



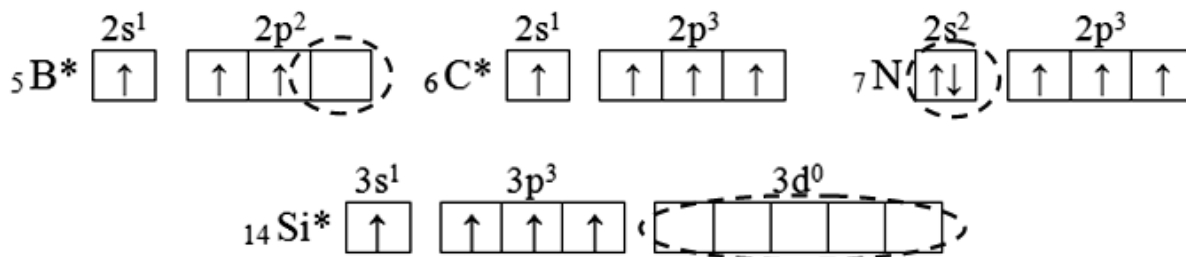
## РАЗДЕЛ III. Органическая химия

**Органическая химия** изучает соединения четырёхвалентного углерода. Прежде всего, это вещества растительного и животного происхождения. В состав органических веществ входят атомы элементов: углерод, водород, кислород, азот, сера и фосфор. Гораздо реже в составе органических веществ природного происхождения встречаются галогены, переходные металлы. Солевые формы и металлоорганические соединения включают атомы таких металлов как кальций, магний, калий, натрий и др.

### 1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

#### § 1.1 Особенности свойства атома углерода в органических соединениях

Основной особенностью строения органических молекул является наличие углеродного скелета (цепочки). Атом углерода обладает неповторимыми и уникальными свойствами. В периодической системе химических элементов Д. И. Менделеева углерод располагается в четвёртой группе второго периода. В возбужденном состоянии, в котором атом углерода вступает в химические взаимодействия, он имеет четыре неспаренных электрона на валентной (внешней) оболочке и не содержит ни электронных пар, ни вакантных орбиталей (рис.8). По этой причине углерод не способен к образованию дополнительных связей по донорно-акцепторному механизму и не в состоянии расширить свои валентные возможности. Валентность углерода поэтому остаётся постоянной.



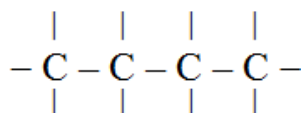
**Рисунок 8.** Электронное строение внешних оболочек атомов: углерода, бора и кремния в возбужденном состоянии (\*), а также азота в нормальной состоянии.

- ✓ **Валентность углерода в составе органических веществ всегда равна четырем.**

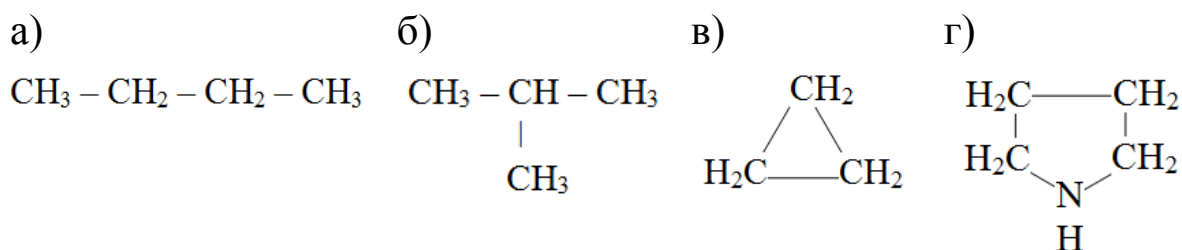
В отличие от атома углерода его ближайшие «соседи» по периодической системе, атомы бора, кремния и азота, обладают дополнительными валентными возможностями – либо за счёт свободных орбиталей в возбуждённом состоянии (В и Si), либо используя неподелённую пару электронов (N) при формировании дополнительных химических связей по донорно-акцепторному механизму.

В связи с особым составом и строением органических веществ органическую химию называют **химией соединений углерода**.

