалов электрофильные свойства азота увеличиваются, поэтому амины дают более сильные основания, чем аммиак.

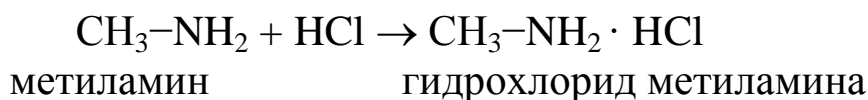
2. **Образование солей с кислотами:**



Аналогично амины образуют соли, представляющие собой комплексные соединения, в которых центральный атом азота с координационным числом, равным четырем, связан с атомами водорода и углеводородным радикалом координационной связью и расположен во внутренней сфере, а кислотный остаток находится во внешней сфере.

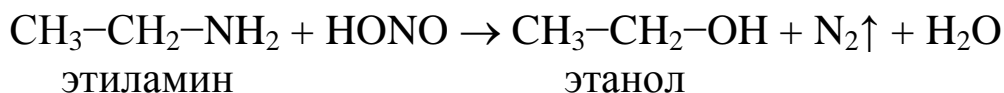


Для солей аминов используется и другая форма записи:

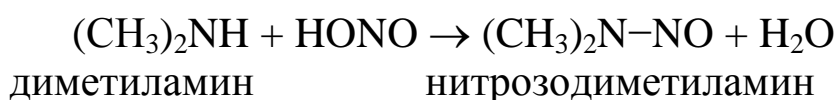


**3. Взаимодействие с азотистой кислотой** происходит по-разному у первичных, вторичных и третичных аминов, что позволяет их различить:

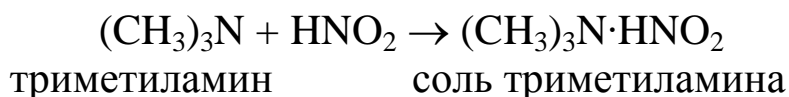
а) первичные амины превращаются в спирты:



б) вторичные амины дают нитрозоамины:



в) третичные амины образуют соли:



Аналогично взаимодействуют с кислотами и ароматические амины.

### ***Важнейшие представители и их применение***

Моно-, ди-, триметиламины – ядовитые газы с резким неприятным запахом, содержатся в некоторых ядовитых травах (семейство молочайных), а также в селедочном рассоле, выде-

ляются при гниении белковых веществ, применяются в органическом синтезе, в производстве красителей, лекарственных препаратов, поверхностно-активных веществ.

Этиламин при дегидрировании превращается в этилимин, который является активным мутагеном и широко используется в селекции; в виде производных входит в состав природных антибиотиков и применяется в производстве ракетного топлива.

Анилин (фениламин) – бесцветная жидкость, легко окисляется на воздухе и темнеет, а также бромруется, сульфуруется. Сульфопроизводные анилина (сульфаниловая кислота) применяются в производстве лекарственных сульфамидных препаратов, например, белого стрептоцида, а также красителей, полимерных материалов, авиационного бензина, резины.

## Диамины

Диамины содержат две аминогруппы, т.е. являются полифункциональными соединениями, играют важную роль в биологических процессах. Наибольшее значение имеют следующие представители:

$\text{NH}_2-(\text{CH}_2)_2-\text{NH}_2$  этилендиамин (1,2-диаминоэтан)

$\text{NH}_2-(\text{CH}_2)_4-\text{NH}_2$  тетраметилендиамин (1,4-диаминобутан)

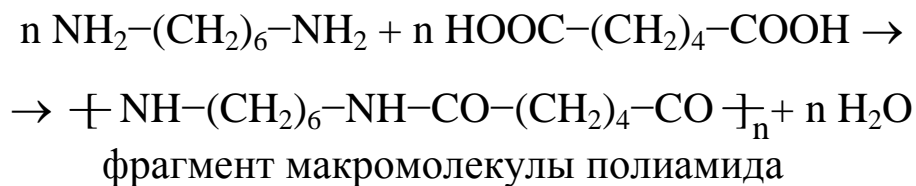
$\text{NH}_2-(\text{CH}_2)_5-\text{NH}_2$  пентаметилендиамин (1,5-диаминопентан)

$\text{NH}_2-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$  гексаметилендиамин (1,6-диаминогексан)

Этилендиамин – токсичная жидкость, используется в текстильной промышленности, в производстве фунгицидов (противогрибковых препаратов).

Тетраметилендиамин (путресцин) и пентаметилендиамин (кадаверин) – кристаллические вещества, образуются при гниении белков в результате ферментативного декарбоксилирования аминокислот и ранее считались «трупными ядами» или птомаинами. Они содержатся также в спорынье, мухоморе, в сыре и пивных дрожжах.

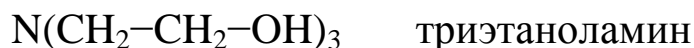
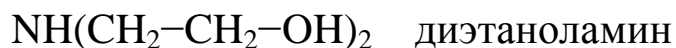
Гексаметилендиамин имеет наибольшее практическое значение, т.к. на его основе поликонденсацией с адипиновой кислотой получают синтетическое волокно «наylon».



Этот продукт относится к полиамамидам, т.к. содержит амидную группу  $-\text{NH}-\text{CO}-$ .

## Аминоспирты

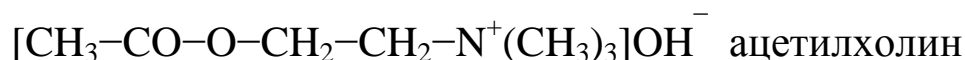
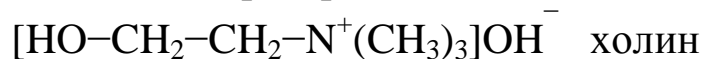
Аминоспирты – гетерофункциональные соединения, содержащие разные функциональные группы – гидроксильную и аминогруппу. Наибольшее значение имеют:



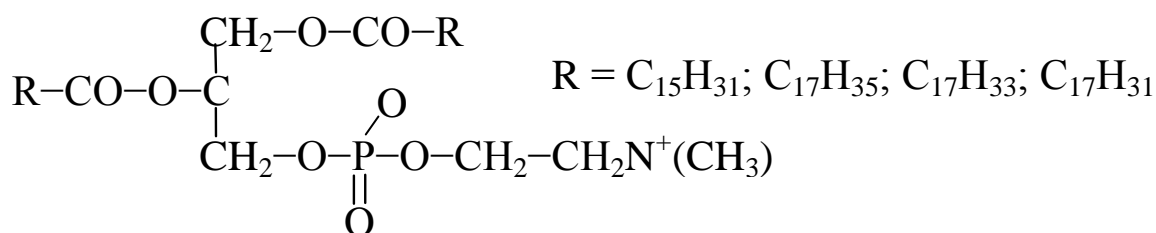
Аминоспирты – жидкости с запахом аммиака, растворимые в воде, применяются в составе моющих средств в текстильной промышленности.

Наиболее распространен в природе коламин. В виде производных коламин содержится в семенах растений (бобов, гороха, овса, сои, рапса и др.), а также в желтке куриного яйца, является составной частью **фосфатидов (сложных липидов)**, из которых построены нервные ткани.

Производные этаноламина – холин (гидроксид 2-оксиэтилтриметиламмония) и этерифицированный по ОН-группе ацетилхолин – участвуют в передаче нервных импульсов от мозга к мышцам и называются нейрогомонами.



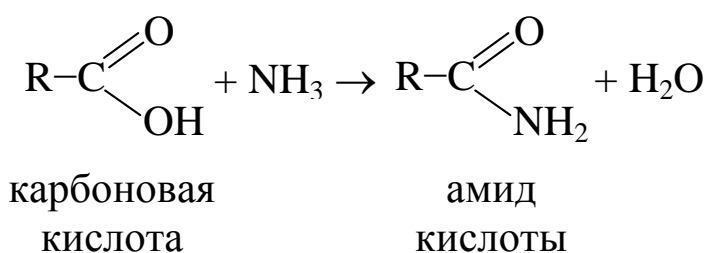
К фосфатидам относятся, например, лецитины:



В состав фосфатидов входят в основном пальмитиновая, стеариновая, олеиновая, линолевая и другие высшие кислоты, такие как арахидоновая кислота ( $C_{19}H_{31}COOH$ ), содержащая четыре двойные связи, нервоновая кислота ( $C_{23}H_{45}COOH$ ).

## Амиды кислот

**Амидами** называются производные кислот, содержащие аминогруппу в карбоксиле вместо гидроксильной группы. Они образуются при действии аммиака на карбоновые кислоты:



Формаид (амид муравьиной кислоты)  $\text{HCONH}_2$  – жидкость, растворимая в воде, применяется как растворитель и для приготовления мазей, бальзамов.

Ацетамид (амид уксусной кислоты)  $\text{CH}_3\text{CONH}_2$  – кристаллическое вещество с запахом мышей, применяется в бумажной, текстильной промышленности и в виде ртутной соли для протравливания зерна.

Аспарагин  $\text{NH}_2\text{COCH}(\text{NH}_2)\text{CH}_2\text{COOH}$  (амид аспарагиновой кислоты) и глутамин  $\text{NH}_2\text{COCH}(\text{NH}_2)\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$  (амид глутаминовой кислоты) входят в состав белков и являются резервом аммиака в живом организме.

Карбамид или мочеви́на  $\text{NH}_2\text{CONH}_2$  (диамид угольной кислоты) имеет важное практическое и биологическое значение. Мочевина – кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде, является конечным продуктом азотистого обмена животного организма.

В промышленности синтез мочевины осуществляют по следующей схеме:

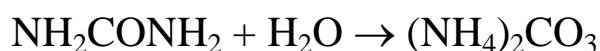


Важнейшие химические свойства мочевины следующие:

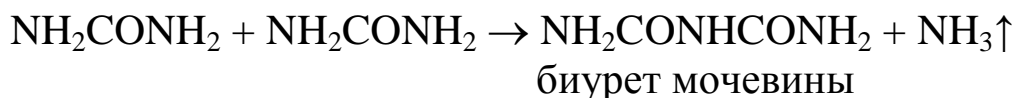
1. **Гидролиз** под действием фермента (уреазы):



В почве мочевина под действием ферментов аммонифицируется, т.е. превращается в карбонат аммония, который поглощается растениями и микроорганизмами:



2. **Образование биурета** из мочевины при нагревании:



Кроме того, мочевина разлагается азотистой кислотой, вступает в реакции алкилирования, ацилирования и поликонденсации по аминогруппе, что используется в органическом синтезе.

Мочевина применяется в сельском хозяйстве в качестве высококонцентрированного азотного удобрения (46,5% азота) и добавки к кормам жвачных животных пролонгированного действия. В почву мочевина вносится под все виды сельскохозяйственных растений, на всех видах почв, обычно вместе с пестицидами и сульфатом калия.

## **Аминокислоты**

**Аминокислоты** – гетерофункциональные соединения, содержащие карбоксильную и аминогруппу. По положению аминогрупп в углеродной цепи различают  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и т.д. аминокислоты. Наибольшее значение имеют  $\alpha$ -аминокислоты, так как из них построены белки.

### ***Классификация***

1. *По числу карбоксильных групп* (монокарбоновые, дикарбоновые).
2. *По числу аминогрупп* (моноамино- и диаминокарбоновые).
3. *По характеру радикала* (алифатические, ароматические, гетероциклические).



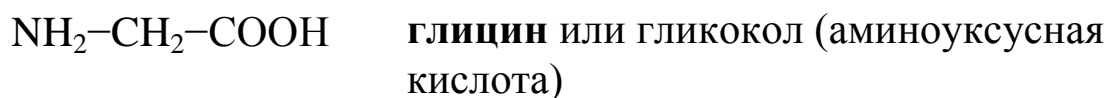
4. По наличию другой функциональной группы (например: оксиаминокислоты).

5. По биологической роли (заменяемые и незаменимые).

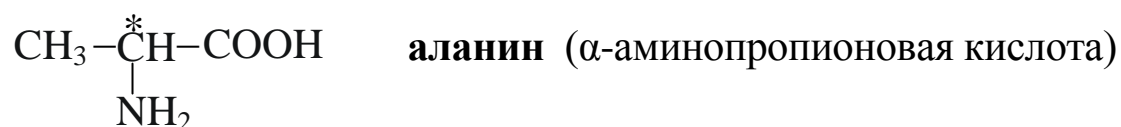
Заменяемые аминокислоты могут синтезироваться в живом организме, незаменимые вносятся с пищей животного и растительного происхождения.

Примеры аминокислот:

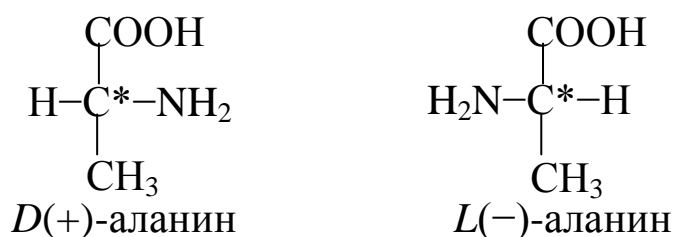
**Моноаминомонокарбоновые кислоты** содержат одну амино-группу и одну карбоксильную группу.



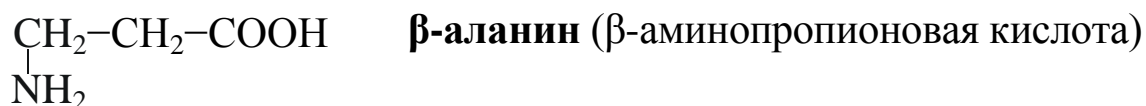
Глицин – заменимая аминокислота, содержится во всех белках, особенно в белке шелка и в желатине.



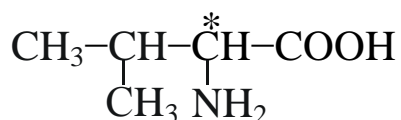
$\alpha$ -Аланин – заменимая аминокислота, входит в состав как растительных, так и животных белков, а также ферментов. Подобно другим  $\alpha$ -аминокислотам содержит асимметрический атом углерода (C\*) и существует в виде двух оптических или зеркальных изомеров:



Аминокислоты, входящие в состав белков, относятся к L-ряду.



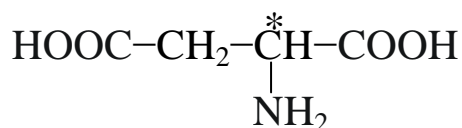
$\beta$ -Аланин не содержится в белках, но является важнейшим биокатализатором окислительных процессов, составной частью витамина B<sub>3</sub>, необходимого для роста птиц и млекопитающих животных.



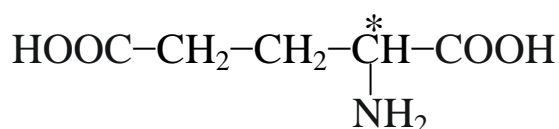
**валин** ( $\alpha$ -аминоизовалериановая кислота)

Валин является одной из самых распространенных в белках незаменимой аминокислотой и синтезируется только в растениях.

**Моноаминодикарбоновые кислоты** содержат одну аминогруппу и две карбоксильные группы.

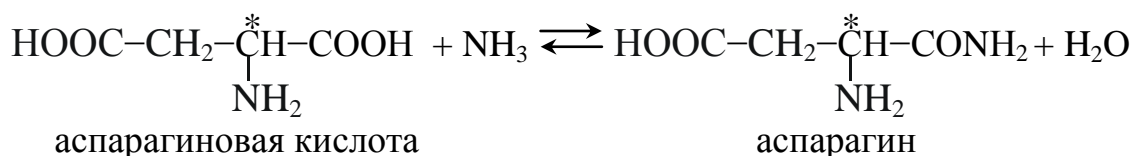


**аспарагиновая** (аминоянтарная) кислота



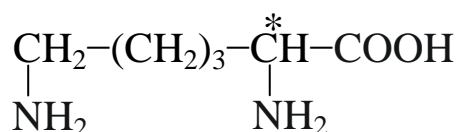
**глутаминовая** (аминоглутаровая) кислота

Это заменимые аминокислоты. Причем аспарагиновая кислота чаще встречается в растительных белках, а глутаминовая – в животных. При действии аммиака эти кислоты образуют амиды (аспарагин и глутамин), которые также содержатся в белках и являются резервом аммиака, необходимого для синтеза аминокислот, и, кроме того, служат для связывания избыточного токсичного аммиака в живом организме.



Гидролиз этих амидов происходит под действием ферментов аспарагиназы и глутаминазы.

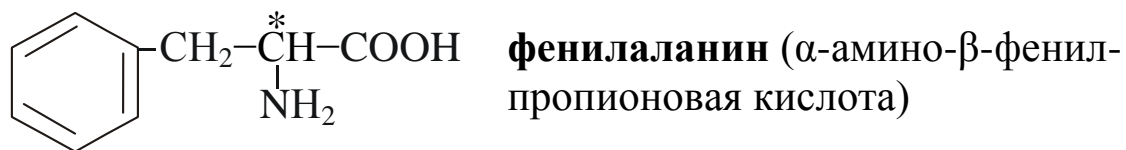
**Диаминомонокарбоновые кислоты** содержат две аминогруппы и одну карбоксильную группу.



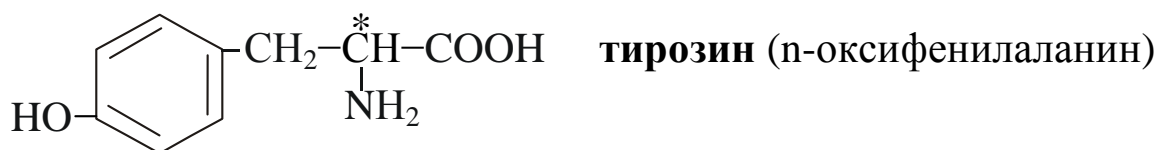
**лизин** ( $\alpha, \epsilon$ -диаминокапроновая кислота)

Лизин – незаменимая аминокислота, используется для подкормки скота.

К **ароматическим аминокислотам** относят аминокислоты, содержащие ароматическое кольцо.

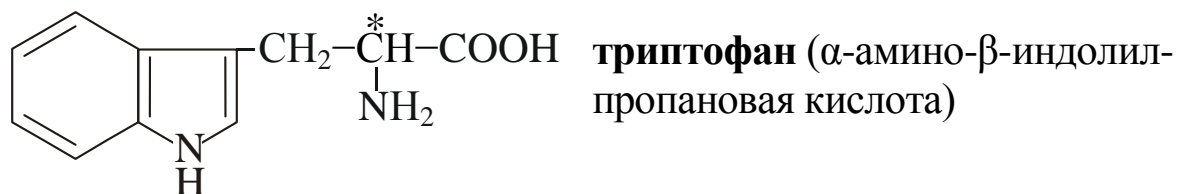


Фенилаланин – незаменимая аминокислота, содержится почти во всех белках.

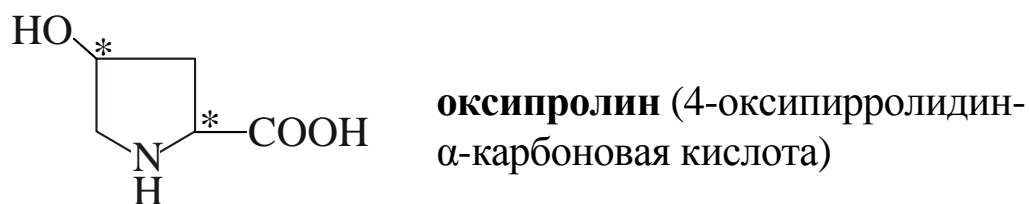
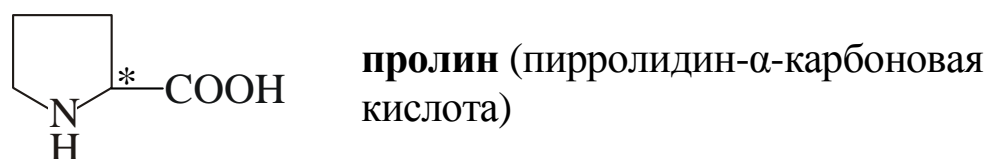


Тирозин – заменимая аминокислота, входит в состав как растительных, так и животных белков. Особенно много ее в инсулине крупного рогатого скота.

**Гетероциклические аминокислоты** содержат гетероциклический фрагмент.

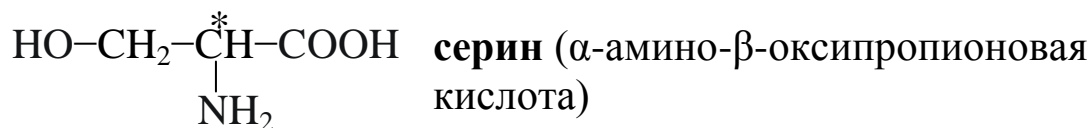


Триптофан – незаменимая аминокислота, содержится в основном в животных белках, например, в белках крови.

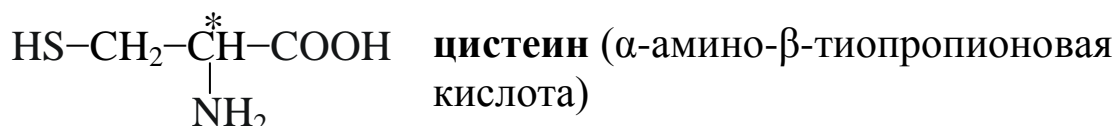


Пролин и оксипролин – заменимые аминокислоты, содержащиеся в белках крови.

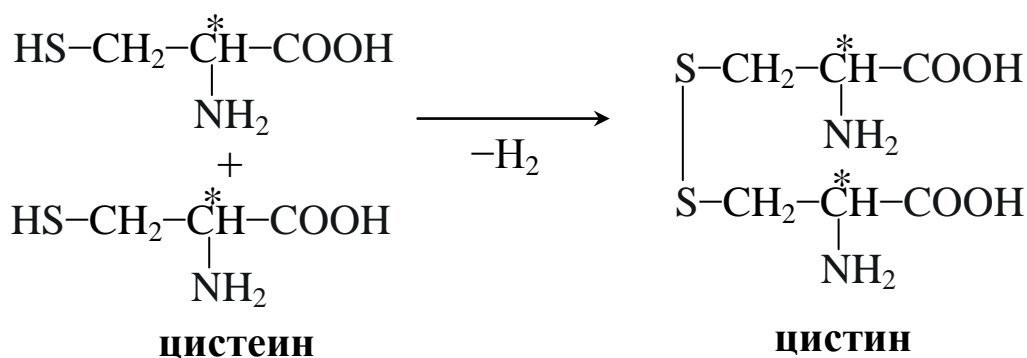
*Аминокислоты с другими функциональными группами* чаще всего содержат гидроксильную и меркапто-группу.



Серин – незаменимая аминокислота, важнейшая из оксикислот, содержится в белке шелка.



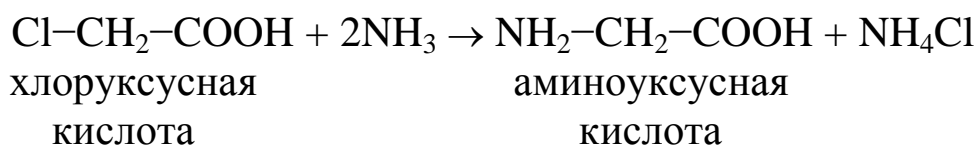
Цистеин – заменимая серосодержащая аминокислота, входит в состав покровных тканей (шерсти, волос, перьев, рогов, копыт). Две молекулы цистеина могут соединяться с образованием сульфидных мостиков в молекулу цистина:



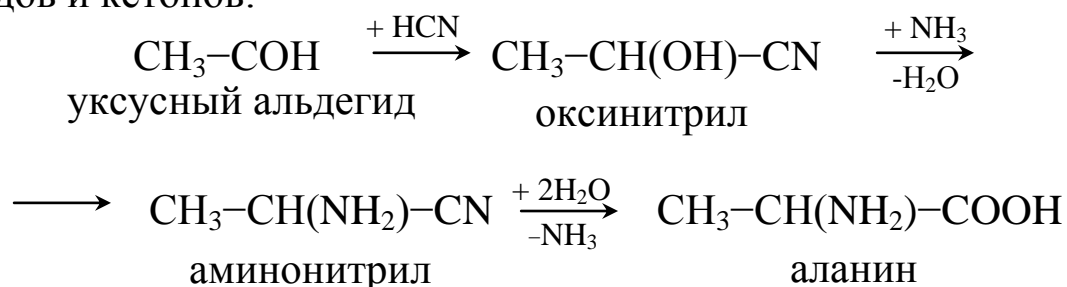
Цистин – заменимая аминокислота, содержится во многих белках, особенно много ее в кератинах. В обмене веществ она участвует вместе с цистеином, образуя окислительно-восстановительную систему и являясь восстановителем. Сульфидные мостики играют важную роль в образовании третичной структуры белка.

### *Способы получения*

1. Действие аммиака на галогеносоединения. Этот способ позволяет получить  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - и другие аминокислоты в зависимости от положения атома галогена в углеродной цепи исходной кислоты:



2. Циангидринный синтез получения α-аминокислот из альдегидов и кетонов:



3. Гидролиз белков при повышенной температуре под действием соляной и серной кислот с последующим разделением аминокислот с помощью хроматографических и других методов.

4. Микробиологический синтез проводится с использованием растительного сырья (крахмала, мелассы, патоки) и особенно важен для производства незаменимых аминокислот, которые добавляются в корма животным. Микробиальную массу получают также из гидролизата кератиносодержащего сырья (рогов, копыт, пера).

### *Физические свойства*

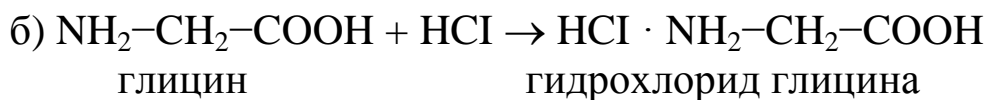
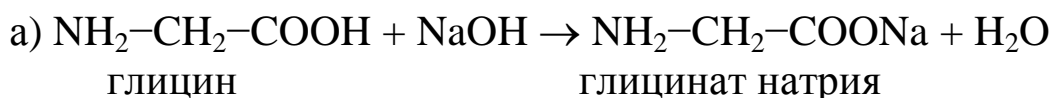
α-Аминокислоты – кристаллические вещества, растворимые в воде, растворы оптически активны. Причем L-изомеры сладкие или безвкусные, входят в состав белков, D-изомеры горькие, организмом не усваиваются.

Поскольку аминокислоты содержат основную (амино-) и кислотную (карбоксильную) группы, они способны мигрировать к аноду или к катоду под действием электрического тока в зависимости от рН среды. Значение рН, при котором аминокислоты становятся нейтральными, т.е. число положительно и отрицательно заряженных групп, одинаково, называется **изоэлектрической точкой** (J) и является важной физико-химической характеристикой данной аминокислоты. Так, для аланина J=6,0; для лизина J=9,7; для аспарагиновой кислоты J=2,8.

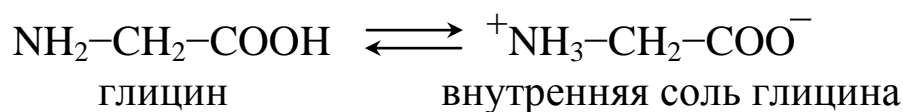
### *Химические свойства*

Аминокислоты проявляют свойства, характерные для аминов и карбоновых кислот. Наиболее важными являются те реакции, которые происходят в живом организме.

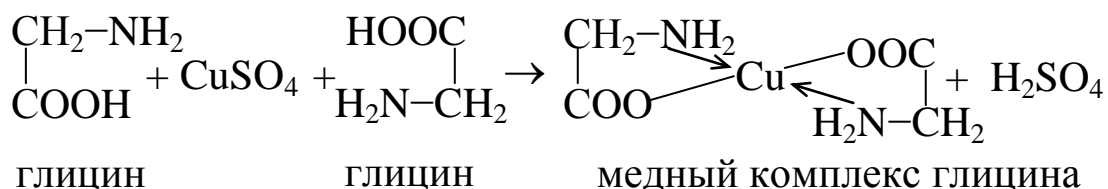
1. **Амфотерность аминокислот** – способность давать соли как с кислотами (по аминогруппе), так и с основаниями (по карбоксильной группе):



в) образование внутренних солей (биполярных ионов):

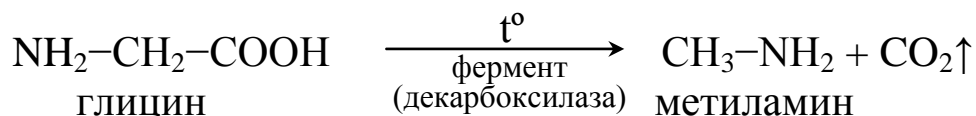


2. **Комплексообразование** с тяжелыми металлами.



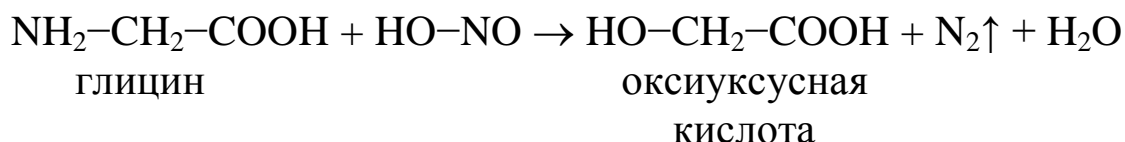
Комплексные соли с медью имеют интенсивный синий цвет. Комплексы аминокислот достаточно устойчивы, могут образовываться и в белковых молекулах, что приводит к необратимым изменениям в структуре и свойствах белков и обуславливает негативное действие тяжелых металлов на живые организмы.

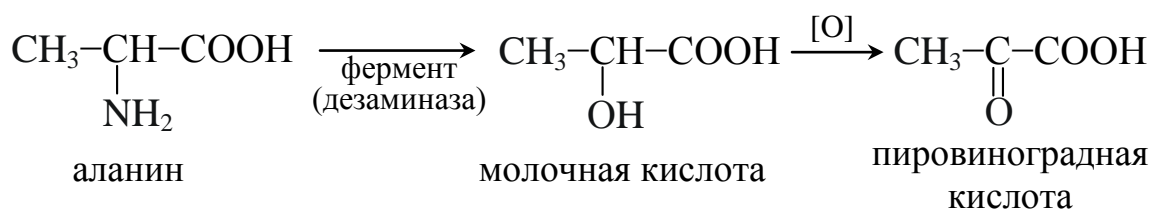
3. **Реакция декарбоксилирования** (отщепление молекулы CO<sub>2</sub>) происходит под действием температуры или ферментов.



Эта реакция сопровождается разложением белков с выделением неприятного запаха аминов.

4. **Реакция дезаминирования** (разрушение аминогруппы) может протекать при действии азотистой кислоты с образованием оксикислот, а также при участии ферментов с последующим окислением:

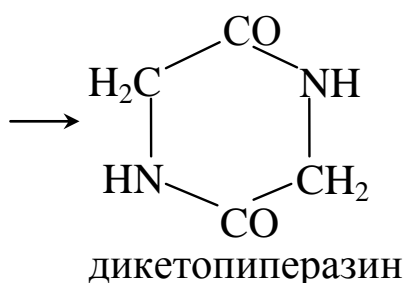
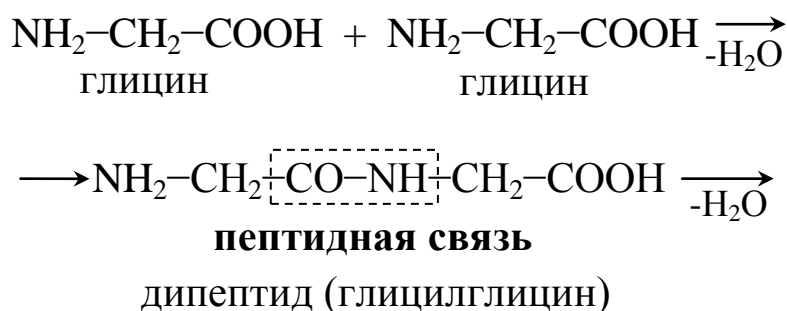




Окислительное дезаминирование связывает азотистый и углеводный обмен в организме.

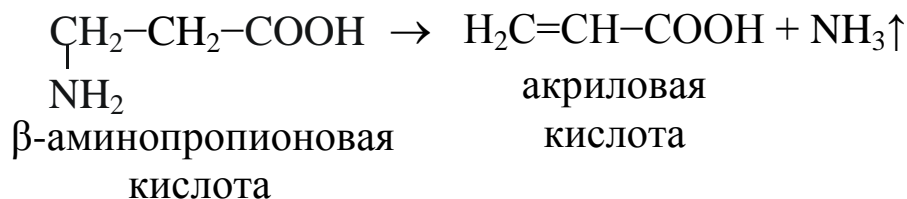
5. **Отношение аминокислот к нагреванию** происходит по-разному в зависимости от положения аминогруппы в углеродной цепи:

а) при нагревании ***α-аминокислот*** образуются либо линейные структуры с пептидными связями, либо производные дикетопиперазина:



Реакция лежит в основе синтеза белка.

б) ***β-аминокислоты*** под действием температуры превращаются в непредельные кислоты:



в) ***γ-, δ-аминокислоты*** при нагревании легко отщепляют молекулы воды и циклизируются с образованием циклических амидов – лактамов:





Ферменты – биологические катализаторы, при участии которых осуществляются самые разнообразные процессы в организмах, также являются белковыми веществами.

Огромное значение белки имеют и для жизнедеятельности растительных организмов, хотя их содержание меньше. В растениях, наряду с углеводами, осуществляется синтез белков из простых неорганических молекул  $\text{CO}_2$  из воздуха, минеральных азотистых веществ из почвы.

Наиболее богаты белками бобовые и масличные культуры. Аминокислотный состав белков различных растений неоднороден. Например, семена кукурузы содержат больше аланина, лейцина, глутаминовой кислоты, почти нет лизина и триптофана. В зернах пшеницы и ржи глутаминовая кислота и амиды составляют 50% всего содержания аминокислот. В белках клубней картофеля много лизина, а в белках листьев ячменя – мало цистина.

В организм животных и человека белки поступают с растительной и животной пищей. В процессе пищеварения под действием ферментов они расщепляются до  $\alpha$ -аминокислот, которые усваиваются, и в тканях с участием ферментов вновь образуются белки, присущие только данному организму.

### ***Состав и гидролиз***

Важнейшими элементами, входящими в состав белков, являются С; Н; О; N; S; P; Fe; Cu и др. В состав белков входят 20 аминокислот и 2 амида (аспарагин и глутамин). Число молекул аминокислот в белках достигает миллионов единиц.

Гидролиз белков идет под действием ферментов (пептидаз) по схеме:

Белок  $\longrightarrow$  Пептоны  $\longrightarrow$  Полипептиды  $\longrightarrow$  Дипептиды  $\longrightarrow$   
 $\longrightarrow$   $\alpha$ -Аминокислоты

### ***Классификация***

#### *1. По качеству:*

- полноценные (содержат все аминокислоты);
- неполноценные белки.

## 2. По составу:

- простые – протеины, состоящие только из  $\alpha$ -аминокислот;
- сложные – протеиды, построенные из  $\alpha$ -аминокислот и небелковой части (простетической группы).

## 3. По форме молекул белки подразделяются на:

- фибриллярные (волоконистые) белки, молекулы которых имеют нитевидную форму. Например, белки сухожилий, волос, шерсти;
- глобулярные (клубкообразные) белки, молекулы которых имеют округлую форму (белки куриного яйца).

**Протеины** (простые белки) различаются по растворимости. Например:

Альбумины растворимы в воде, свертываются при нагревании, нейтральны, высаливаются насыщенным раствором сульфата аммония. К ним относятся альбумин белка куриного яйца, альбумин кровяной сыворотки, альбумин мышечной ткани, а также молочный альбумин, который содержится в молоке наряду с казеином, а также в пенке на кипяченом молоке.

Глобулины нерастворимы в воде, но растворяются в разбавленных растворах солей. Эти белки проявляют очень слабые кислотные свойства. Они наиболее распространены в природе. Например, глобулин кровяной сыворотки, глобулин мышечной ткани, глобулин белка куриного яйца. К глобулинам также относятся и многие растительные белки.

Гистоны, белки основного характера, входят в состав нуклеопротеидов лейкоцитов и красных кровяных шариков.

Протамины не содержат серы, являются сравнительно сильными основаниями, образуют соли, содержатся в сперматозоидах рыб, считаются простейшими из белковых веществ.

Проламины растворимы в спирте, содержатся в зернах различных хлебных злаков. Так, белок этой группы «глиадин» входит в состав клейковины пшеницы.

Склеропротеины – нерастворимые белки. К ним относятся кератин – серосодержащий белок кожи, рогов, копыт, перьев; эластин – нитевидный белок сухожилий, связок.

**Протеиды** различают по небелковой части их молекул (по простетической группе):

Фосфопротеиды содержат остатки фосфорной кислоты (козеин молока), необходимы молодому организму.

Хромопротеиды представляют собой сочетания простых белков и красящих веществ пигментов, определяющих цвет крови, кожи, волос, глаз. Так, гемоглобин крови состоит из простого белка глобина и красящего вещества гемма, который содержит катион железа (II) и обуславливает алый цвет крови. Гемоглобин играет важную роль в жизнедеятельности человека и животных. Он отвечает в организме за перенос кислорода от легких к тканям и регулирует рН крови. Кроме того, гемоглобин, соединяясь с оксидом углерода (II), теряет способность соединяться с кислородом, что объясняет отравляющее действие угарного газа (СО).

Гликопротеиды. При гидролизе гликопротеиды распадаются на протеины и углеводы (олиго- и полисахариды), они содержатся в слизистых выделениях животных организмов, образуются в слюнных железах, в печени, железах желудка и кишечника, а также содержатся в хрящах, яичном белке и т. д.

Липопротеиды представляют собой сочетание простых белков с жирами и сложными липидами (фосфатидами), содержатся в протоплазме клеток, в хлорофилле.

Нуклеопротеиды содержат нуклеиновые кислоты (ДНК, РНК), входят в состав ядер растительных и животных клеток, являются самыми сложными органическими соединениями.

### *Строение*

Вопрос о строении белковых молекул является одной из наиболее трудных и важных проблем современной науки.

Изучение продуктов гидролиза белков показывает, что белки построены из остатков  $\alpha$ -аминокислот, подобно тому как полисахариды образованы молекулами моносахаридов.

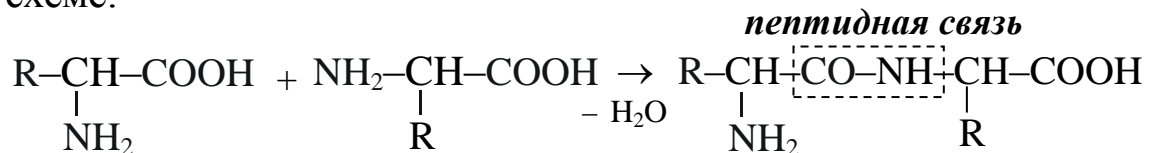
Виды связей в молекуле белка:

1. Пептидная связь образуется за счет карбоксила одной молекулы аминокислоты и аминогруппы другой (поликонденсация типа «голова – хвост»).

Предположение об амидных связях было высказано в 1891г выдающимся русским биохимиком А.Я. Данилевским.

Низкомолекулярные соединения, в которых аминокислоты соединяются друг с другом пептидными связями, называются **пептидами** (или полипептидами):

Образование пептидной связи происходит по следующей схеме:



Пептиды образуются при неполном гидролизе белков. Пептидная теория строения белка получила свое развитие в работах Э. Фишера и Ф. Гофмейстера.

По числу аминокислот, соединяющихся в полипептиды, различают дипептиды, трипептиды, тетрапептиды и т.д.

Названия полипептидов состоят из названий аминокислот, реагирующих карбоксильными группами с окончанием «ил», и из полного названия последней аминокислоты, которая реагирует своей аминогруппой и сохраняет свободную карбоксильную группу. Например: глицилаланиллизин.

Большое многообразие и специфичность белков обусловлена различной последовательностью аминокислот в полипептидной цепи. Так, из глицина и аланина образуется два дипептида (глицилаланин и аланилглицин). Из 20 аминокислот можно составить  $2,3 \cdot 10^{18}$  различных полипептидов.

2. Дисульфидная связь возникает между принадлежащими различным цепям остатками цистеина (подобно цистину).

3. Водородная связь образуется за счет атома водорода между атомами азота и кислорода пептидных групп.

Кроме того, молекулы сложных белков содержат остатки углеводов, гетероциклов, минеральных кислот.

Таким образом, белки – это сложные системы, основой которых являются полипептидные цепи, имеющие разную форму и включающие разные функциональные группы и образования.

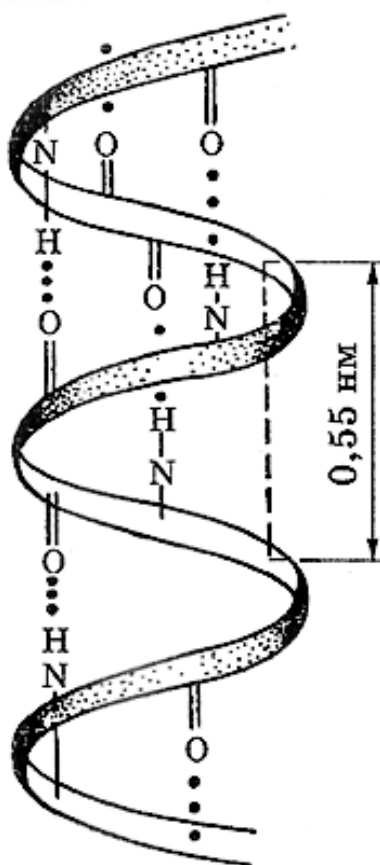
Строение белков устанавливается с помощью физико-химических методов исследования. Так, хроматографически определяется аминокислотный состав белков и последовательность их соединения между собой; рентгеноструктурный анализ позволяет установить пространственную структуру кристалли-

ческих белков; методом ЯМР исследуется поведение белков в растворах и процессах комплексообразования, которые происходят в живой клетке.

В настоящее время различают четыре структурных уровня в строении белковых молекул: первичная, вторичная, третичная и четвертичная структуры белков.

**Первичная структура** белка представляет собой линейную цепь с определенной последовательностью аминокислот в полипептидной цепи.