- ✓ Другой особенностью атомов углерода, является их **способность формировать последовательно связанные друг с другом углерод-углеродные цепи атомов.**



Такие цепи образуют углеродный скелет органической молекулы. Различают *линейные* (а) и *разветвлённые* (б) углерод-углеродные цепи, а также *циклические* структуры (циклы), которые подразделяют на *гомолитические*, состоящие только из атомов углерода – карбоциклы (в), и *гетеролитические* – гетероциклы (г), включающие атомы азота, серы или кислорода, рис.9.

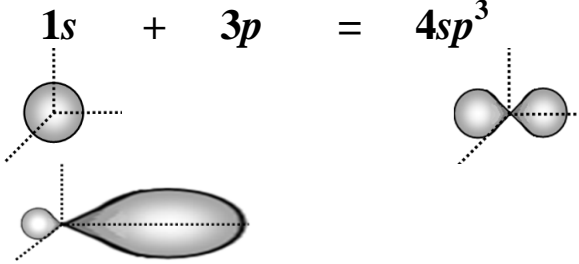
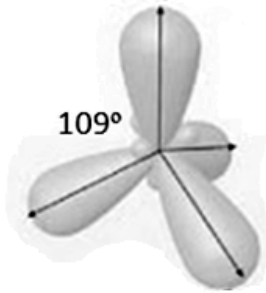
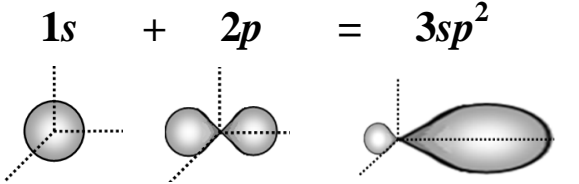
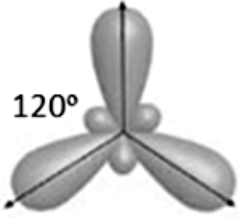
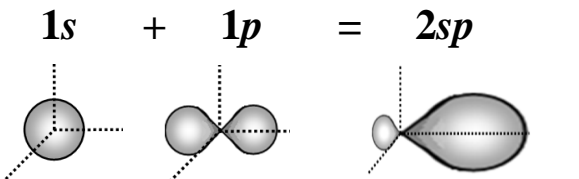
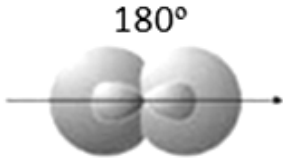


**Рисунок 9. Разновидности углерод-углеродных структур**

Углеродный скелет органических молекул включает не только одинарные (простые) связи между атомами углерода, но и кратные – двойные и тройные. Для объяснения экспериментально наблюдаемых углов связей в молекулах, их пространственного строения и механизма образования кратных связей вводят понятие гибридации.

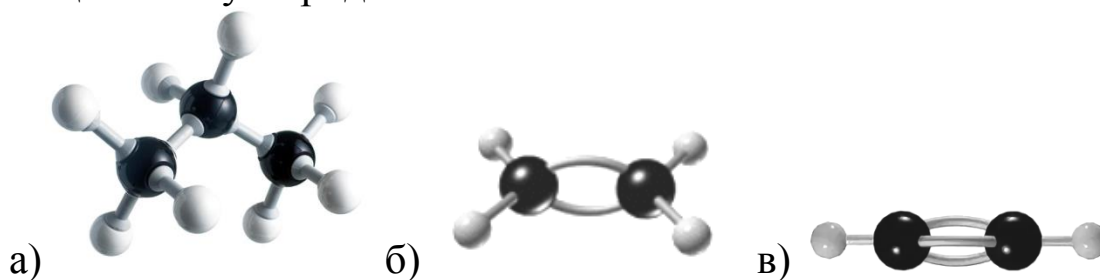
- ✓ **Гибридизация** – выравнивание, или смешение орбиталей атомов по энергии и пространственной ориентации с образованием новых *гибридных орбиталей* с одинаковыми характеристиками.

Для атома углерода возможны три варианта гибридизации.