Исследования возможных способов расположения пептидных цепей, приводящих к устойчивым конформациям, позволило Л. Полингу в 1952г. сделать предположение о том, что наиболее выгодным расположением, которое осуществляется во многих белках, является  $\alpha$ -спираль (рис. 13).



*Рис. 13.  $\alpha$ -Спираль белковой молекулы*

В дальнейшем было доказано экспериментально, что пептидные цепи  $\alpha$ -спирали свернуты таким образом, что водородные

связи за счет амидных водородных атомов и карбонильных групп ( $>C=O \dots H-N<$ ) разделены тремя-четырьмя аминокислотными фрагментами. Расстояние между витками составляет около 0,55 нм и на один виток  $\alpha$ -спирали приходится около 3,6 остатка аминокислот.

Таким образом, **вторичная структура** белка определяется способом, которым скручена полипептидная цепь. Она может иметь спиралевидную или зигзагообразную форму.

Вторичную структуру  $\alpha$ -спирали имеют, например, миозин и  $\alpha$ -кератин волос. Она стабилизирована внутримолекулярными водородными связями.

Складчатая структура белка в виде зигзага, стабилизированная межмолекулярными водородными связями, характерна для фиброина шелка и коллагена. Так, коллаген представляет собой жгут из трех полипептидных цепей, скрепленных межмолекулярными водородными связями. Некоторые белки ( $\beta$ -кератин) образуют вторичную структуру в виде «сложенного листа».

**Третичная структура** обусловлена строго определенным пространственным расположением спиралевидной цепи в природном белке, которое контролируется взаимодействием боковых функциональных групп. Эти взаимодействия осуществляются за счет образования водородных и ковалентных связей, а также электростатических сил притяжения. Особую роль в формировании третичной структуры белка имеют дисульфидные связи, образующиеся между двумя остатками цистеина, которые могут разрушаться и восстанавливаться снова.

Белки третичной структуры могут иметь форму «клубка» и их называют «клубкообразные» или «глобулярные», например, альбумины. Белки сухожилий, связок имеют форму «пучка» и относятся к «нитевидным» или фибрилярным белкам.

Любые изменения в третичной структуре влияют на биологическую активность белка.

**Четвертичная структура** характерна для белков, состоящих из нескольких полипептидных цепей, и представляет собой объединение нескольких третичных структур, связанных между собой различными связями, как слабыми водородными и ионными связями, так и прочными ковалентными, дисульфидными, сложноэфирными и амидными.

Третичные и четвертичные структуры характерны для белков с высокой биологической активностью, например, для ферментов. Для установления третичной и четвертичной структуры белковых молекул используется рентгеноструктурный анализ и спектроскопические методы (ИК-, УФ-, ЯМР-).

Первый белок, структура которого, а именно последовательность аминокислот, была расшифрована – это инсулин. За эту работу Ф. Сенгер с сотрудниками получил Нобелевскую премию в 1958г. Общая формула инсулина  $C_{254}H_{377}N_{65}O_{75}S_6$ .

### *Физические свойства*

Белки – высокомолекулярные соединения с молекулярной массой  $10^4$ – $10^7$ . Белки могут быть в виде волокон, порошков или кристаллов, растворимых и нерастворимых. Растворы белков оптически активны и отклоняют плоскость поляризации влево.

### *Химические свойства*

Белки подобно аминокислотам амфотерны и образуют соли как с кислотами, так и с основаниями, т.к. содержат свободные amino- и карбоксильные группы.

В кислой среде белки являются катионами, в щелочной – анионами. При определенном рН число анионов и катионов белковых молекул становится одинаковым, и они становятся нейтральными, такое значение рН называется **изоэлектрической точкой (J)**. Эти значения определены для каждого белка. Так, для альбумина  $J=4,8$ , для глиадина  $J=5,8$ .

Осаждение белков (высаливание) происходит под действием концентрированных растворов некоторых минеральных солей, например, сульфата аммония. При этом белки не изменяют своих свойств и при разбавлении вновь переходят в раствор.

Денатурация белков – необратимое свертывание белков со значительными изменениями структуры. Происходит при нагревании, при облучении и под действием солей тяжелых металлов, образующих устойчивые комплексы с белковыми молекулами.

Кроме того, белки за счет боковых функциональных групп способны к реакциям окисления, восстановления, фосфорилирования, дезаминирования и т.д.

**Цветные качественные реакции** на белок бывают общие и специфические. К общим реакциям относятся:

1) *биуретовая реакция* на пептидную связь — появление фиолетового окрашивания при обработке солями меди в щелочной среде (ее дают все белки);

2) *ксантопротеиновая реакция* — появление при действии концентрированной азотной кислоты желтого окрашивания, переходящего при действии аммиака в оранжевое, указывающее на присутствие ароматических аминокислот (ее дают не все белки);

3) *нингидринная реакция* — появление синего окрашивания при кипячении с водным раствором нингидрина на аминокислоты (для всех белков) и для отдельных аминокислот (с аспарагином — оранжевое окрашивание, с пролином и оксипролином — желтое).

**Специфические реакции** позволяют установить присутствие в белках определенной аминокислоты. Например:

1) *реакция Миллона на тирозин* происходит при кипячении раствора белка с раствором нитрата ртути в смеси азотной и азотистой кислот, что приводит к выпадению красно-коричневого осадка;

2) *реакция на триптофан* происходит при действии концентрированных серной и уксусной кислот на раствор белка, при этом появляется сине-фиолетовое окрашивание;

3) *реакция на серусодержащие аминокислоты* — при кипячении раствора белка с 30% раствором КОН и добавлении раствора ацетата свинца появляется коричнево-черное окрашивание.

В живом организме белки выполняют разнообразные **биологические функции**. Некоторые из них проявляют свойства гормонов, регулирующих различные процессы обмена веществ (например, инсулин поддерживает уровень сахара в крови); другие белковые вещества (ферменты) являются катализаторами биохимических процессов. Ряд белков служит биологическим строительным материалом (например, коллаген соединительных тканей и кератин волос). Гемоглобин млекопитающих отвечает в организме за перенос кислорода. Кроме того, некоторые белки крови образуют антитела, обуславливающие сопротивляемость организма к заболеваниям. Нуклеопротеиды включают нуклеиновые кислоты, составные части которых (гены) содержат наслед-



ственную информацию и передают ее в процессе деления клеток. Вирусы также состоят из нуклеопротеидов.

Важную роль играют белки в питании человека. Суточная норма потребления белка для человека составляет 100-150г. Особенно важно поступление в организм полноценных белков. Содержание белков в пищевых продуктах различно: в мясе животных содержится до 20% белков, в рыбе – до 18%, в молоке – до 3%, в сыре – до 22,5%, в пшеничном хлебе – до 8%, в крупах – около 10%. Несмотря на большое разнообразие природных источников белков в мире наблюдается значительный дефицит пищевого белка и половина населения нашей планеты голодает.

Существуют разные пути решения этой проблемы. С одной стороны, применяют традиционные методы повышения выхода продуктов переработки сельскохозяйственного сырья. С другой стороны, используют улучшенные и более эффективные технологии производства пищевых белковых продуктов и повышения их качества.

Кроме того, в последние годы получили развитие такие направления, как использование кормовых дрожжей, способствующих значительному увеличению содержания и улучшению качества белка в биомассе, и переработка белков различного происхождения в **искусственные пищевые продукты**, а также получение белковых веществ с использованием биотехнологического синтеза.

При этом стоит задача улучшения качества и внешних показателей искусственных пищевых продуктов (запаха, цвета и вкуса). Для этой цели широко используются различные пищевые отдушки, красители и усилители вкуса.

Важно и то, что полноценная по аминокислотному составу белковая пища (искусственная или натуральная) должна обязательно содержать незаменимые аминокислоты, которые не синтезируются в организме, а поступают с растительными и животными белковыми продуктами. Недостаток или отсутствие этих аминокислот приводит к нарушениям в различных органах на клеточном уровне, может вызвать различные заболевания и даже гибель как животных, так и человека.

## Вопросы для самоконтроля

1. Какие органические вещества относят к аминам? Приведите примеры.
2. Запишите схему образования амида кислоты. Какой амид применяется в сельском хозяйстве?
3. Приведите примеры аминокислот. Какое биологическое значение они имеют в природе?
4. В чем заключается амфотерность аминокислот?
5. Допишите схемы следующих реакций:
  - а)  $\text{CH}_3\text{-NH}_2 + \text{HOH} \rightarrow$
  - б)  $\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH} + \text{HCl} \rightarrow$
  - в)  $\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH} + \text{NaOH} \rightarrow$
  - г)  $\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2 + \text{HOH} \rightarrow$
6. Дайте определение, что такое белки.
7. Опишите классификацию белков.
8. Какие типы связей содержатся в молекулах белков?
9. Приведите формулы заменимых и незаменимых аминокислот.
10. Составьте схему образования дипептида аланилглицина, выделите пептидную связь.
11. Какие белки относятся к простым и сложным?
12. Какие белки являются полноценными?
13. Опишите строение белков.
14. Перечислите цветные качественные реакции на белки.
15. Какие биологические функции выполняют белки в живых организмах?

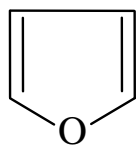
## ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

**Гетероциклические соединения** – это органические вещества, содержащие циклы, образованные не только атомами углерода, но и другими атомами (гетероатомами).

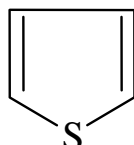
### *Классификация*

Гетероциклы различают по величине цикла и по гетероатому. Наиболее важное значение имеют циклы, содержащие атомы азота, кислорода и серы.

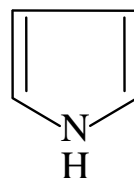
### Пятичленные гетероциклы



фуран



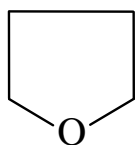
тиофен



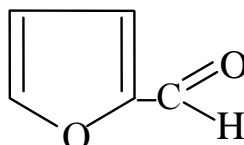
пиррол

Фуран – бесцветная жидкость, не растворимая в воде. В природе распространены производные фурана (фуранозные формы сахаров). Фуран проявляет ароматические свойства, т.к. содержит в кольце секстет р-электронов.

При гидрировании фуран дает тетрагидрофуран, который применяют в качестве растворителя.



тетрагидрофуран



фурфурол

Из производных фурана наибольший интерес представляет фурфурол – альдегид фурана, который получают кислотным гидролизом продуктов, содержащих полисахариды-пептозаны, т.е. отходов древесины, отрубей, соломы, шелухи семян и т.п. Фурфурол применяют как растворитель и для получения пластмасс.

Тиофен – бесцветная жидкость, по запаху напоминающая бензол. Его производные содержатся в каменноугольной смоле. Применяется для получения пестицидов и лекарственных средств.

Пиррол входит в состав гемоглобина крови и хлорофилла – зеленого пигмента, содержащегося в листьях растений.

Гем крови и хлорофилл относятся к природным красящим веществам, в основе которых лежит ядро порфина, состоящее из четырех пирольных колец, соединенных метиновыми группами.

**Гемоглобин** – сложное белковое вещество группы хромопротеидов, состоящее из растворимого в воде простого белка «глобина» и красящего вещества «гема». Гем крови содержит ион железа ( $\text{Fe}^{2+}$ ), связанный с порфином в виде комплекса (рис. 14).

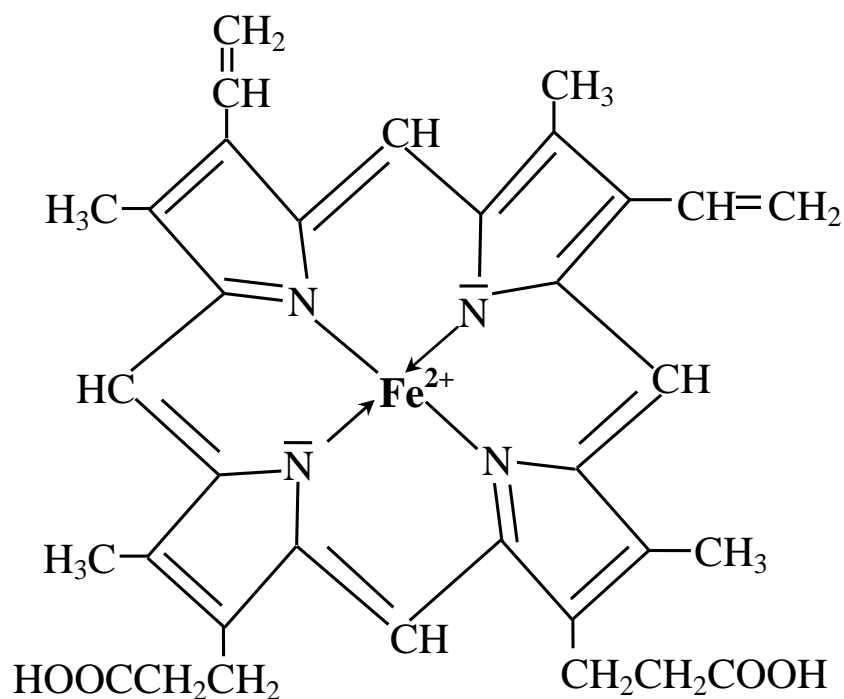


Рис. 14. Гем крови

В организме гемоглобин, соединяясь с кислородом, превращается в оксигемоглобин, который, отдавая кислород, вновь переходит в гемоглобин. На этом основан перенос кислорода в крови живого организма.

В хлорофилле порфин связан с магнием и содержит сложную спиртовую группировку фитола и метанола (рис. 15).

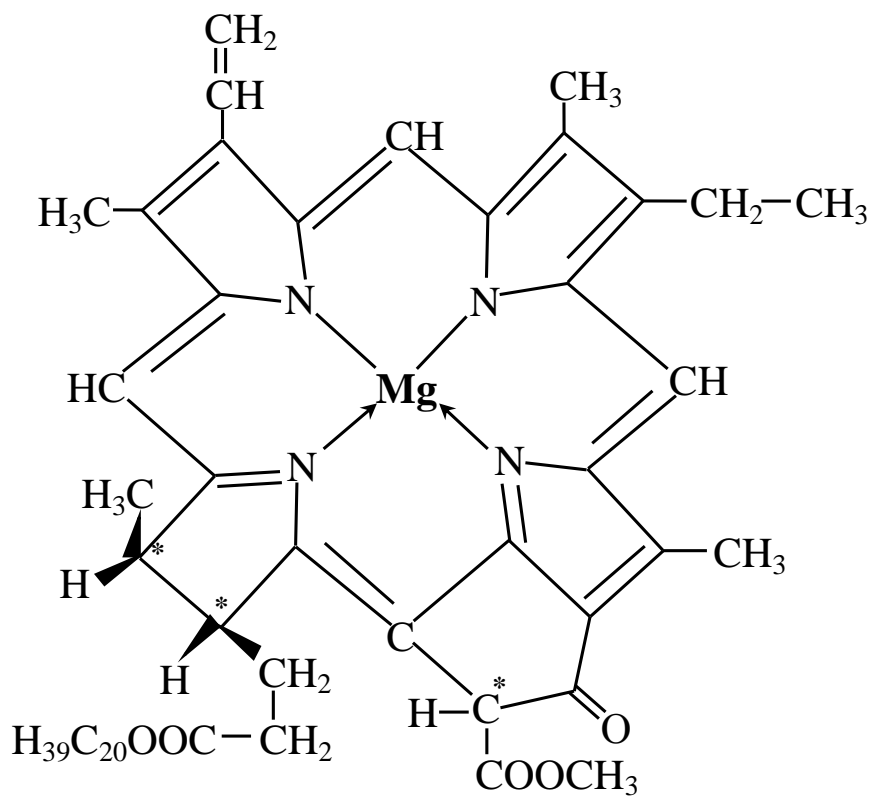
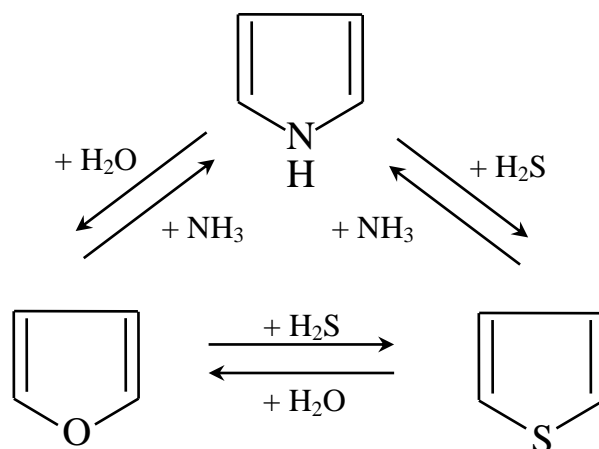
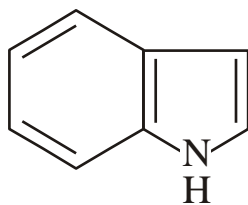


Рис. 15. Хлорофилл

Непредельные пятичленные гетероциклы при  $450^{\circ}\text{C}$  в присутствии катализатора под действием паров воды, аммиака, сероводорода могут превращаться друг в друга по схеме Ю.К. Юрьева:



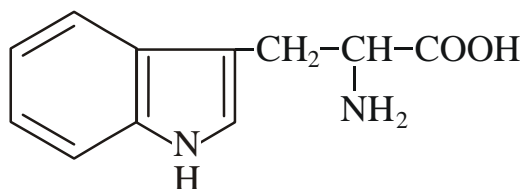
## Индол и его производные



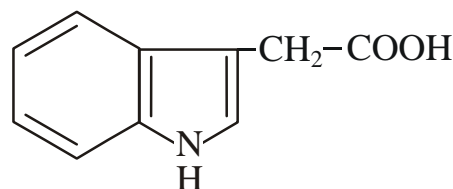
индол

В молекуле индола пиррольное кольцо связано с бензолом. Индол – кристаллическое вещество, входит в состав душистых веществ жасмина и белой акации, применяется в парфюмерии.

Одними из важных производных индола являются триптофан (незаменимая аминокислота) и стимулятор роста растений гетероауксин (индолилуксусная кислота).



триптофан

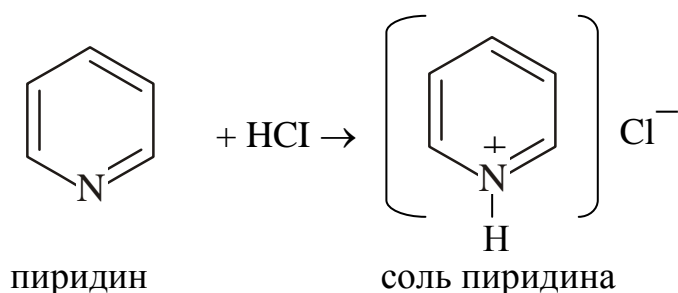


гетероауксин

## Шестичленные азотсодержащие гетероциклы

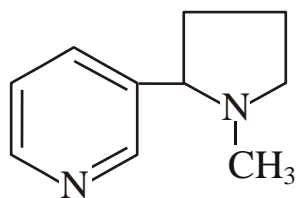
Пиридин – одно из наиболее важных шестичленных азотсодержащих гетероциклических соединений. Пиридин содержится в продуктах сухой перегонки животных костей. Пиридин – жидкость с неприятным запахом, хорошо растворимая в воде и органических растворителях, по строению аналогичен бензолу, в химических реакциях проявляет ароматический характер.

У атома азота сохраняется неподеленная пара электронов, поэтому пиридин является основанием и также как амины дает соли с кислотами:

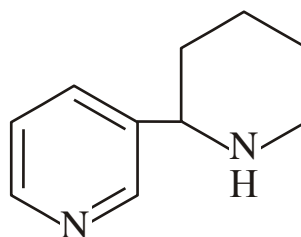




Наиболее богаты алкалоидами двудольные растения (мак, табак, люпин, махорка, белена). Важными алкалоидами являются никотин, анабазин, морфин.



никотин



анабазин

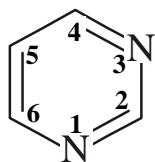
Никотин – основной алкалоид табака и махорки. Это жидкость, ядовитая, возбуждающая нервную систему, сужающая сосуды, применяется в медицине, а также в качестве инсектицида для борьбы с вредными насекомыми.

Анабазин – алкалоид азиатского ежовника, токсичен, применяется в медицине и ветеринарии для лечения лишая, а также в качестве инсектицида.

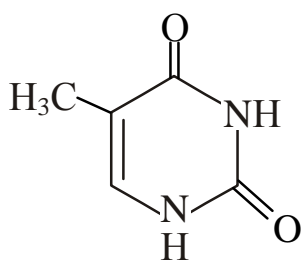
Морфин – основной алкалоид опия, который получают из незрелых семян мака, является эффективным анестетиком (обезболивающим средством), но вызывает наркоманию.

Хлоридрат диацетатного производного морфина носит название «героин» и является сильнодействующим наркотиком – галлюциногеном.

## Пиримидин и его производные

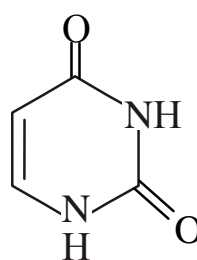


пиримидин



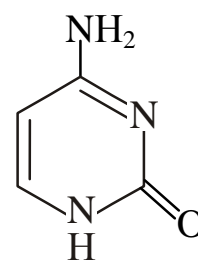
тимин

5-метил-2,4-диоксо-  
пиримидин



урацил

2,4-диоксо-  
пиримидин



цитозин

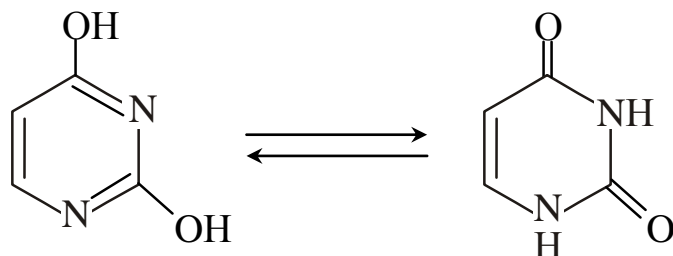
4-амино-2-оксо-  
пиримидин

Пиримидин содержит два атома азота в кольце, проявляет свойства, аналогичные пиридину, т.е. имеет ароматический характер.



Пиримидин входит в состав азотистых оснований нуклеиновых кислот, витамина В<sub>1</sub>, инсектицидов и лекарственных препаратов (барбитуратов).

**Пиримидиновые основания** являются окси- (или оксо-) и аминопроизводными пиримидина. Эти соединения обладают кето-енольной таутомерией. Например:

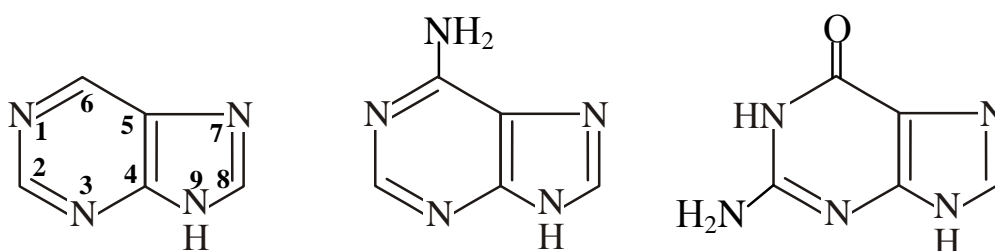


урацил (енольная форма)  
2,4-диоксипиримидин

урацил (кетонная форма)  
2,4-диоксопиримидин

Все три соединения высокоплавкие, с температурой плавления выше 300°C, растворимые в воде, содержат прочные водородные связи, играют важную физиологическую роль в организме животных и человека, в кетонной форме входят в состав нуклеиновых кислот (ДНК и РНК).

## Пурин и его производные



пурин

аденин

гуанин

6-аминопурин

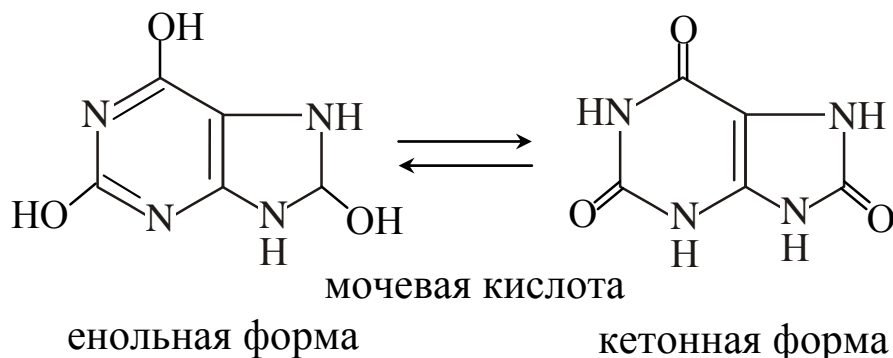
2-амино-6-оксопурин

Пурин – ароматический гетероцикл, образованный конденсированными ядрами пиримидина и имидазола. Пурин – основание средней силы, хорошо растворимое в воде. В природе распространены производные пурина (кофеин, ксантин, теобромин). Наибольшее значение имеют окси- и аминопроизводные пурина, называемые **пуриновыми основаниями**.

Аденин и гуанин – бесцветные кристаллические вещества, высокоплавкие, плохо растворимые в воде, но хорошо раство-

римые в щелочах; широко распространены в природе, т.к. являются составной частью нуклеиновых кислот. Гуанин, кроме того, входит в состав экскрементов птиц, а также содержится во многих растениях. Аденин входит в состав коферментов.

Мочевая кислота (2,6,8-триоксипурин) – кристаллическое вещество, разлагается при нагревании, обладает слабыми кислотными свойствами, с основаниями дает соли, плохо растворимые в воде, существует в виде двух таутомерных форм:

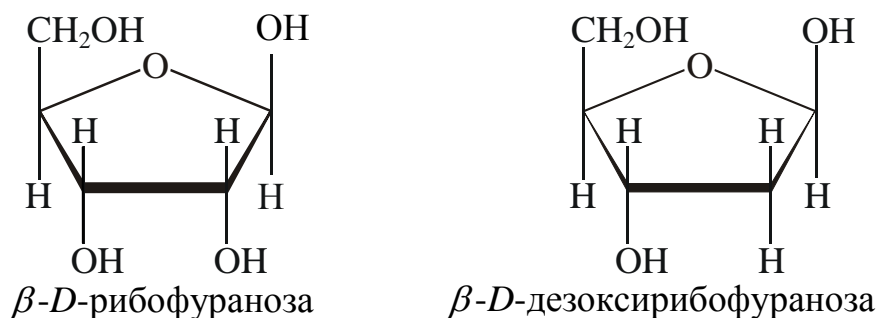


Мочевая кислота – продукт обмена пуринов в живых организмах и выводится из организма с мочой. Мочевая кислота может накапливаться в организме в виде солей, вызывая тяжелые последствия, применяется в технике для получения кофеина.

## Нуклеиновые кислоты

**Нуклеиновые кислоты** – это сложные высокомолекулярные соединения, содержащиеся в ядрах живых клеток, где они связаны с белками в нуклеопротеиды (сложные белки).

В основе молекул нуклеиновых кислот лежат длинные цепи пентоз (*β-D-рибозы* и *β-D-2-дезоксирибозы*) в фуранозной форме, соединенных с помощью эфирных связей с молекулами фосфорной кислоты.



Кроме того, в состав нуклеиновых кислот входят гетероциклы: пуриновые основания (аденин и гуанин) и пиримидиновые основания (урацил, тимин, цитозин), соединенные с молекулами пентоз.

Такова первичная структура нуклеиновых кислот:

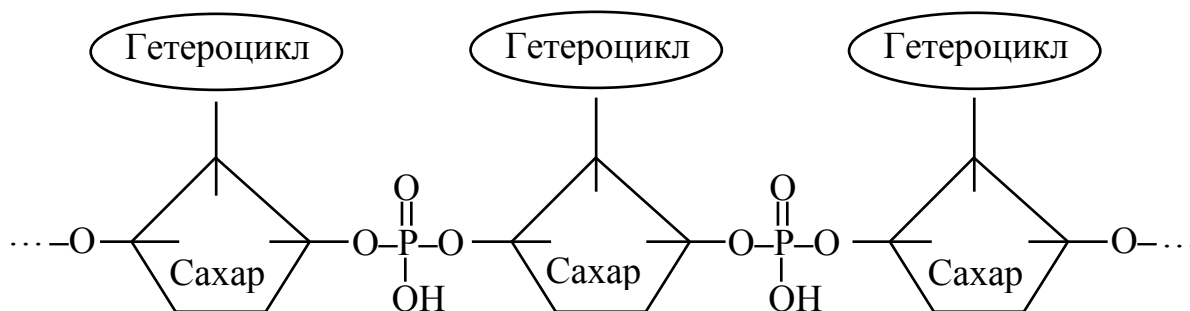


Схема гидролиза нуклеиновых кислот:



Таким образом, нуклеозиды – это соединения азотистых оснований и пентоз, а нуклеотиды состоят из азотистых оснований, пентоз и фосфорной кислоты.

Нуклеиновые кислоты делятся на два больших класса:

1. **Дезоксирибонуклеиновые кислоты (ДНК)** при полном гидролизе дают дезоксирибозу, фосфорную кислоту и азотистые гетероциклические основания (аденин, гуанин, цитозин, тимин).

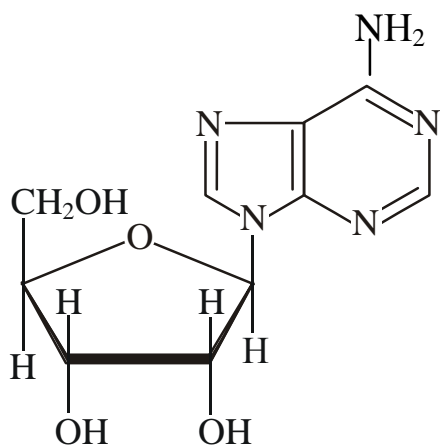
2. **Рибонуклеиновые кислоты (РНК)** гидролизуются с образованием рибозы, фосфорной кислоты и азотистых гетероциклических оснований (аденина, гуанина, цитозина, урацила).

Следовательно, ДНК отличаются от РНК тем, что в состав их молекул входит другая пентоза (дезоксирибоза вместо рибозы) и другое пиримидиновое основание (тимин вместо урацила).

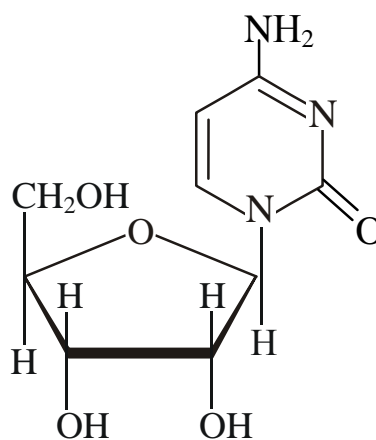
## Нуклеозиды

**Нуклеозиды** – это продукты неполного гидролиза нуклеиновых кислот, в которых рибоза или дезоксирибоза соединены за счет гликозидного гидроксила с первым атомом азота пиридинового кольца и с третьим атомом азота пуринового кольца. Азотистые основания в нуклеозидах чаще находятся в кетонной форме, а рибоза и дезоксирибоза – в  $\beta$ -D-фуранозной форме.

Из РНК выделено четыре нуклеозида: цитидин, аденозин, гуанозин, уридин. Например:

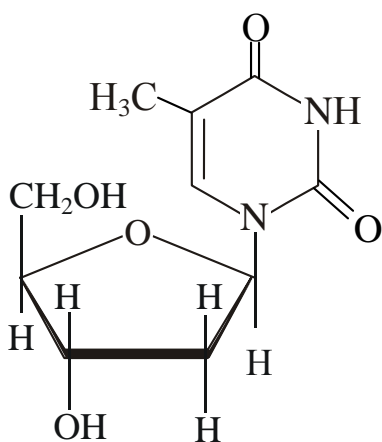


рибоаденозин

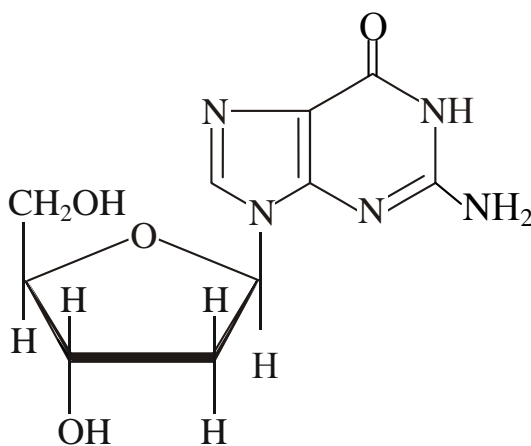


рибоцитидин

Аналогично из ДНК выделяются дезоксирибонуклеозиды, содержащие остаток 2-дезоксирибозы, аденин, гуанин, цитозин, но вместо урацила тимин. Например:



дезоксириботимидин

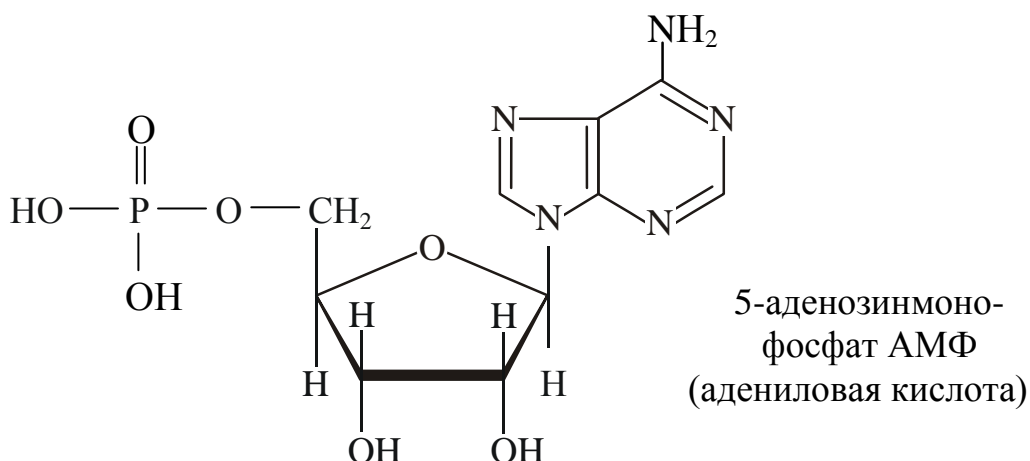


дезоксирибогуанозин

## Нуклеотиды

Гидролиз нуклеиновых кислот в более мягких условиях приводит к образованию нуклеотидов.

**Нуклеотиды** – это соединения, образованные нуклеозидами и молекулами фосфорной кислоты за счет эфирных связей по третьему или пятому атому углерода в молекуле пентоз. Например:



Аденозиндифосфат (АДФ) и аденозинтрифосфат (АТФ) содержат 2 и 3 остатка фосфорной кислоты соответственно, связанных эфирной связью с углеродом пентозы. АДФ и АТФ являются аккумуляторами энергии и поставляют ее для обмена веществ в живой клетке. АТФ – главный донор энергии процессов биосинтеза в животных и растительных организмах.

### *ДНК и их биологическая роль*

Под **первичной структурой нуклеиновых кислот** подразумевают последовательность расположения нуклеотидов в полинуклеотидной цепи ДНК. Первичная структура молекул ДНК представляет собой линейную цепь.

Нуклеотиды связываются между собой при помощи фосфодиэфирных связей, которые образуются между ОН-группой в положении 5 дезоксирибозы одного нуклеотида и ОН-группой в положении 3 пентозы другого. Молекулярная масса цепей ДНК составляет от 200000 до 20000000 ед. (рис. 16).

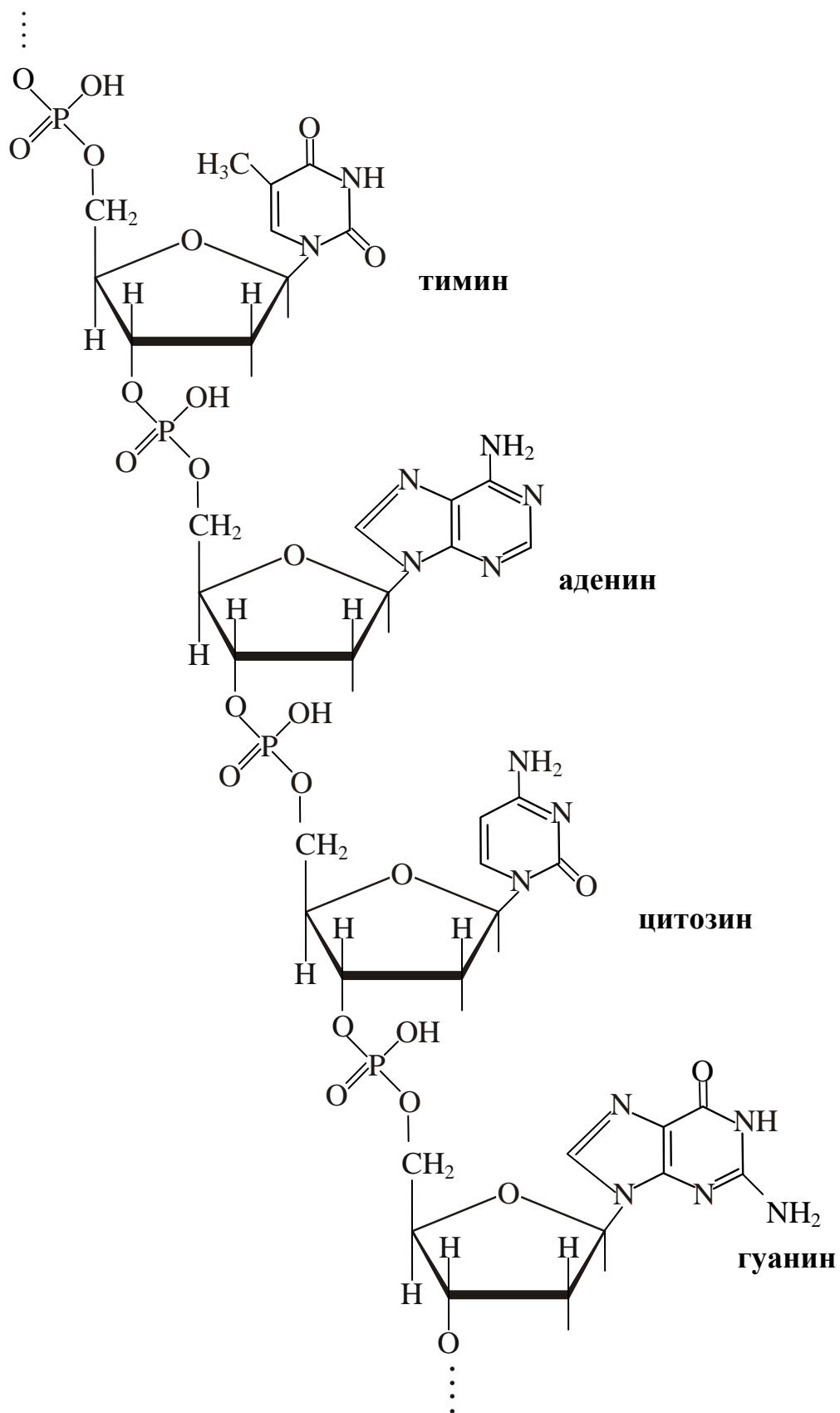
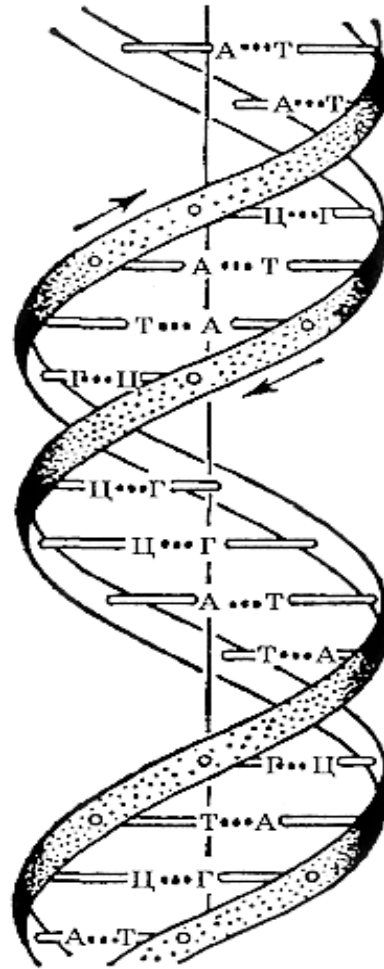


Рис. 16. Структурная единица молекулы ДНК

**Вторичная структура ДНК** – это  $\alpha$ -спираль, состоящая из двух полинуклеотидных цепей, закрученных одна вокруг другой и вокруг общей оси (рис.17). Эти цепи связаны водородными связями. Водородные связи образуются между азотистыми основаниями: аденин – тимин и гуанин – цитозин. Цепи могут раскручиваться и распадаться на две цепи.



*Рис. 17. Схематическое изображение двойной спирали ДНК*

ДНК находятся в хромосомах клеточного ядра и содержат всю информации о наследственности, которая заключена в генах. **Гены** – это участки ДНК с определенной последовательностью азотистых оснований. Каждый организм имеет характерную для него структуру ДНК, которая сохраняется при делении клеток.

## ***РНК и их биологическая роль***

Молекула РНК имеет первичную структуру, т.е. построена в виде одной нити.

Место синтеза РНК в клетке – ядро, откуда РНК мигрируют в цитоплазму.

В клетке существует три вида РНК:

1. Информационные РНК (и-РНК) несут информацию, какой именно белок должен синтезироваться в определенной клетке.

2. Транспортные РНК (т-РНК) осуществляют перенос в рибосомы конкретной аминокислоты, необходимой для синтеза белка (их 20 по числу аминокислот, содержащихся в белках).

3. Рибосомальные РНК (р-РНК) осуществляют в рибосомах образование пептидных связей, т.е. синтез белка.

Таким образом, РНК отвечают в живом организме за синтез белка. В развивающейся клетке происходит процесс «считывания» информации с молекулы ДНК с последующим воспроизведением.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какие органические соединения называются гетероциклическими? Приведите примеры.

2. Опишите классификацию гетероциклов.

3. Приведите формулы пятичленных гетероциклов.