Вид гибридизации, форма исходных и гибридных орбиталей	Расположение гибридных орбиталей в пространстве
<p><b><math>sp^3</math> – гибридизация</b></p> <p><math>1s + 3p = 4sp^3</math></p>  <p>Участвуют все валентные орбитали</p>	 <p>Оси <math>sp^3</math>-гибридных орбиталей оказываются направленными в пространстве к вершинам тетраэдра. Углы между этими орбиталями составляют <math>109^\circ</math>.</p>
<p><b><math>sp^2</math> – гибридизация</b></p> <p><math>1s + 2p = 3sp^2</math></p>  <p>Участвуют три валентные орбитали, одна из трёх <math>p</math>-орбиталей сохраняет свою форму и энергию.</p>	 <p>Три <math>sp^2</math>-гибридных орбитали расположены в одной плоскости, каждая из них направлена к вершине треугольника. Углы между этими орбиталями составляют <math>120^\circ</math>.</p>
<p><b><math>sp</math> – гибридизация</b></p> <p><math>1s + 1p = 2sp</math></p> 	 <p>Две <math>sp</math>-гибридных орбитали</p>

<p>Участвуют две валентные орбитали, две из трёх <math>p</math>-орбиталей сохраняют свою форму и энергию.</p>	<p>расположены в на одной оси. Угол между ними составляет <math>180^\circ</math>.</p>
---	---

В состоянии  $sp^3$ -гибридизации атомы углерода образуют четыре одинарные  $\sigma$ -связи. При этом, одна или две связи формируются с соседними атомами углерода, остальные заняты (насыщены) атомами водорода (рис.10а). Такое строение характерно для **насыщенного** углеродного скелета.



**Рисунок 10.** Шаростержневые модели пропана  $C_3H_8$  (а), этена  $C_2H_4$  (б), этина  $C_2H_2$  (в). Атомы углерода – черные, атомы водорода – белые.

В состоянии  $sp^2$ -гибридизации в образовании одинарных  $\sigma$ -связей участвуют только три гибридных орбитали атома углерода, а четвертая  $p$ -орбиталь способна сформировать  $\pi$ -связь. В результате между соседними атомами углерода образуется двойная связь (рис.10б).

В состоянии  $sp$ -гибридизации атомы углерода способны сформировать две  $\sigma$ -связи, за счёт гибридных орбиталей, и две  $\pi$ -связи путём перекрывания  $p$ -облаков в плоскостях перпендикулярных друг другу. Таким образом, между атомами углерода образуется тройная связь (рис.10в).

Органические молекулы, в углеродном скелете которых присутствуют кратные связи, относят к **ненасыщенным** соединениям.

Если в состав органического вещества входят только атомы С и Н, то его относят к **углеводородам** – основному родоначальному классу органических соединений. Благодаря способности углерода образовывать устойчивые связи с другими элементами атомы водорода в молекуле углеводорода могут замещаться на

функциональные группы и образовывать соединения других классов. Поэтому все остальные классы органических веществ рассматриваются как производные углеводов.

- ✓ **Функциональная группа** – это атом или группа атомов неуглеводородного характера, наиболее легко видоизменяемая в химических процессах. Функциональные группы обуславливают особенности химического поведения данного класса соединений.

Разнообразие органических соединений обусловлено также существованием гомологических рядов для каждой группы веществ со схожим строением и свойствами.

- ✓ **Гомологический ряд** – это ряд соединений, сходных по строению и свойствам, в котором отдельные представители ряда отличаются количеством групп  $-\text{CH}_2-$ . Члены такого ряда называются “**гомологами**”.

## § 1.2 Теория химического строения органических соединений А. М. Бутлерова

Теория химического строения была сформулирована в 1861 году выдающимся русским химиком А. М. Бутлеровым на основе важнейших открытий зарубежных ученых:

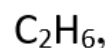
- 1) понятие валентности химических элементов (английский химик-органик Эдуард Франкленд);
- 2) четырехвалентность атома углерода (немецкий химик Фридрих Кекуле);
- 3) способность атомов углерода соединяться между собой в цепи открытого и замкнутого строения (шотландский химик Арчибалд Скотт Купер).

Основные положения теории строения:

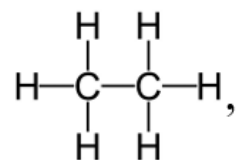
1. В молекуле веществ существует определенный порядок связей атомов, называемый химическим строением.

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

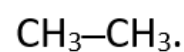
общая, или брутто формула –



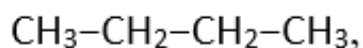
полная структурная формула –



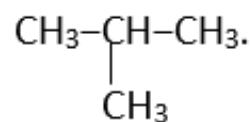
сокращенная структурная формула –



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  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  соответствует два изомера с нормальным и разветвленным строением цепи:



н-бутан



изобутан

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 определить его химические свойства.