4. Какой пятичленный цикл входит в состав гемоглобина крови и хлорофилла?

5. Запишите формулы производных индола. Какое из них применяется в сельском хозяйстве?

6. Приведите примеры алкалоидов.

7. Опишите состав нуклеиновых кислот.

8. Запишите схему гидролиза нуклеиновых кислот.

9. Чем отличаются нуклеотиды от нуклеозидов?

10. Опишите биологическую роль ДНК и РНК.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грандберг И.И. Органическая химия: учебник / И.И. Грандберг, Н.Л. Нам . – М.: Юрайт, 2013 . – 608с.
2. Степаненко Б.И. Органическая химия / Б.И. Степаненко. – М.: Высшая школа, 1987 – 415с.
3. Петров А.А. Органическая химия / А.А. Петров, Х.В. Бальян, А.Т. Трошенко. – СПб.: Иван Федоров, 2003. – 624с.
4. Артеменко А.И. Органическая химия / А.И. Артеменко. – М.: Высшая школа, 2001.– 536с.
5. Баркан Я.Т. Органическая химия / Я.Т. Баркан. – М.: Высшая школа, 1973. – 552с.
6. Нечаев А.П. Пищевая химия / А.П. Нечаев, Е.Е. Траубенберг. – М.: ГИОРД, 2006. – 640с.
7. Добровольский В.В. Основы биохимии / В.В. Добровольский. – М.: Высшая школа, 1989. – 413с.
8. Эткинс П. Молекулы / П. Эткинс; перевод с англ./ – М.: Мир, 1991. – 216с.

## ТЕСТЫ

1. Для этена не характерны реакции:

Ответы:

- а) присоединения;
- б) окисления;
- в) замещения;
- г) полимеризации.

2. Этанол образует алкоголяты с:

Ответы:

- а) Na;
- б) NaOH;
- в) CaO;
- г) Cu(OH)<sub>2</sub>.

3. В реакцию “серебряного зеркала” вступает:

Ответы:

- а) уксусная кислота;
- б) метаналь;
- в) бутанол-1;
- г) пропанон.

4. Явление оптической изомерии обусловлено наличием:

Ответы:

- а) двойной связи;
- б) ароматического кольца;
- в) асимметрического атома углерода;
- г) функциональной группы.

5. Моносахариды – это:

Ответы:

- а) многоатомные альдегидо- или кетоспирты;
- б) сложные эфиры глицерина и высших карбоновых кислот;
- в) соли щелочных металлов высших карбоновых кислот;
- г) природные ВМС, состоящие из остатков α-аминокислот, связанных пептидной связью.

6. Слабым основанием является:

Ответы:

- а) бензол;

- б) метиламин;
- в) пропанол;
- г) этаналь.

7. Пятичленный гетероцикл с кислородом – это:

Ответы:

- а) пиррол;
- б) фуран;
- в) тиофен;
- г) пиримидин.

8. Атом углерода в молекуле ацетилен находится в состоянии:

Ответы:

- а)  $sp^3$  - гибридизации;
- б)  $sp^2$  - гибридизации;
- в)  $sp$  - гибридизации;
- г) не гибридизируется.

9. Более выраженными кислотными свойствами обладает:

Ответы:

- а) этанол;
- б) этиленгликоль;
- в) фенол;
- г) тринитротолуол.

10. При окислении альдегида образуется:

Ответы:

- а) первичный спирт;
- б) вторичный спирт;
- в) сложный эфир;
- г) карбоновая кислота.

11. Невосстанавливающим дисахаридом является:

Ответы:

- а) мальтоза;
- б) целлобиоза;
- в) сахароза;
- г) лактоза.

12. К незаменимым аминокислотам относится:

Ответы:

- а) глицин;

- б) аланин;
- в) триптофан;
- г) серин.

13. В состав никотина входят:

Ответы:

- а) пиридин и пиррол;
- б) гидрированный пиррол и пиридин;
- в) гидрированный пиридин и пиррол;
- г) только пиррол.

14. Бензол образует бромбензол при взаимодействии с:

Ответы:

- а) бромной водой;
- б)  $HBr$ ;
- в)  $PBr_3$ ;
- г)  $Br_2$  в присутствии  $AlBr_3$ .

15. В реакцию этерификации вступает:

Ответы:

- а) пропаналь и синильная кислота;
- б) бензол и бром;
- в) этанол и уксусная кислота;
- г) бутанон и гидроксиламин.

16. С натрием не реагирует:

Ответы:

- а) пропановая кислота;
- б) пропаналь;
- в) фенол;
- г) пропанол-2.

17. Асимметрический атом углерода содержит:

Ответы:

- а) пропановая кислота;
- б) 2-аминобутановая кислота;
- в) 2-гидроксипропановая кислота;
- г) пропен-2-овая кислота.

18. Из остатков  $\beta$ ,D-глюкопиранозы состоит:

Ответы:

- а) крахмал;

- б) целлюлоза;
- в) гликоген;
- г) инулин.

19. Нейтральной аминокислотой является:

Ответы:

- а) аланин;
- б) лизин;
- в) гистидин;
- г) аспарагиновая кислота.

20. К алкалоидам относится:

Ответы:

- а) никотин;
- б) фенол;
- в) пенициллин;
- г) формалин.

21. Пропан не взаимодействует с:

Ответы:

- а)  $\text{Cl}_2$  (на свету);
- б)  $\text{HNO}_3$ ;
- в)  $\text{Br}_2$ ;
- г)  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

22. Альдегид образуется при окислении:

Ответы:

- а) метанола;
- б) пропанола-2;
- в) пентанола-3;
- г) 2-метилбутанола-2.

23. Для альдегидов характерны реакции:

Ответы:

- а) присоединения;
- б) замещения;
- в) окисления;
- г) полимеризации;
- д) поликонденсации;
- е) характерны все перечисленные типы химических реакций.

24. Внутренний ангидрид образует:

Ответы:

- а) бензойная кислота;
- б) пропионовая кислота;
- в) фумаровая кислота;
- г) малеиновая кислота.

25. В реакцию “серебряного зеркала” не вступает:

Ответы:

- а) глюкоза;
- б) фруктоза;
- в) рибоза;
- г) галактоза.

26. Раствор глутаминовой кислоты имеет рН:

Ответы:

- а) 3; б) 7; в) 8; г) 10.

27. Триптофан является производным:

Ответы:

- а) фурана;
- б) пиррола;
- в) пиридина;
- г) индола.

28. В молекуле бутадиена-1,3 атомы углерода находятся в состоянии:

Ответы:

- а)  $sp^3$  - гибридизации;
- б)  $sp^2$  - гибридизации;
- в)  $sp$  - гибридизации;
- г) не гибридизируются.

29. При окислении образует фталевую кислоту:

Ответы:

- а) орто-ксилол;
- б) мета-ксилол;
- в) пара-ксилол;
- г) гидрохинон.

30. При взаимодействии альдегидов с HCN образуются:

Ответы:

- а) оксинитрилы;
- б) оксинитросоединения;
- в) оксиамиды;
- г) оксиамины.

31. С аммиачным раствором оксида серебра не взаимодействует:

Ответы:

- а) глюкоза;
- б) мальтоза;
- в) пропаналь;
- г) уксусная кислота.

32. Альдогексозы имеют ..... оптических изомеров.

Ответы:

- а) 2; б) 4; в) 8; г) 16.

33. Качественной реакцией на белок не является:

Ответы:

- а) биуретовая реакция;
- б) ксантопротеиновая реакция;
- в) реакция “серебряного зеркала”;
- г) нингидринная реакция.

34. В качестве гетероатома в состав тиофена входит:

Ответы:

- а) Р; б) S; в) N; г) O.

35. Бензол не взаимодействует с:

Ответы:

- а) бромом (в присутствии  $AlCl_3$ );
- б) раствором  $KMnO_4$ ;
- в) нитрующей смесью при нагревании;
- г) хлорметаном (в присутствии  $AlCl_3$ ).

36. При взаимодействии пропанола-2 с уксусной кислотой образуется:

Ответы:

- а) пропилацетат;
- б) пропилформиат;
- в) этилацетат;
- г) изопронилацетат.

37. При окислении пропанона образуется:

Ответы:

- а) пропановая кислота;
- б) пропаналь;
- в) метановая и этановая кислота;
- г) пропанол-2.

38. При окислении муравьиной кислоты образуется:

Ответы:

- а) углекислый газ и вода;
- б) этанол;
- в) уксусная кислота;
- г) пропанол-2.

39. Алкадиены содержат:

Ответы:

- а) только  $\sigma$ -связи;
- б)  $-\text{C}\equiv\text{C}-$  связь;
- в)  $>\text{C}=\text{C}<$  связь;
- г) две  $>\text{C}=\text{C}<$  связи.

40. При нитровании бензойной кислоты нитрогруппа вводится в:

Ответы:

- а) орто-положение;
- б) мета-положение;
- в) пара-положение;
- г) орто- и пара-положения.

41. Белки – это:

Ответы:

- а) многоатомные альдегидо- или кетоспирты;
- б) сложные эфиры глицерина и высших карбоновых кислот;
- в) соли щелочных металлов высших карбоновых кислот;
- г) природные ВМС, состоящие из остатков  $\alpha$ -аминокислот, связанных пептидной связью.

42. В состав ДНК не входит:

Ответы:

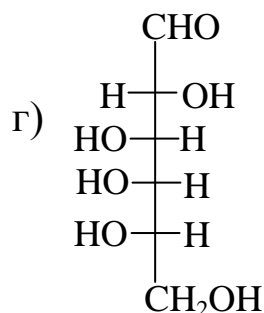
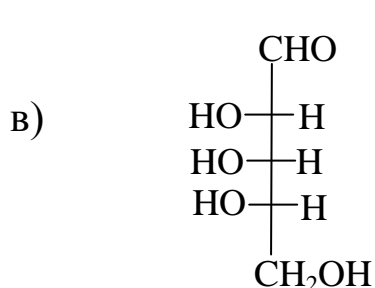
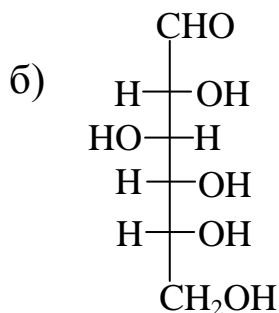
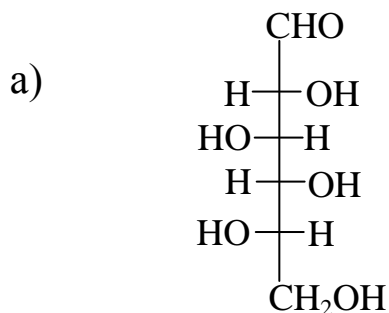
- а) аденин;
- б) тимин;
- в) цитозин;



г) урацил.

43. К D-генетическому ряду относится:

Ответы:



44. По правилу Марковникова присоединяет HCl:

Ответы:

а) бутан;

б) пропен;

в) пропен-2-аль;

г) пропан.

45. Сложный эфир образуется при протекании реакции:

Ответы:

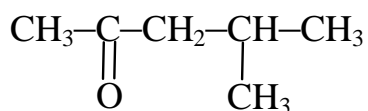
а) этерификации;

б) спиртового брожения;

в) гидрирования;

г) окисления.

46. По номенклатуре ИЮПАК данное соединение называется:



Ответы:

а) 2-метилпентанон-4;

б) 4-метилпентанон-2;

в) 2-метилпропанол-4;

г) 4-метилпентаналь.

47. Амиды кислот образуются при взаимодействии карбоновых кислот с:

Ответы:

- а)  $\text{Br}_2$ ;
- б)  $\text{HNO}_3$ ;
- в)  $\text{NH}_3$ ;
- г)  $\text{HCl}$ .

48. К альдопентозам относится:

Ответы:

- а) глюкоза;
- б) фруктоза;
- в) рибоза;
- г) галактоза.

49. К диаминомонокарбоновым аминокислотам относится:

Ответы:

- а) лизин;
- б) валин;
- в) глутаминовая кислота;
- г) аланин.

50. Пиримидиновым основанием является:

Ответы:

- а) пиррол;
- б) тимин;
- в) аденин;
- г) индол.

51. Способны полимеризоваться:

Ответы:

- а) этен и бутан;
- б) пропен и бутан;
- в) этен и бутадиен-1,3;
- г) бутин-1 и бензол.

52. С гидроксидом натрия не реагирует:

Ответы:

- а) пропановая кислота;
- б) хлорэтан;

- в) фенол;
- г) пентанол-2.

53. Качественная реакция на альдегиды – это реакция с:

Ответы:

- а) аммиачным раствором  $\text{Ag}_2\text{O}$ ;
- б)  $\text{NaOH}$ ;
- в)  $\text{Br}_2$ ;
- г)  $\text{PCl}_5$ .

54. Определите атомность винной кислоты:

Ответы:

- а) одноатомная;
- б) двухатомная;
- в) трехатомная;
- г) четырехатомная.

55. При гидролизе крахмалла образуется:

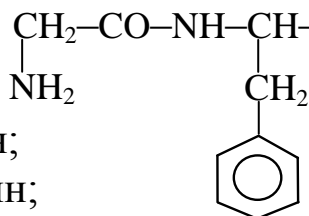
Ответы:

- а)  $\alpha$ -глюкоза;
- б)  $\beta$ -глюкоза;
- в)  $\alpha$ -галактоза;
- г)  $\beta$ -фруктоза.

56. Дипептид  $\text{CH}_2\text{—CO—NH—CH—COOH}$  называется:

Ответы:

- а) глицилаланин;
- б) аланилтирозин;
- в) глицилфенилаланин;
- г) валилтриптофан.



57. В состав пиридина входит:

Ответы:

- а) P;
- б) S;
- в) N;
- г) O.

58. У ксилола (диметилбензола) .... изомера.

Ответы:

- а) 2; б) 3; в) 4; г) нет изомеров.

59. Взрывчатое вещество образуется при нитровании:

Ответы:

- а) пропанола-1;
- б) пропантриола-1,2,3;
- в) пропандиола-1,2;
- г) пропандиола-1,1.

60. Пропанон не взаимодействует с:

Ответы:

- а)  $\text{HCN}$ ;
- б)  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$ ;
- в)  $\text{PCl}_5$ ;
- г)  $\text{NH}_2\text{—NH}_2$ .

61. При щелочном гидролизе трипальмитина образуется:

Ответы:

- а) вода и пальмитиновая кислота;
- б) пальмитиновая кислота и этиловый спирт;
- в) пальмитат натрия и глицерин;
- г) гидроксид натрия и уксусная кислота.

62. При гидролизе сахарозы образуются:

Ответы:

- а) рибоза и дезоксирибоза;
- б) глюкоза и фруктоза;
- в) глюкоза и лактоза;
- г) глюкоза и рибоза.

63. рН в растворе лизина равен:

Ответы:

- а) 3; б) 5; в) 7; г) 10.

64. При гидролизе нуклеотидов образуются:

Ответы:

- а) пентоза, фосфорная кислота и вода;
- б) пентоза, фосфорная кислота и гетероциклическое основание;
- в) фосфорная кислота, гетероциклическое основание и вода;
- г) пентоза, гетероциклическое основание и гидроксид натрия.

65. Пропен не взаимодействует с:

Ответы:

- а)  $\text{Cl}_2$ ;

- б) раствор  $\text{KMnO}_4$ ;
- в)  $\text{HNO}_3$ ;
- г)  $\text{HCl}$ .

66. Качественная реакция на многоатомные спирты – это реакция с:

Ответы:

- а) аммиачным раствором  $\text{Ag}_2\text{O}$ ;
- б)  $\text{NaOH}$ ;
- в)  $\text{Br}_2$ ;
- г)  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ .

67. Формалин – это 40 % водный раствор:

Ответы:

- а) метаналь;
- б) этаналь;
- в) пропаналь;
- г) пропанона.

68. Оксикислотой является:

Ответы:

- а) муравьиная;
- б) щавелевая;
- в) акриловая;
- г) молочная.

69. Для аминокислот не характерна реакция:

Ответы:

- а) декарбоксилирования;
- б) дезаминирования;
- в) поликонденсация;
- г) полимеризация.

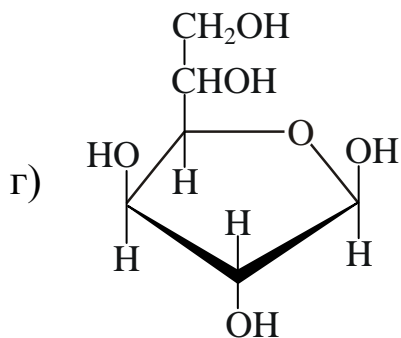
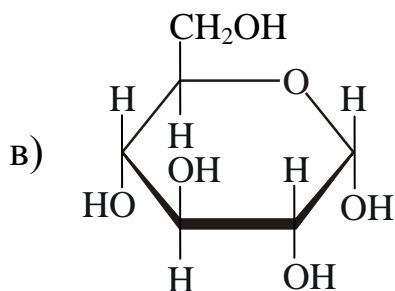
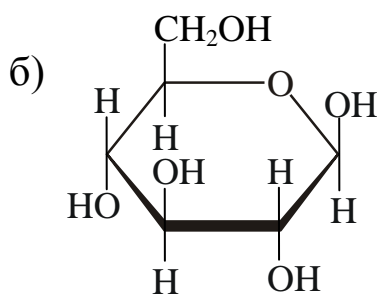
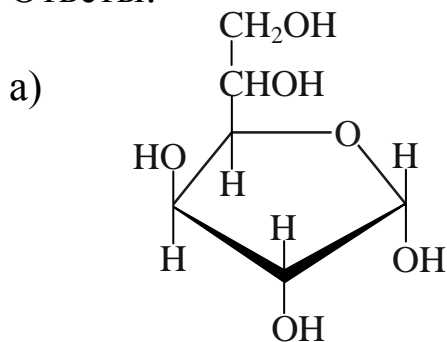
70. Способность вещества к реакциям присоединения обуславливает наличие:

Ответы:

- а) ионной связи;
- б) ковалентной  $\sigma$ -связи;
- в) водородной связи;
- г) ковалентной  $\pi$ -связи.

71.  $\alpha$ ,D-глюкопиранозе соответствует формула:

Ответы:



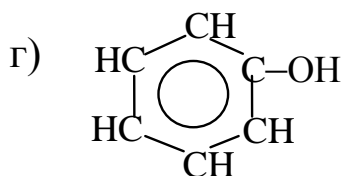
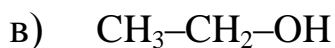
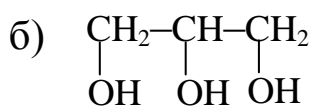
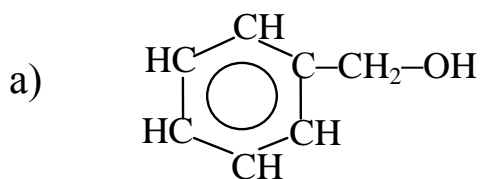
72. В состав РНК не входит:

Ответы:

- а) аденин;
- б) тимин;
- в) гуанин;
- г) урацил.

73. Бензиловому спирту соответствует формула:

Ответы:



74. В реакцию поликонденсации вступает:

Ответы:

- а) этан;
- б) этен;
- в) этанол;
- г) этаналь.

75. Непредельной двухосновной кислотой является:

Ответы:

- а) масляная;
- б) малоновая;
- в) метакриловая;
- г) малеиновая.

76. При окислении глюкозы аммиачным раствором оксида серебра образуется:

Ответы:

- а) глюконовая кислота;
- б) сахарная кислота;
- в) глюкуроновая кислота;
- г) уксусная и масляная кислота.

77. К моноаминодикарбоновым кислотам относится:

Ответы:

- а) аланин;
- б) триптофан;
- в) глутаминовая кислота;
- г) лизин.

78. К пуриновым основаниям относится:

Ответы:

- а) фуран;
- б) цитозин;
- в) гуанин;
- г) пиридин.

79. Ароматические соединения в обычных условиях вступают в реакции:

Ответы:

- а) присоединение;
- б) окисление;
- в) замещение;
- г) полимеризации.

80. Карболовая кислота – это водный раствор:

Ответы:

- а) этилового спирта;
- б) бензилового спирта;

- в) глицерина;
- г) фенола.

81. При гидрировании пропанона образуется:

Ответы:

- а) пропанол-1;
- б) пропанол-2;
- в) пропаналь;
- г) пропан.

82. Формула мочевины:

Ответы:

- а)  $\text{NH}_2\text{—CO—NH}_2$ ;
- б)  $\text{CH}_3\text{—CO—NH}_2$ ;
- в)  $\text{CH}_3\text{—CO—O—CO—CH}_3$ ;
- г)  $\text{CH}_3\text{—CO—O—C}_2\text{H}_5$ .

83. В молоке млекопитающих содержится:

Ответы:

- а) мальтоза;
- б) лактоза;
- в) целлобиоза;
- г) сахароза.

84. В поддержании вторичной структуры белков участвуют связи:

Ответы:

- а) ионные;
- б) ковалентные;
- в) водородные;
- г) координационные.

85. К антибиотикам относится:

Ответы:

- а) никотин;
- б) левомицетин;
- в) кокаин;
- г) хинин.

86. Укажите реагент, с которым не взаимодействуют алкены:

Ответы:

- а) натрий;



- б) водород;
- в) бромная вода;
- г) перманганат калия.

87. По номенклатуре ИЮПАК аллиловый спирт называется:

Ответы:

- а) пропен-1-ол-3;
- б) пропен-2-ол-1;
- в) пентен-2-ол-1;
- г) пропин-1-ол-3.

88. При окислении этилового спирта образуется:

Ответы:

- а) муравьиный альдегид;
- б) уксусный альдегид;
- в) пропионовый альдегид;
- г) ацетон.

89. Жиры – это:

Ответы:

- а) соли щелочных металлов высших карбоновых кислот;
- б) простые эфиры многоатомных спиртов;
- в) ВМС, состоящие из большого числа остатков глюкозы;
- г) смеси сложных эфиров глицерина и высших карбоновых кислот.

90. Для получения взрывчатых веществ, искусственного волокна, различных наполнителей в промышленности используется:

Ответы:

- а) крахмал;
- б) целлюлоза;
- в) гликоген;
- г) инулин.

91. Серусодержащей аминокислотой является:

Ответы:

- а) глицин;
- б) фенилаланин;
- в) цистин;
- г) пролин.

92. Ароматическим шестичленным гетероциклом является:

Ответы:

- а) пиррол;
- б) тиофен;
- в) пиридин;
- г) фуран.

93. Способность к реакциям замещения обуславливает наличие:

Ответы:

- а) ионной связи;
- б) ковалентной  $\sigma$ -связи;
- в) водородной связи;
- г) ковалентной  $\pi$ -связи.

94. При окислении пропанола-2 образуется:

Ответы:

- а) пропаналь;
- б) пропанон;
- в) пропановая кислота;
- г) пропан.

95. При гидрохлорировании пропен-2-оля образуется:

Ответы:

- а) 2-хлорпропаналь;
- б) 3-хлорпропаналь;
- в) пропаналь;
- г) пропин-2-аль.

96. Салициловая кислота содержит:

Ответы:

- а)  $-\text{OH}$  и  $-\text{NH}_2$ ;
- б)  $-\text{NH}_2$  и  $-\text{COOH}$ ;
- в)  $-\text{OH}$  и  $-\text{COOH}$ ;
- г)  $-\text{NO}_2$  и  $-\text{COOH}$ .

97. Пятичленные циклические формы моносахаридов называются:

Ответы:

- а) пиранозы;
- б) фуранозы;
- в) пирролозы;
- г) тиофенозы.

98. При гидрировании нитросоединений образуются:

Ответы:

- а) первичные амины;
- б) вторичные амины;
- в) третичные амины;
- г) четвертичные аммониевые основания.

99. Основу гемоглобина крови и хлорофилла составляет:

Ответы:

- а) фуран;
- б) тиофен;
- в) пиррол;
- г) пиридин.

100. Укажите реагент, с которым не взаимодействуют алканы:

Ответы:

- а)  $\text{HNO}_3$ ;
- б)  $\text{HBr}$ ;
- в)  $\text{Cl}_2$ ;
- г)  $\text{O}_2$ .

101. Качественная реакция на фенолы – это реакция с:

Ответы:

- а) аммиачным раствором  $\text{Ag}_2\text{O}$ ;
- б)  $\text{NaOH}$ ;
- в)  $\text{FeCl}_3$ ;
- г)  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ .

102. При нитровании бенzalдегида в ароматическое кольцо нитрогруппа вводится в:

Ответы:

- а) орто-положение;
- б) мета-положение;
- в) пара-положение;
- г) орто- и пара-положения.

103. Атомность лимонной кислоты равна:

Ответы:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

104. Основность щавелевой кислоты равна:

Ответы:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

105. В животных организмах содержится:

Ответы:

- а) крахмал;
- б) целлюлоза;
- в) гликоген;
- г) инулин.

106. Диметиламин является:

Ответы:

- а) первичным амином;
- б) вторичным амином;
- в) третичным амином;
- г) четвертичным аммониевым основанием.

107. В молекуле пиримидина содержится:

Ответы:

- а) 1 атом азота;
- б) 2 атома азота;
- в) 3 атома кислорода;
- г) 4 атома серы.

108. За передачу наследственной информации отвечает:

Ответы:

- а) РНК;
- б) АТФ;
- в) ДНК;
- г) ВМС.

109. При гидролизе сахарозы образуются:

Ответы:

- а) глюкоза и галактоза;
- б) глюкоза;
- в) рибоза и дезоксирибоза;
- г) глюкоза и фруктоза.

110. Триолеин относится к:

Ответы:

- а) растительным маслам;
- б) твердым жирам;
- в) растительным воскам;
- г) животным воскам.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1

### Названия важнейших радикалов

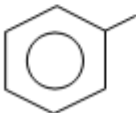
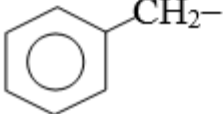
Радикал	Название
$\text{CH}_3-$	метил
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-$	этил
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	пропил
$\text{CH}_3-\underset{\text{ }}{\text{CH}}-\text{CH}_3$	изопропил
$\text{CH}_2=\text{CH}-$	винил
	фенил
	бензил

Таблица 2

## Номенклатура органических соединений

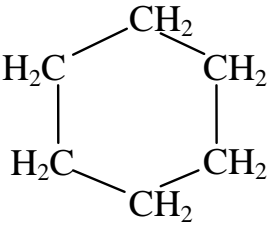
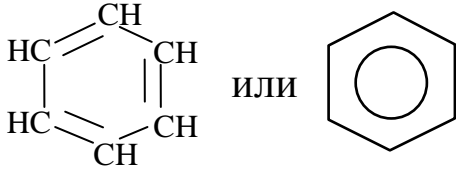
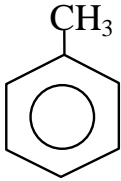
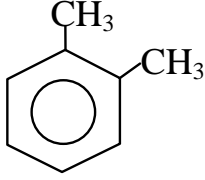
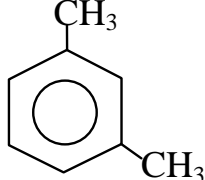
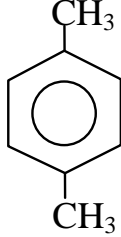
Класс	Общая формула	Название		Пример	
		приставка	суффикс, окончание		
Углеводороды	Алканы	$C_nH_{2n+2}$	-	-ан-	CH <sub>4</sub> метан, CH <sub>3</sub> -CH <sub>3</sub> этан
	Алкены	$C_nH_{2n}$	-	-ен-	CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub> этен
	Алкины	$C_nH_{2n-2}$	-	-ин-	CH≡CH этин
	Алкадиены	$C_nH_{2n-2}$	-	-диен-	CH <sub>2</sub> =CH-CH=CH <sub>2</sub> бутадиен-1,3
Галогенпроизводные (-F, -Cl, -Br, -I)	$R-Hal$	фтор-, хлор-, бром-, йод-	-	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> Cl хлорэтан	
Амины	$R-NH_2$	амино-	-амин	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -NH <sub>2</sub> этиламин (аминоэтан)	
Нитросоединения	$R-NO_2$	нитро-	-	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -NO <sub>2</sub> нитроэтан	
Спирты	$R-OH$	окси-	-ол-	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> OH этанол	
Альдегиды	$R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-H$	формил-	-аль	CH <sub>3</sub> - $\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-H$ этаналь	
Кетоны	$CH_3-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-CH_3$	-оксо-	-он-	CH <sub>3</sub> - $\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-CH_3$ пропанон	
Карбоновые кислоты	$R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-OH$	карбокси-	-овая к-та	CH <sub>3</sub> - $\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-OH$ этановая кислота	

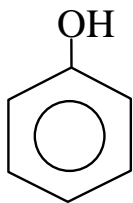
**Важнейшие органические соединения**

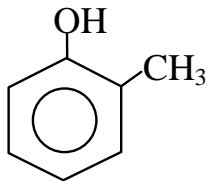
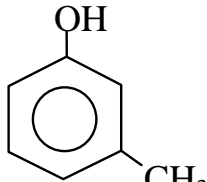
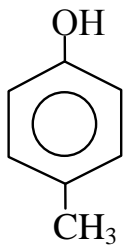
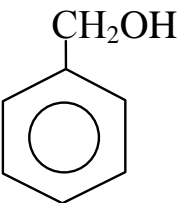
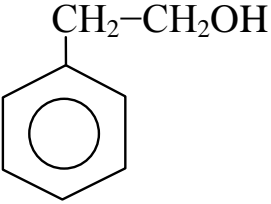
Формула	Название по номенклатуре ИЮПАК (тривиальное)
<b>УГЛЕВОДОРОДЫ</b>	
<i>а) предельные ациклические</i>	
<b><math>C_nH_{2n+2}</math></b>	<b>Алканы</b>
$CH_4$	метан
$CH_3-CH_3$	этан
$CH_3-CH_2-CH_3$	пропан
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$	бутан
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	пентан
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	гексан
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	гептан
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	октан
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	нонан
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	декан
<i>б) непредельные ациклические</i>	
<b><math>C_nH_{2n}</math></b>	<b>Алкены</b>
$CH_2=CH_2$	этен (этилен)
$CH_2=CH-CH_3$	пропен
$CH_2=CH-CH_2-CH_3$	бутен-1

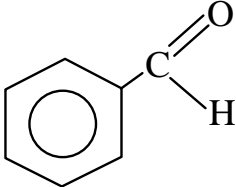
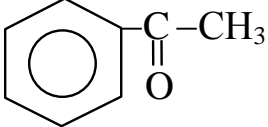
Формула	Название
$\text{CH}_3\text{-CH}=\text{CH-CH}_3$	бутен-2
$\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$	<b>Алкины</b>
$\text{CH}\equiv\text{CH}$	этин (ацетилен)
$\text{CH}\equiv\text{C-CH}_3$	пропин
$\text{CH}\equiv\text{C-CH}_2\text{-CH}_3$	бутин-1
$\text{CH}_3\text{-C}\equiv\text{C-CH}_3$	бутин-2
$\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$	<b>Алкадиены</b>
$\text{CH}_2=\text{CH-CH}=\text{CH}_2$	бутадиен-1,3 (дивинил)
$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	2-метилбутадиен-1,3 (изопрен)
<i>в) предельные циклические</i>	
$\text{C}_n\text{H}_{2n}$	<b>Циклоалканы</b>
$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ / \quad \backslash \\ \text{H}_2\text{C} \text{---} \text{CH}_2 \end{array}$	циклопропан
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C} \text{---} \text{CH}_2 \\   \quad \quad   \\ \text{H}_2\text{C} \text{---} \text{CH}_2 \end{array}$	циклобутан
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C} \text{---} \text{CH}_2 \\   \quad \quad   \\ \text{H}_2\text{C} \quad \quad \text{CH}_2 \\ \quad \quad \backslash \quad / \\ \quad \quad \text{CH}_2 \end{array}$	циклопентан

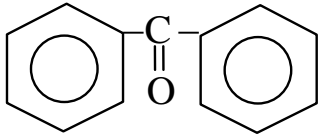


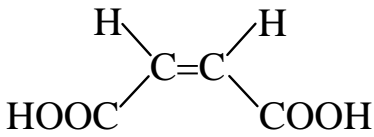
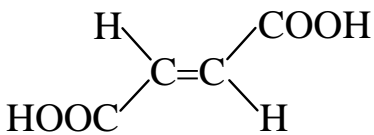
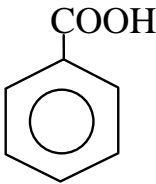
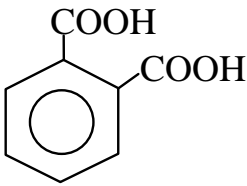
Формула	Название
	циклогексан
<i>г) ароматические</i>	
$C_nH_{2n-6}$	Арены
	бензол
	толуол (метилбензол)
	1,2-диметилбензол (орто-ксилол)
	1,3-диметилбензол (мета-ксилол)
	1,4-диметилбензол (пара-ксилол)

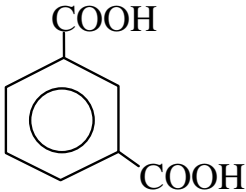
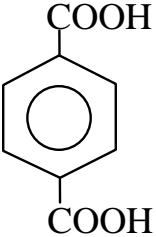
Формула	Название
<b>СПИРТЫ И ФЕНОЛЫ</b>	
<i>а) предельные одноатомные</i>	
$\text{CH}_3\text{-OH}$	метанол (метиловый)
$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$	этанол (этиловый), винный спирт
$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$	пропанол-1 (пропиловый)
$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{-CH-CH}_3 \\   \\ \text{OH} \end{array}$	пропанол-2 (изопропиловый)
$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$	бутанол-1 (бутиловый)
<i>б) непредельные одноатомные</i>	
$\text{CH}_2=\text{CH-OH}$	этенол (виниловый спирт)
$\text{CH}_2=\text{CH-CH}_2\text{-OH}$	пропен-2-ол-1 (аллиловый)
<i>в) предельные многоатомные</i>	
$\begin{array}{cc} \text{CH}_2\text{-CH}_2 \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$	этандиол-1,2 (этиленгликоль)
$\begin{array}{ccc} \text{CH}_2\text{-CH-CH}_2 \\   \quad   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$	пропантриол-1,2,3 (глицерин)
<i>г) фенолы</i>	
	фенол (оксибензол)

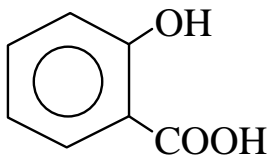
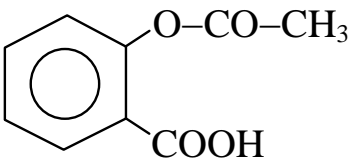
Формула	Название
	2-метил-1-оксибензол (орто-крезол)
	3-метил-1-оксибензол (мета-крезол)
	4-метил-1-оксибензол (пара-крезол)
<b><i>д) ароматические спирты</i></b>	
	фенилметанол (бензиловый)
	2-фенилэтанол (фенилэтиловый)

Формула	Название
<b>АЛЬДЕГИДЫ И КЕТОНЫ</b>	
<i>а) предельные</i>	
$\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{H}-\text{C} \\ \backslash \\ \text{H} \end{array}$	метаналь (муравьиный альдегид)
$\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{CH}_3-\text{C} \\ \backslash \\ \text{H} \end{array}$	этаналь (уксусный альдегид)
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_3 \\    \\ \text{O} \end{array}$	пропанон (диметилкетон, ацетон)
<i>б) непредельные</i>	
$\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{CH}_2=\text{CH}-\text{C} \\ \backslash \\ \text{H} \end{array}$	пропеналь (акролеин)
$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}-\text{CH}_3 \\    \\ \text{O} \end{array}$	бутенон (метилвинилкетон)
<i>в) ароматические</i>	
	бензолкарбальдегид (бензойный альдегид, бензальдегид)
	метилфенилкетон (ацетофенон)

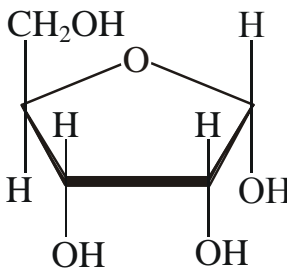
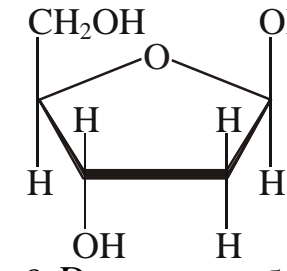
Формула	Название
	дифенилкетон (бензофенон)
<b>КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ</b>	
<i>а) предельные одноосновные</i>	
$\text{H}-\text{COOH}$	метановая (муравьиная)
$\text{CH}_3-\text{COOH}$	этановая (уксусная)
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{COOH}$	пропановая (пропионовая)
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$	бутановая (масляная)
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$	пентановая (валериановая)
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$	гексановая (капроновая)
$\text{C}_{15}\text{H}_{31}-\text{COOH}$	гексадекановая (пальмитиновая)
$\text{C}_{17}\text{H}_{35}-\text{COOH}$	октадекановая (стеариновая)
<i>б) непредельные одноосновные</i>	
$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOH}$	пропеновая (акриловая)
$\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH}$	кротоновая (бутен-2-овая)
$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{OH} \end{array}$	метакриловая (2-метилпропеновая)
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$ ( $\text{C}_{17}\text{H}_{33}-\text{COOH}$ )	октадецен-9-овая (олеиновая)

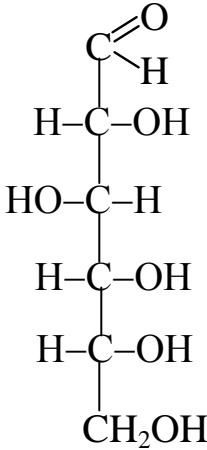
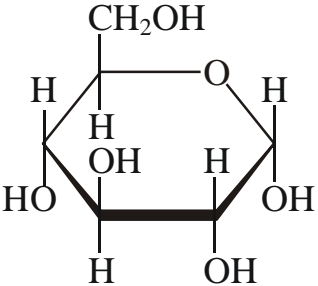
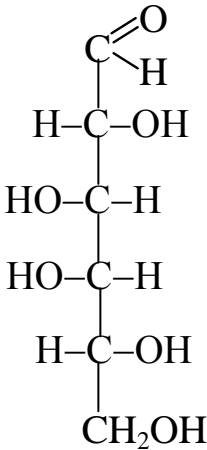
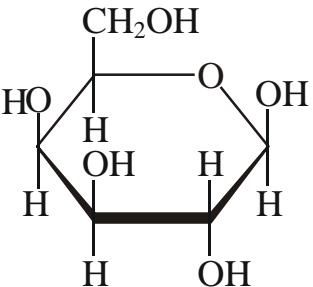
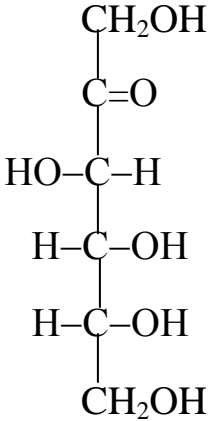
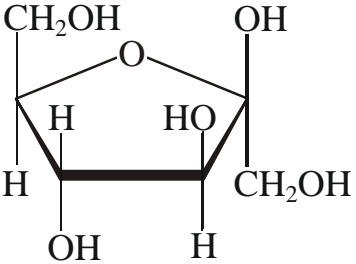
Формула	Название
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$ $(\text{C}_{17}\text{H}_{31}-\text{COOH})$	октадекадиен-9,12-овая (линолевая)
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH})_3-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$ $(\text{C}_{17}\text{H}_{29}-\text{COOH})$	октадекатриен-9,12,15-овая (линоленовая)
<b>в) предельные двухосновные</b>	
$\text{HOOC}-\text{COOH}$	этандиовая (щавелевая)
$\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{COOH}$	пропандиовая (малоновая)
$\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$	бутандиовая (янтарная)
<b>г) непредельные двухосновные</b>	
	цис-бутен-2-диовая (малеиновая)
	транс-бутен-2-диовая (фумаровая)
<b>д) ароматические</b>	
	бензолкарбоновая (бензойная)
	бензол- дикарбоновая-1,2 (фталевая)

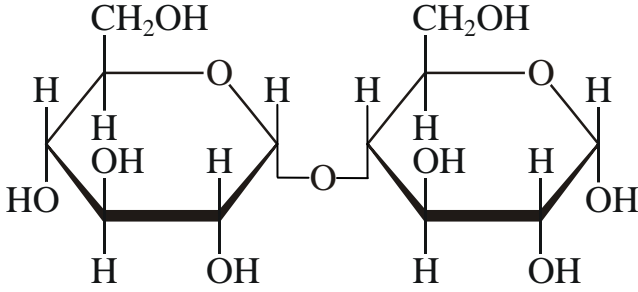
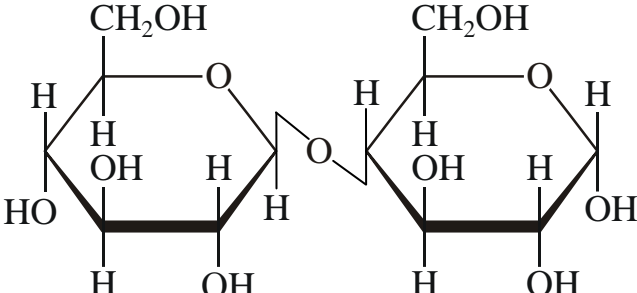
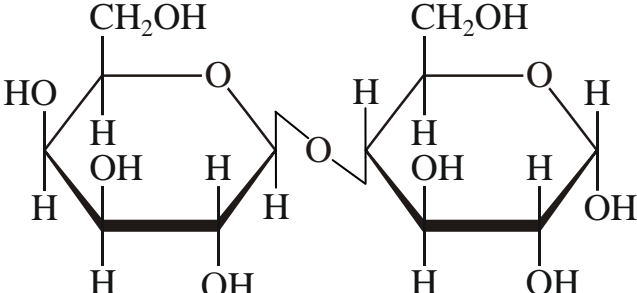
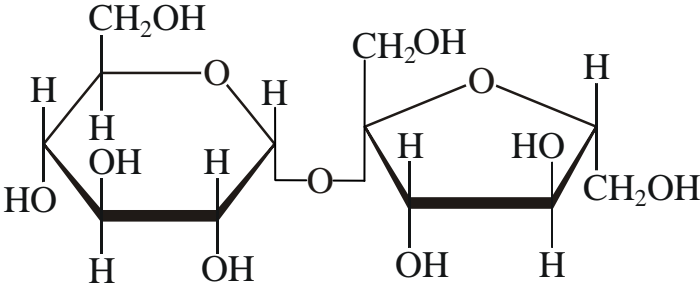
Формула	Название
	бензол- дикарбоновая-1,3 (изофталевая)
	бензол- дикарбоновая-1,4 (терефталевая)
<b>ЖИРЫ</b>	
<i>а) твердые</i>	
$  \begin{array}{c}  \text{CH}_2 - \text{O} - \text{CO} - \text{C}_{15}\text{H}_{31} \\    \\  \text{CH} - \text{O} - \text{CO} - \text{C}_{15}\text{H}_{31} \\    \\  \text{CH}_2 - \text{O} - \text{CO} - \text{C}_{15}\text{H}_{31}  \end{array}  $	трипальмитин
$  \begin{array}{c}  \text{CH}_2 - \text{O} - \text{CO} - \text{C}_{17}\text{H}_{35} \\    \\  \text{CH} - \text{O} - \text{CO} - \text{C}_{17}\text{H}_{35} \\    \\  \text{CH}_2 - \text{O} - \text{CO} - \text{C}_{17}\text{H}_{35}  \end{array}  $	тристеарин
<i>б) жидкие (масла)</i>	
$  \begin{array}{c}  \text{CH}_2 - \text{O} - \text{CO} - \text{C}_{17}\text{H}_{33} \\    \\  \text{CH} - \text{O} - \text{CO} - \text{C}_{17}\text{H}_{33} \\    \\  \text{CH}_2 - \text{O} - \text{CO} - \text{C}_{17}\text{H}_{33}  \end{array}  $	триолеин