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

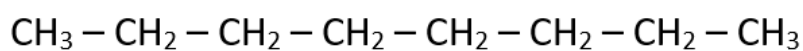
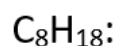
Теория А.М. Бутлерова имела огромное значение, т.к. признавала познаваемость внутреннего строения молекул и давала возможность предсказать новые, неизвестные соединения, кото-

рые были получены впоследствии. В дальнейшем эта теория получила развитие и дополнения.

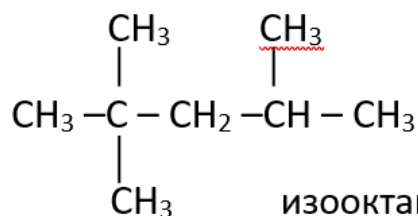
## Виды изомерии органических соединений

### 1. Структурная изомерия:

#### а) изомерия углеродной цепи (скелета):

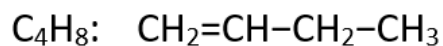


н-октан

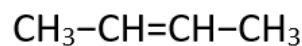


изооктан (2,2,4-триметилпентан)

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

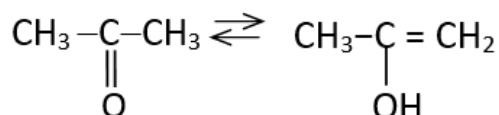


бутен-1



бутен-2

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

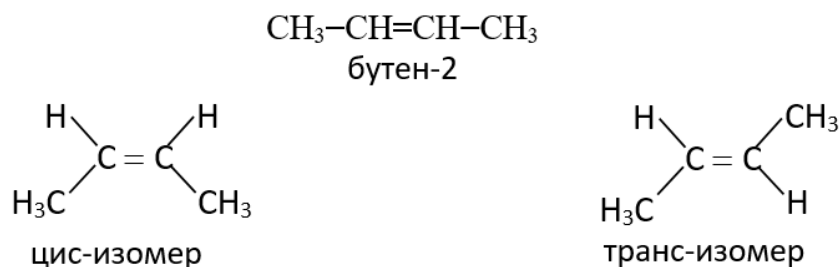


ацетон

спирт (пропен -1-ол-2)

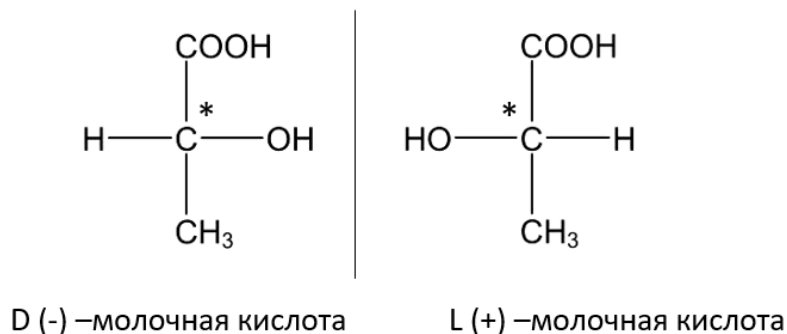
### 2. Пространственная, или стерео-изомерия:

а) геометрическая (цис-, транс-) изомерия, обусловленная различным расположением фрагментов молекулы относительно плоскости двойной связи или цикла:



плоскости двойной связи или цикла:

б) оптическая (зеркальная) изомерия обусловлена наличием асимметрического атома 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:



отражению в зеркале:

### § 1.3. Классификация и номенклатура органических соединений

Классификация органических соединений основана на следующих признаках:

- I. Строение углеродного скелета.
- II. Тип связи в углеродном скелете.



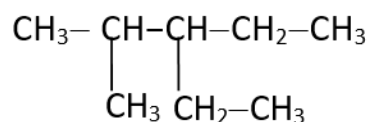
### III. Наличие функциональных групп.

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

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



пентан

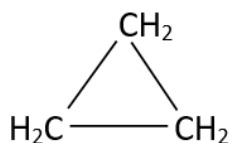


2-метил-3-этилпентан

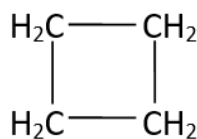
2. Циклические, которые подразделяются на:

а) карбоциклические – содержат углеродные цепи, замкнутые в циклы разной величины.