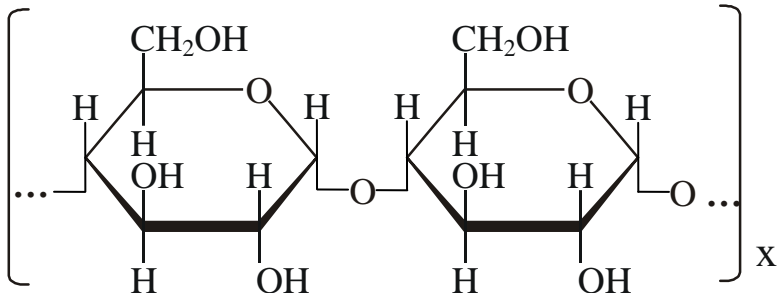
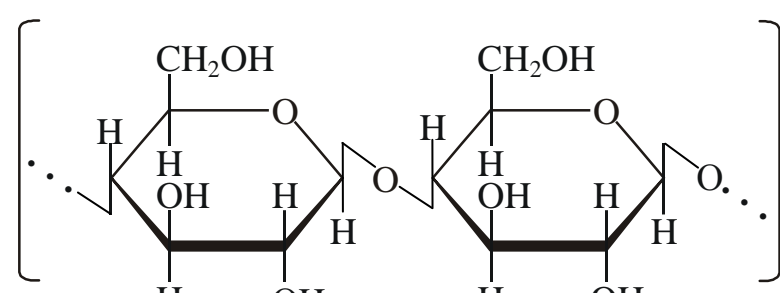
Формула	Название
$  \begin{array}{c}  \text{CH}_2-\text{O}-\text{CO}-\text{C}_{17}\text{H}_{31} \\    \\  \text{CH}-\text{O}-\text{CO}-\text{C}_{17}\text{H}_{31} \\    \\  \text{CH}_2-\text{O}-\text{CO}-\text{C}_{17}\text{H}_{31}  \end{array}  $	трилинолеин
<b>Оксикислоты</b>	
HO-CH <sub>2</sub> -COOH	оксиэтановая (гликолевая)
$  \begin{array}{c}  \text{CH}_3-\text{CH}-\text{COOH} \\    \\  \text{OH}  \end{array}  $	2-оксипропановая (молочная)
$  \begin{array}{c}  \text{HOOC}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{COOH} \\    \\  \text{OH}  \end{array}  $	2-оксибутандиовая (яблочная)
$  \begin{array}{c}  \text{HOOC}-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\    \quad   \\  \text{OH} \quad \text{OH}  \end{array}  $	1,2-диоксибутан- диовая (винная)
$  \begin{array}{c}  \text{OH} \\    \\  \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{CH}_2-\text{COOH} \\    \\  \text{COOH}  \end{array}  $	3-окси-3-карбок- сипентандиовая (лимонная)
	2-оксибензол- карбоновая (салициловая)
	2-ацетоксибензол- карбоновая (ацетилсалициловая, аспирин)

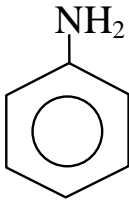


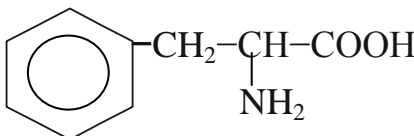
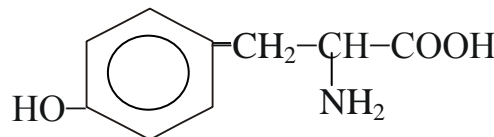
Формула	Название	
<b>Оксокислоты (альдегидо- и кетокислоты)</b>		
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}-\text{C}-\text{COOH} \end{array}$	оксоэтановая (глиоксалева, глиоксиловая)	
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{C}-\text{COOH} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$	2-оксопропановая (пировиноградная)	
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_2-\text{COOH} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$	3-оксобутановая (ацетоуксусная)	
<b>УГЛЕВОДЫ</b>		
<i>а) моносахариды</i>		
$\begin{array}{c} \text{C}=\text{O} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{CH}_2\text{OH} \\ D\text{-рибоза} \end{array}$	 $\alpha\text{-}D\text{-рибофураноза}$	рибоза
$\begin{array}{c} \text{C}=\text{O} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{CH}_2\text{OH} \\ D\text{-дезоксирибоза} \end{array}$	 $\beta\text{-}D\text{-дезоксирибофураноза}$	дезоксирибоза

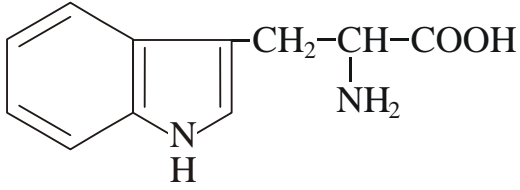
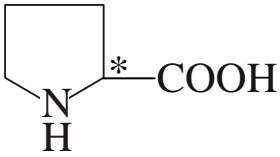
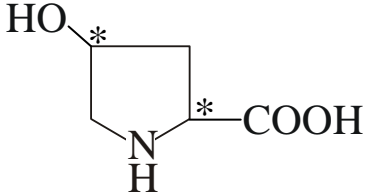
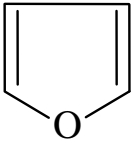
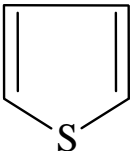
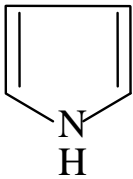
Формула	Название
 <p style="text-align: center;"><i>D</i>-глюкоза</p>	 <p style="text-align: center;"><i>α</i>-<i>D</i>-глюкопираноза</p> <p style="text-align: center;">глюкоза</p>
 <p style="text-align: center;"><i>D</i>-галактоза</p>	 <p style="text-align: center;"><i>β</i>-<i>D</i>-галактопираноза</p> <p style="text-align: center;">галактоза</p>
 <p style="text-align: center;"><i>D</i>-фруктоза</p>	 <p style="text-align: center;"><i>β</i>-<i>D</i>-фруктофураноза</p> <p style="text-align: center;">фруктоза</p>

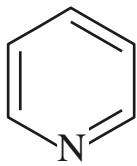
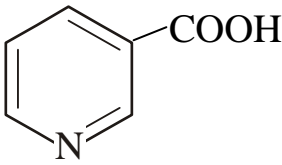
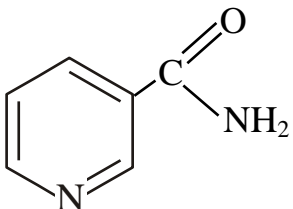
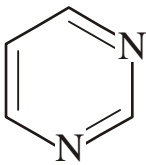
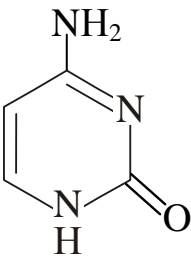
Формула	Название
<b>б) дисахариды</b>	
	<p>мальтоза (солодовый сахар)</p>
	<p>целлобиоза</p>
	<p>лактоза (молочный сахар)</p>
	<p>сахароза (тростниковый или свекловичный сахар)</p>

Формула	Название
<b>в) полисахариды</b>	
	крахмал
	целлюлоза (клетчатка)
<b>АМИНЫ</b>	
<b>а) первичные</b>	
$\text{CH}_3\text{-NH}_2$	аминометан (метиламин)
<b>б) вторичные</b>	
$\text{CH}_3\text{-NH-CH}_3$	диметиламин
<b>в) третичные</b>	
$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{-N-CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	триметиламин

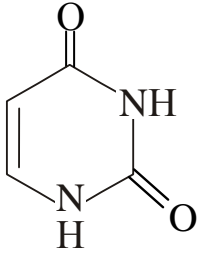
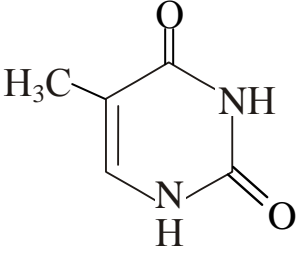
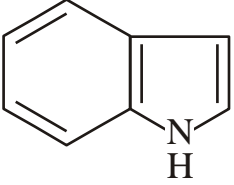
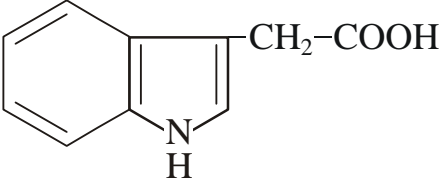
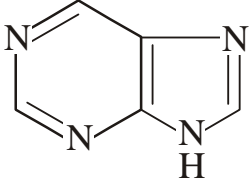
Формула	Название
<i>г) ароматические</i>	
	аминобензол (анилин, фениламин)
<b>ДИАМИНЫ</b>	
$\text{NH}_2-(\text{CH}_2)_4-\text{NH}_2$	1,4-диаминобутан (тетраметилендиамин)
$\text{NH}_2-(\text{CH}_2)_5-\text{NH}_2$	1,5-диаминопентан (пентаметилендиамин)
$\text{NH}_2-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$	1,6-диаминогексан (гексаметилендиамин)
<b>АМИНОСПИРТЫ</b>	
$\text{NH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$	2-аминоэтанол-1 (коламин)
<b>АМИНОКИСЛОТЫ</b>	
$\text{NH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$	аминоэтановая (глицин)
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$	2-аминопропановая (аланин)
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \quad   \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_2 \end{array}$	2-амино-3-метил- бутановая (валин)
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\   \quad \quad   \\ \text{CH}_3 \quad \quad \text{NH}_2 \end{array}$	2-амино-4-метил- пентановая (лейцин)

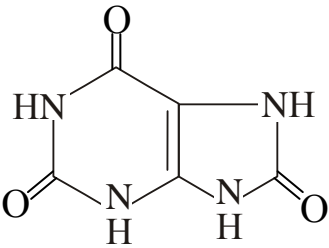
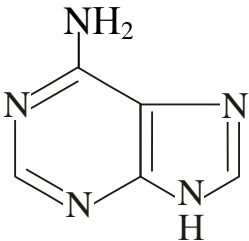
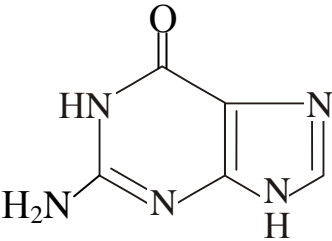
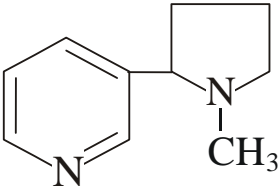
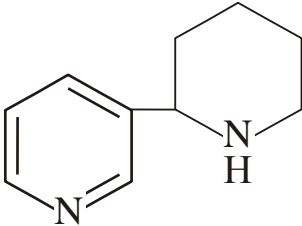
Формула	Название
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \quad   \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_2 \end{array}$	2-амино-3-метил- пентановая (изолейцин)
$\text{HOOC}-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	2-аминобутандиовая (аспарагиновая)
$\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	2-аминопентандиовая (глутаминовая)
$\begin{array}{c} \text{CH}_2-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}-\text{COOH} \\   \quad   \\ \text{NH}_2 \quad \text{NH}_2 \end{array}$	2,6-диаминогексановая (лизин)
$\text{HO}-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	2-амино-3-окси- пропановая (серин)
$\text{HS}-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	2-амино-3-тио- пропановая (цистеин)
$\begin{array}{c} \text{S}-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH} \\   \\ \text{S}-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH} \end{array}$	ЦИСТИН
	2-амино-3-фенил- пропановая (фенилаланин)
	2-амино-3-(4'-оксифенил)- пропановая (тирозин)

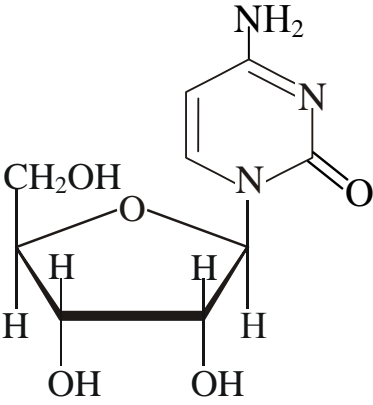
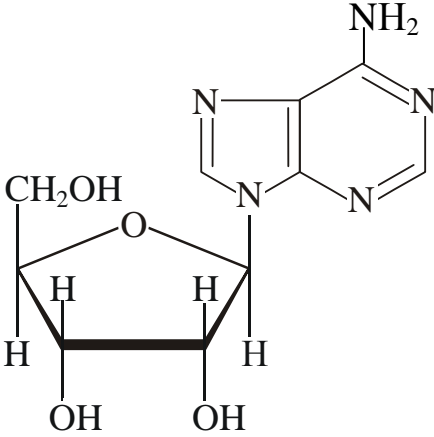
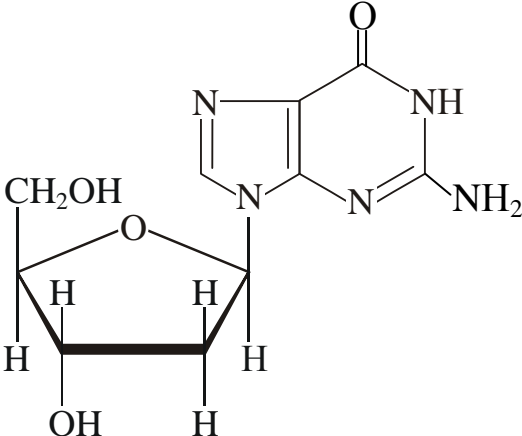
Формула	Название
	<p>2-амино-3-(3'-индолил)-пропановая (триптофан)</p>
	<p>пирролидин-<math>\alpha</math>-карбоновая кислота (пролин)</p>
	<p>4-оксипирролидин-<math>\alpha</math>-карбоновая кислота (оксипролин)</p>
<p><b>ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ</b></p>	
<p><i>а) пятичленные ароматические с одним гетероатомом</i></p>	
	<p>фуран</p>
	<p>тиофен</p>
	<p>пиррол</p>

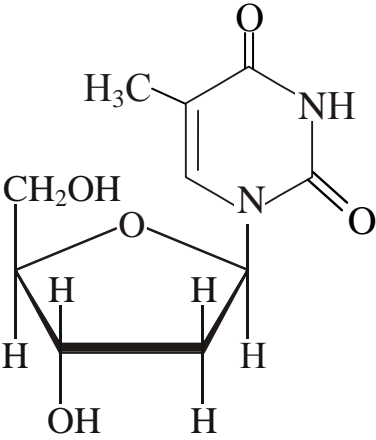
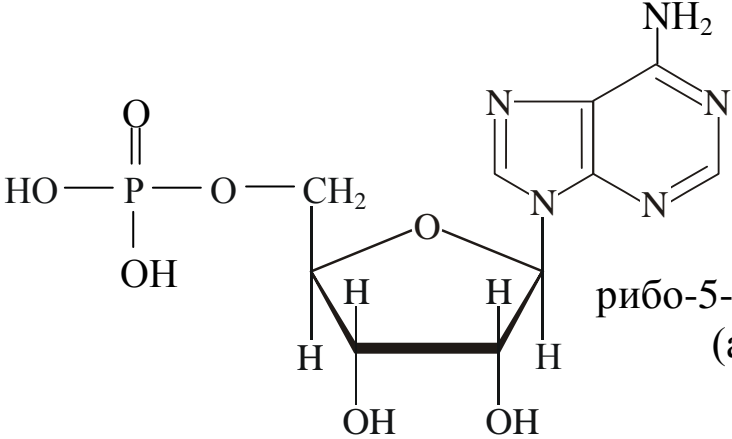
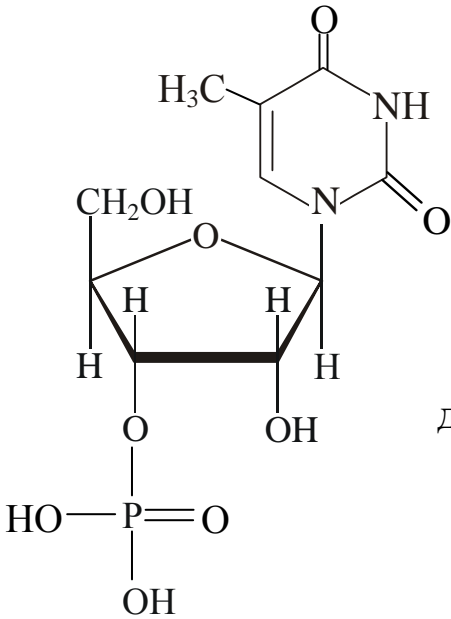
<b>б) шестичленные ароматические с одним гетероатомом и их производные</b>	
	пиридин
	пиридин-3-карбоновая (никотиновая кислота)
	витамин РР
<b>в) шестичленные ароматические с двумя гетероатомами</b>	
	пиримидин
<b>Пиримидиновые основания</b>	
	ЦИТОЗИН



Формула	Название
	урацил
	ТИМИН
<b><i>г) конденсированные и их производные</i></b>	
	ИНДОЛ
	2-(3'-индолил)-этановая кислота (гетероауксин)
	пурин

Формула	Название
	<p>2,6,8-триоксипурин (мочевая кислота)</p>
<b>Пуриновые основания</b>	
	<p>аденин</p>
	<p>гуанин</p>
<b>Алкалоиды</b>	
	<p>НИКОТИН</p>
	<p>анабазин</p>

Формула	Название
<b>НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ</b>	
<i>a) нуклеозиды</i>	
	рибоцитидин
	рибоаденозин
	дезоксирибогуанозин

Формула	Название
	<p>дезокситимидин</p>
<p><b>б) нуклеотиды</b></p>	
	<p>рибо-5-аденозилмонофосфат (адениловая кислота)</p>
	<p>дезокситрибо-3-тимидилмонофосфат (уридиловая кислота)</p>

## Предметный указатель

- Адениловая кислота 173  
Аденин 169  
Аденозин 172  
Аденозиндифосфат (АДФ) 173  
Аденозинмонофосфат (АМФ) 173  
Аденозинтрифосфат (АТФ) 173  
Адипиновая кислота 92  
Акриловая кислота 89  
Акролеин 77  
Аланин 145  
Алкадиены 39  
Алканы 26  
Алкалоиды 167  
Алкены 31  
Алкилы 28  
Алкины 35  
Алкоголяты 65  
Аллиловый спирт 62  
Альбумины 154  
Альдегиды 76  
Альдоль 81  
Альдольная конденсация 81  
Амид никотиновой кислоты 167  
Амиды кислот 88, 143  
Амилоза 128  
Амилопектин 128  
Аминокислоты 144  
Аминоспирты 142  
Амины 137  
Амфотерность 150  
Анабазин 168  
Ангидриды кислот 88  
Ангидрид янтарной кислоты 94  
Анилин 137  
Аномеры 116  
Антиподы 102  
Антрацен 54  
Арилы 48  
Ароматические амины 137  
Ароматичность 47  
Асимметрический атом углерода 10  
Аскорбиновая кислота 108  
Аспарагин 143  
Аспарагиновая кислота 146  
Аспирин 109  
Ацеталь 80  
Ацетальдегид 77  
Ацетамид 143  
Ацетил 86  
Ацетилен 35  
Ацетилениды 38  
Ацетиленовые углеводороды 35  
Ацетилсалициловая кислота 109  
Ацетилхолин 142  
Ацетон 77  
Ацетоуксусная кислота 111  
Ацетоуксусный эфир 111  
Ацетофенон 77  
Ацилглицерины 97