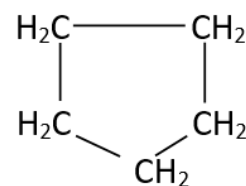
В свою очередь эти соединения делятся на алициклические:



циклопропан

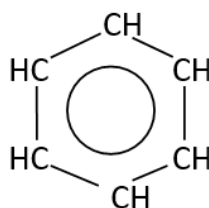


циклобутан



циклопентан

и **ароматические**:

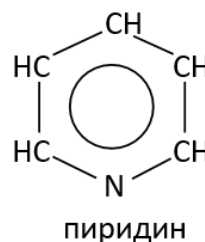
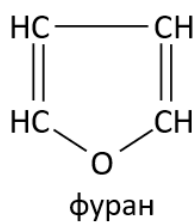


бензол

Окружностью в структурной формуле бензола обозначают перекрывание шести  $p$ -электронов над и под плоскостью  $\sigma$ -связей, так называемое  $\pi$ - $\pi$ -сопряжение. Такое перекрывание делает цикл очень устойчивым по отношению к реагентам. Органические соединения с подобным сопряжением относят к **ароматическим**.

**С запахом веществ настоящее время этот термин никак не связан!**

б) гетероциклические – содержат в цикле кроме атомов углерода атомы других элементов (N, O, S):



II. Органические соединения по типу связи в углеводородном радикале подразделяют на **предельные** (насыщенные), содержащие только  $\sigma$ -связи, и **непредельные** (ненасыщенные) – с кратными (т.е. двойными или тройными) связями, содержащие то или иное количество  $\pi$ -связей. В отдельную группу выделяют ароматические соединения, содержащие замкнутую сопряженную  $\pi$ -электронную систему (так называемую «ароматическую связь»). Наиболее известным ароматическим соединением является бензол.

III. В зависимости от наличия характерной группировки атомов (функциональной группы) органические соединения подразделяются на классы (таблица 3). **Функциональная группа** – это, как правило, наиболее изменяемая часть молекулы, которая обуславливает химические свойства данного класса соединений.

Родоначальным классом являются углеводороды. 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.3). Углеводородный радикал, связанный с функциональной группой, образует соединение, относящееся к тому или иному классу.

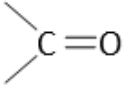
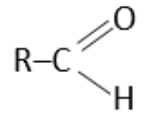
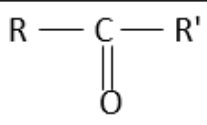
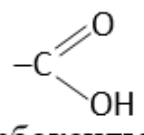
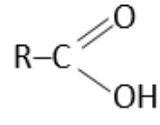
Представители указанных в табл. классов играют важнейшую роль в биологических и технологических процессах.

В каждом классе органических соединений существуют гомологические ряды. **Гомологический ряд** образуют соединения,

сходные по строению и свойствам, но отличающиеся количеством групп  $-CH_2-$ . Отдельные представители такого ряда называются «гомологами».

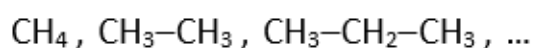
Таблица 6.

*Классы органических соединений*

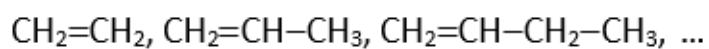
Функциональная группа	Название класса	Общая формула класса
1	2	3
–	Углеводороды	$R-H$
$-Hal$ ( $-F, -Cl, -Br, -I$ ) галоген	Галогенпроизводные	$R-\underline{Hal}$
$-OH$ гидроксильная (гидроксил)	Спирты, фенолы	$R-OH$
 карбонильная (карбонил)	Альдегиды	
	Кетоны	
 карбоксильная	Карбоновые кислоты	
$-NH_2$ аминогруппа	Амины	$R-NH_2$

$-\text{NO}_2$ нитрогруппа	<u>Нитросоединения</u>	$\text{R}-\text{NO}_2$
$-\text{C}\equiv\text{N}$ нитрильная группа	Нитрилы	$\text{R}-\text{C}\equiv\text{N}$
$-\text{SO}_3\text{H}$ <u>сульфогруппа</u>	Сульфокислоты	$\text{R}-\text{SO}_3\text{H}$
$-\text{SH}$ <u>меркаптогруппа</u>	<u>Тиолы</u>	$\text{R}-\text{SH}$