Белки 152  
Бензальдегид 77  
Бензил 48  
Бензиловый спирт 63, 67  
Бензин 31  
Бензойная кислота 95  
Бензол 48  
Бензолсульфокислота 51  
Бензофенон 77  
Биполярные ионы 150  
Биурет мочевины 144  
Биуретовая реакция 160  
Брожение 63, 122  
Бутадиен 39  
Бутанон 77  
Бутиловые спирты 66  
Бутин 35

**Валентность** 8  
Валериановая кислота 205  
Валин 146  
Ванилин 83  
Винил 197  
Винилацетилен 38  
Виниловый спирт 37, 62, 67  
Винилхлорид 58  
Винные кислоты 107  
Виноградная кислота 107  
Виноградный сахар 123  
Витамин С 108  
Витамин F 91  
Витамин PP 167  
Витамины 109  
Водородная связь 64, 86, 156  
Воски 100  
Восстанавливающие сахара 124

Вторичная структура  
– белка 158  
– нуклеиновых кислот 175  
Вторичные амины 137  
Вторичные спирты 62  
Высыхающие масла 98

Галактоза 114  
Галактоуроновая кислота 120, 134  
Галловая кислота 109  
Галогеноангидриды кислот 88  
Галогенопроизводные 57  
Гексаметилендиамин 141  
Гексан 27  
Гексахлоран 46  
Гексахлорциклогексан 46  
Гексит 120  
Гексозы 114  
Гексозаны 128  
Гем крови 164  
Гемоглобин 164  
Гераниол 55  
Гербициды 73  
Гетероауксин 166  
Гетеролитические реакции 18  
Гетерофункциональные соединения 21  
Гетероциклические соединения 20  
Гибридизация 13  
Гидрогенизация жира 100  
Гидроксиламин 81  
Гидролиз жиров 99  
Гидрохинон 74

- Гликоген 130  
 Гликозидный  
     гидроксил 116  
 Гликозиды 121  
 Гликолевая кислота 102  
 Гликоли 68  
 Гликоляты 68  
 Гликопротеиды 155  
 Глиоксалева  
     кислота 110  
 Глицераты 70  
 Глицериды 97  
 Глицерин 69  
 Глицериновый  
     альдегид 104  
 Глицин 145  
 Глобулины 154  
 Глутамин 143  
 Глутаминовая  
     кислота 146  
 Глутаровая  
     кислота 92  
 Глюкоза 114  
 Глюконовая  
     кислота 119  
 Глюкуроновая  
     кислота 119  
 Гомолитические  
     реакции 18  
 Гомологи 24  
 Гомологический ряд 24  
 Гуанин 169  
 Гуанозин 172
- Двухатомные спирты 68  
 ДДТ 54  
 Дегидратация 32, 65  
 Дезоксирибоза 114
- Дезоксирибонуклеиновые  
 кислоты (ДНК) 171  
 Декарбоксилирование 150  
 Декстрины 130  
 Денатурация белка 159  
 Детергенты 100  
 Диамины 141  
 Диастереомеры 115  
 Дивинил 41  
 Диены 39  
 Дикетопиперазин 151  
 Диметиламин 137  
 Динамит 69  
 Диоксан 68  
 Диолы 68  
 Дисахариды 123  
 Дифенил 53  
 Дифенилметан 53  
 Дифенилэтан 53  
 Диэтанолламин 142  
 Диэтиловый эфир 65  
 Донорно-акцепторная  
     связь 64, 139
- Живца 56**  
 Жидкость Фелинга 108  
 Жиры 97
- Заменимые**  
     аминокислоты 144  
**Заместители**  
   – I рода 51  
   – II рода 51
- Изомерия 8**  
   – геометрическая  
     цис-, транс- 10  
   – оптическая  
     (зеркальная) 10, 102

– положения заместителей 48  
 – положения кратной связи 9  
 – углеродного скелета 9  
 Изомеры 8  
 Изопрен 40  
 Изопропил 28, 197  
 Изопропилбензол (кумол) 53, 71  
 Изофталева кислота 95  
 Изоэлектрическая точка 149, 159  
 Инверсия 126  
 Инвертный сахар 127  
 Индол 166  
 Индолилуксусная кислота 166  
 Индуктивный эффект 33  
 Инсектициды 46  
 Инулин 131  
 Ионная связь 11  
 Искусственное волокно 133  
 Кадаверин 135  
 Камфора 56  
 Капрон 152  
 Капроновая кислота 205  
 Карбамид 143  
 Карбид кальция 36  
 Карбоновые кислоты 85  
 Карбоциклические соединения 20  
 Каучук 41, 42  
 Качественный анализ 7  
 Керотин 154  
 Керосин 31  
 Кетоны 76  
 Клетчатка 131  
 Ковалентная связь 12  
 Коламин 142  
 Количественный анализ 7  
 Комплексные соединения 69, 70  
 $\pi$ -комплекс 50  
 $\sigma$ -комплекс 50  
 Конформация 44  
 Координационная связь 139  
 Крахмал 128  
 Крезолы 70  
 Кротоновая кислота 89  
 Кротоновая конденсация 82  
 Кротоновый альдегид 82  
 Ксантопротеиновая реакция 160  
 Ксилоза 114  
 Ксилолы 48  
 Кумулированные связи 39  
 Лавсан 97  
 Лактамы 151  
 Лактид гликолевой кислоты 105  
 Лактиды 105  
 Лактоза 125  
 Лактоны 106  
 Лейцин 213  
 Лигнин 133  
 Лизин 146  
 Лимонен 56



Лимонная кислота 108  
 Линолевая кислота 89, 91  
 Линоленовая кислота 89, 91  
 Липаза 99  
 Липиды 97  
 Липопротеиды 155  
  
**Масла** 97  
 Мальтоза 124  
 Малеиновая кислота 95  
 Малеиновый ангидрид 95  
 Малоновая кислота 92  
 Масляная кислота 85  
 Масляный альдегид 76  
 Мезовинная кислота 107  
 Ментол 56  
 Метаналь 76  
 Метанол 62  
 Метил 28  
 Метиламин 137  
 Метилбензол 48  
 Метиловый спирт 62  
 Метилэтилкетон 77  
 Механизм реакции 17  
 Мед 123  
 Мирцен 55  
 Молочная кислота 102  
 Молочный сахар 125  
 Монозы 113  
 Моносахариды 113  
 Мочевая кислота 170  
 Мочевина 143  
 Муравьиная кислота 85  
 Муравьиный альдегид 76  
 Мутаротация 117  
 Мыло 99  
 Мясомолочная кислота 106  
  
**Найлон** 141  
 Натуральное волокно 133  
 Нафталин 54  
 Нафтолы 74  
 Невосстанавливающие  
     дисахариды 126  
 Невысыхающие масла 98  
 Незаменимые  
     аминокислоты 145  
 Неполярная связь 12  
 Непредельные кислоты 89  
 Никотин 168  
 Никотиновая кислота 167  
 Нингидринная  
     реакция 160  
 Нитрилы 22,86  
 м-Нитробензойная  
     кислота 96  
 Нитробензол 50  
 Нитросоединения 136  
 Номенклатура  
     – тривиальная 27  
     – рациональная 76  
     – ИЮПАК 27  
 Нуклеиновые кислоты 170  
 Нуклеозиды 172  
 Нуклеопротеиды 155  
 Нуклеотиды 173  
 Нуклеофильное  
     замещение 18  
 Нуклеофильные реакции 18  
 Нуклеофилы 18  
  
**Одноатомные спирты** 62  
 Окисление гомологов  
     бензола 52  
 Оксигидрохинон 74  
 Оксимы 81

Оксикислоты 102  
 Оксинитрилы 80  
 Оксипролин 147  
 Олеиновая кислота 89  
 Олигосахариды 123  
 Омыление жиров 99  
 Оптическая  
 – активновность 102  
 – изомерия 10, 102, 115  
 Оптические антиподы 102  
**Пальмитиновая**  
 кислота 85, 89  
 Пектиновые вещества 134  
 Пентаметилендиамин 213  
 Пептидная связь 151, 156  
 Пептиды 156  
 Пентозы 114  
 Первичная структура  
 – белка 157  
 – нуклеиновых кислот 171  
 Пикриновая кислота 72  
 Пинены 56  
 Пиран 117  
 Пиранозы 117  
 Пиридин 166  
 Пиримидин 168  
 Пиримидиновые  
 основания 169  
 Пировиноградная  
 кислота 106, 110  
 Пирогаллол 74  
 Пирокатехин 74  
 Пироксилин 133  
 Пиррол 163  
 Плексиглас 91  
 Плоскополяризованный  
 свет 102  
 Полиакрилаты 90  
 Полиамиды 142  
 Поливинилхлорид 60  
 Поликонденсация 97, 141  
 Полимеризация 34, 38  
 Полиметилметакрилат 90  
 Полипептиды 153  
 Полисахариды 128  
 Полиэтилен 34  
 Полиоксиметилен 81  
 Полиформальдегид 81  
 Полярная связь 12  
 Порфин 164  
 Правило  
 – Марковникова 33  
 – ориентации в бензольном  
 кольце 51  
 – Хюккеля 48  
 – Эльтекова 67  
 Прогоркание жиров 99  
 Проламины 154  
 Пролин 147  
 Пропан 27  
 Пропанол 62  
 Пропанон 77  
 Пропен 31  
 Пропеналь 77  
 Пропиловые спирты 62  
 Пропин 35  
 Пропионовая кислота 85  
 Простетическая  
 группа 154  
 Протамины 154  
 Протеиды 154  
 Протеины 154  
 Пурин 169  
 Пуриновые основания 169  
 Путресцин 141

Радикалы 28, 197  
 Радикальные реакции 17  
 Рафиноза 128  
 Рацемат 106  
 Реактив Швейцера 132  
 Реакция  
 – Вагнера 34  
 – Вюрца 29  
 – Вюрца-Фиттига 49  
 – гидролиза 63  
 – Гофмана 138  
 – дезаминирования 150  
 – декарбоксилирования 93, 150  
 – замещения 19  
 – Зинина 137  
 – конденсации 72, 81  
 – Коновалова 30  
 – Кучерова 37  
 – Миллона 160  
 – нитрования 30  
 – окисления 19  
 – отщепления 19  
 – поликонденсации 97, 141  
 – полимеризации 34, 38  
 – присоединения 19  
 – серебряного зеркала 79  
 – Фриделя-Крафтса 49  
 – электрофильные 18  
 – этерификации 65  
 Резорцин 74  
 Репелленты 96  
 Рибоза 114  
 Рибонуклеиновые кислоты  
 (РНК) 176  
 Салициловая кислота 109  
 Сахарная кислота 119  
 Сахароза 126  
 Свекловичный сахар 126  
 $\sigma$ - и  $\pi$ -Связи 13, 14  
 Серин 148  
 Синтетическое волокно 133  
 Скипидар 56  
 Склеропротеины 154  
 Соли  
 – аминов 139  
 – кислот 87  
 Сопряженные связи 39  
 Спирты 62  
 Стеариновая кислота 85, 89  
 Stereoизомерия 10  
 Stereoхимия 11  
 Стирол 42, 52  
 Структурная изомерия 9  
 Сульфокислоты 22, 51  
 Танин 110  
 Таутомерия 10  
 Таутомерные  
 превращения 10, 111, 116  
 Таутомерные формы 10  
 Теория  
 – напряжения Байера 45  
 – строения Бутлерова 8  
 Теревталевая кислота 95  
 Терпены 55  
 Тетраэдрическая модель  
 атома углерода 11, 15  
 Тетраметилендиамин 141  
 Тимидин 172  
 Тимин 168  
 Тимол 73  
 Тиофен 163  
 Тирозин 147  
 Толуол 48  
 Трегалоза 127

Третичная структура  
     белка 158  
 Третичные амины 137  
 Третичные спирты 62  
 Триглицериды 97  
 Триметиламин 137  
 Триптофан 147  
 Трисахариды 128  
 Трифенил 53  
 Триэтанолламин 142  
 Тростниковый сахар 126  
 Тротил 51  
  
 Углеводороды 26  
 Углеводы 112  
 Уксусная кислота 85  
 Уксусный альдегид 76  
 Урацил 168  
 Уридин 172  
 Уроновые кислоты 120  
  
**Ф**енантрен 54  
 Фенил 48  
 Фенилаланин 147  
 Фениламин 137  
 Феноксиуксусная  
     кислота 73  
 Фенол 70  
 Фенолокислоты 109  
 Феноляты 72  
 Фенолформальдегидные  
     смолы 72  
 Флороглюцин 74  
 Формалин 83  
 Формальдегид 83  
 Формамид 143  
 Формула  
     – гомологического ряда 27  
     – Толленса 116  
     – Фишера 103  
     – Хеуорса 117  
 Фосфатиды 142  
 Фосфопротеиды 155  
 Фосфорные эфиры  
     сахаров 122  
 Фотосинтез 112  
 Фруктоза 115  
 Фталевая кислота 95  
 Фумаровая кислота 94  
 Фунгициды 83, 141  
 Функциональная  
     группа 21  
 Фуран 163  
 Фуранозы 117  
 Фурфурол 163  
  
**Х**имическая связь 11  
 Хлорвинил 57, 58, 60  
 Хлорофилл 165  
 Хлороформ 57  
 Холин 142  
 Хромопротеиды 155  
  
**Ц**еллобиоза 125  
 Целлюлоза 131  
 Циклоалканы 42  
 Циклобутан 42  
 Циклогексан 44, 46  
 Циклопропан 42  
 Циклопентан 42  
 Цистеин 148  
 Цистин 148  
 Цитидин 172  
 Цитозин 168  
 Цитраль 55

**Четвертичная структура**  
белка 158

**Щавелевая кислота** 92

**Элаидиновая кислота** 91

**Эластин** 154

**Электронные эффекты** 33, 40

**Электрофильные реакции** 18

**Электрофилы** 18

**Энантиомеры** 102

**Этан** 27

**Этаналь** 76

**Этанол** 62

**Этаноламин** 142

**Этерификация** 65

**Этиламин** 138

**Этилацетат** 65

**Этилен** 31

**Этиленгликоль** 68

**Этилендиамин** 141

**Этиловый спирт** 62

**Этин** 35

**Эфирные масла** 55

**Эфиры**

– простые 65

– сложные 65

**Эффект**

– индуктивный 33

– сопряжения 40

**Яблочная кислота** 107

**Янтарная кислота** 92

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
Введение .....	5
<b>Раздел I. Теоретические основы органической химии .....</b>	<b>8</b>
Теория химического строения А.М. Бутлерова.....	8
Виды изомерии органических соединений .....	9
Стереохимическая теория .....	11
Химическая связь в органических соединениях .....	11
Типы и механизмы химических реакций .....	17
Классификация органических соединений .....	19
<b>Раздел II. Классы органических соединений .....</b>	<b>25</b>
<b>УГЛЕВОДОРОДЫ .....</b>	<b>26</b>
<b>Алканы (предельные углеводороды) .....</b>	<b>26</b>
Строение, изомерия и номенклатура .....	27
Принципы международной номенклатуры ИЮПАК .....	28
Способы получения .....	29
Физические свойства .....	29
Химические свойства.....	29
Важнейшие представители и их применение .....	30
<b>Алкены (этиленовые углеводороды) .....</b>	<b>31</b>
Строение, изомерия, номенклатура .....	31
Способы получения .....	32
Физические свойства .....	32
Химические свойства.....	33
Важнейшие представители и их применение .....	35
<b>Алкины (ацетиленовые углеводороды) .....</b>	<b>35</b>
Строение, изомерия, номенклатура .....	35
Способы получения .....	36
Физические свойства .....	36
Химические свойства.....	36

Важнейшие представители и их применение .....	38
<b>Алкадиены (диеновые углеводороды) .....</b>	<b>39</b>
Строение, изомерия, номенклатура .....	39
Способы получения .....	40
Физические свойства .....	40
Химические свойства .....	40
Важнейшие представители и их применение .....	41
<b>Циклоалканы (алициклические углеводороды) .....</b>	<b>42</b>
Строение, изомерия, номенклатура .....	42
Способы получения .....	44
Физические свойства .....	45
Химические свойства .....	45
Важнейшие представители и их применение .....	46
<b>Арены (ароматические углеводороды) .....</b>	<b>46</b>
Строение, изомерия, номенклатура .....	46
Способы получения .....	49
Физические свойства .....	49
Химические свойства .....	49
Важнейшие представители и их применение .....	52
<b>Многоядерные ароматические углеводороды .....</b>	<b>53</b>
<b>Терпены .....</b>	<b>55</b>
Ациклические терпены .....	55
Моноциклические терпены .....	56
Бициклические терпены .....	56
<b>Галогенопроизводные углеводородов .....</b>	<b>57</b>
Способы получения .....	57
Физические свойства .....	58
Химические свойства .....	58
Важнейшие представители и их применение .....	59
<b>СПИРТЫ И ФЕНОЛЫ.....</b>	<b>62</b>
Классификация .....	62

<b>Одноатомные спирты</b> .....	62
Строение, изомерия, номенклатура .....	62
<b>Предельные спирты</b> .....	63
Способы получения .....	63
Физические свойства .....	64
Химические свойства.....	65
Важнейшие представители и их применение .....	66
<b>Непредельные спирты</b> .....	67
<b>Ароматические спирты</b> .....	67
<b>Многоатомные спирты</b> .....	68
<b>Фенолы</b> .....	70
<b>Одноатомные фенолы</b> .....	70
Способы получения .....	70
Физические свойства .....	71
Химические свойства.....	71
Важнейшие представители и их применение .....	73
<b>Двухатомные фенолы</b> .....	74
<b>Трехатомные фенолы</b> .....	74
<b>АЛЬДЕГИДЫ И КЕТОНЫ (оксосоединения)</b> .....	76
Классификация .....	76
Способы получения .....	77
Физические свойства .....	78
Химические свойства.....	79
Важнейшие представители и их применение .....	83
<b>КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ</b> .....	85
Классификация .....	85
<b>Предельные одноосновные кислоты</b> .....	85
Номенклатура .....	86
Способы получения .....	86
Физические свойства .....	86
Химические свойства.....	87



Важнейшие представители и их применение .....	88
<b>Непредельные одноосновные кислоты</b> .....	89
Физические свойства .....	89
Химические свойства .....	90
Важнейшие представители и их применение .....	91
<b>Двухосновные кислоты</b> .....	92
<b>Предельные двухосновные кислоты</b> .....	92
Способы получения .....	92
Физические свойства .....	93
Химические свойства .....	93
Важнейшие представители и их применение .....	94
<b>Непредельные двухосновные кислоты</b> .....	94
<b>Ароматические кислоты</b> .....	95
<b>ЛИПИДЫ</b> .....	97
<b>Жиры и масла</b> .....	97
Классификация .....	98
Химические свойства .....	99
<b>Воски</b> .....	100
<b>Раздел III. Гетерофункциональные соединения</b> .....	102
<b>ОКСИКИСЛОТЫ</b> .....	102
Способы получения .....	104
Физические свойства .....	104
Химические свойства .....	105
Важнейшие представители и их применение .....	106
<b>Многоосновные и многоатомные оксикислоты</b> .....	107
<b>Фенолоксикислоты (ароматические оксикислоты)</b> .....	109
<b>Оксокислоты (альдегидо- и кетокислоты)</b> .....	110
<b>УГЛЕВОДЫ (сахара)</b> .....	112
Классификация .....	113
<b>Моносахариды (монозы)</b> .....	113
Пентозы .....	114

Гексозы.....	114
Циклические формы моносахаридов. Таутомерия.....	116
Физические свойства .....	118
Химические свойства.....	119
Важнейшие представители и их применение .....	123
<b>Олигосахариды (ди- и трисахариды) .....</b>	<b>123</b>
<b>Полисахариды .....</b>	<b>128</b>
Крахмал .....	128
Гликоген .....	130
Инулин.....	131
Целлюлоза (клетчатка) .....	131
Пектиновые вещества .....	134
<b>АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ СОЕДИНЕНИЯ .....</b>	<b>136</b>
<b>Нитросоединения .....</b>	<b>136</b>
<b>Амины .....</b>	<b>137</b>
Способы получения .....	138
Физические свойства .....	139
Химические свойства.....	139
Важнейшие представители и их применение .....	140
<b>Диамины .....</b>	<b>141</b>
<b>Аминоспирты .....</b>	<b>142</b>
<b>Амиды кислот.....</b>	<b>143</b>
<b>АМИНОКИСЛОТЫ.....</b>	<b>144</b>
Классификация .....	144
Способы получения .....	148
Физические свойства .....	149
Химические свойства.....	149
<b>БЕЛКИ .....</b>	<b>152</b>
Состав и гидролиз .....	153
Классификация .....	153
Строение.....	155

Физические свойства .....	159
Химические свойства .....	159
<b>ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ</b> .....	<b>163</b>
Классификация .....	163
<b>Пятичленные гетероциклы</b> .....	<b>163</b>
Индол и его производные .....	166
<b>Шестичленные азотсодержащие гетероциклы</b> .....	<b>166</b>
Алкалоиды .....	167
Пиримидин и его производные .....	168
Пурин и его производные .....	169
<b>Нуклеиновые кислоты</b> .....	<b>170</b>
Нуклеозиды .....	172
Нуклеотиды .....	173
ДНК и их биологическая роль .....	173
РНК и их биологическая роль .....	176
Список литературы .....	177
Тесты .....	178
Приложения.....	197
Предметный указатель .....	221
Оглавление .....	230