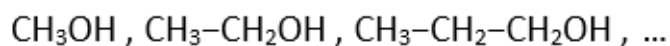
Примеры гомологических рядов:



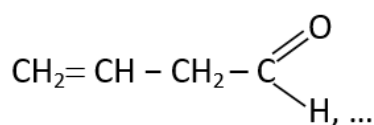
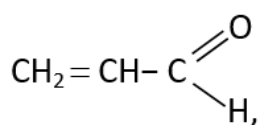
- предельные углеводороды (алканы);



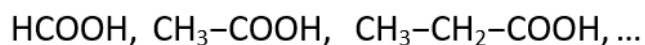
- непредельные углеводороды (алкены);



- предельные одноатомные спирты;



- непредельные альдегиды;



- предельные одноосновные карбоновые кислоты.

## § 1.4. Номенклатура органических соединений

Современная номенклатура органических веществ является систематической и международной, чтобы специалисты всего мира могли отобразить в названии структуру соединения и, наоборот, по названию однозначно представить структуру.

Среди вариантов современных систематических номенклатур, рекомендуемых Международной комиссией по номенклатуре IUPAC<sup>1</sup> (ИЮПАК), наиболее распространенной является также заместительная номенклатура, принятая в 1971 г. в Лондоне. В соответствии с принципами данного вида номенклатуры в соединении выделяют некую основу – главную цепь, в которой производят замещение атомов водорода на углеводородные радикалы и характеристические группы.

**Характеристическая группа(ы)** – это функциональная группа(ы), связанная(ые) с углеводородной структурой и определяющая(ие) класс соединения. Для построения названия в первую очередь определяют тип характеристической группы (если она присутствует). Если характеристических групп в соединении несколько, то выделяют старшую из них. Для характеристических групп условно установлен порядок старшинства. В таблице 7 эти группы приведены в порядке его убывания. Название старшей функциональной структурой группы, связанной с главной углеродной цепью, обозначается с помощью суффикса. Для всех других характеристических групп употребляются только соответствующие префиксные наименования.

В качестве главной цепи, как правило, выбирают наиболее сложную и длинную углеводородную цепь. Нумерацию атомов углерода в главной цепи начинают с того конца цепи, ближе к которому расположена старшая группа. Если данных возможностей оказывается несколько, то нумерацию проводят таким образом,

---

<sup>1</sup> IUPAC - The **International Union of Pure and Applied Chemistry** (Международный союз теоретической и прикладной химии). Синяя книга (*Blue Book*) – Правила номенклатуры органических соединений. Все изменения в данном документе публикуются в журнале «*Pure and Applied Chemistry*».

чтобы либо кратная связь, либо другой заместитель, имеющийся в молекуле, получили наименьший номер.

Таблица 7.

***Префиксы и суффиксы для обозначения некоторых  
характеристических групп***

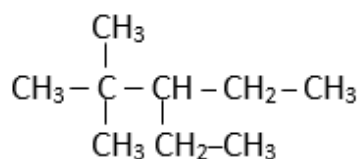
Характеристическая группа	Префикс	Суффикс
$-(C)OON^*$	—	<u>-овая кислота</u>
$-COOH$	<u>карбокци-</u>	-карбоновая кислота
$-SO_3H$	<u>сульфо-</u>	-сульфо кислота
$-(C)H=O^*$	<u>оксо-</u>	-аль
$-CH=O$	<u>формил-</u>	<u>-карбальдегид</u>
$>C=O$	<u>оксо-</u>	-он
$-OH$	<u>гидрокси-(окси-)</u>	<u>-ол</u>
$-SH$	<u>меркапто-</u>	<u>-тиол</u>
$-NH_2$	<u>амино-</u>	амин
$-NO_2$	нитро-	—
$-OR$	<u>алкокси-</u>	—
$-F, -Cl, -Br, -I (-Hal)$	фтор-, хлор-, бром-, <u>иод-</u> (галоген-)	—

\*Атом углерода, заключенный в скобки, входит в состав главной углеродной цепи.

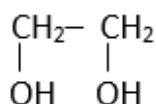
В общем случае названия молекул органических соединений в рамках номенклатуры ИЮПАК выражают при помощи сложных слов-названий, включающих следующие фрагменты:

- 1) обозначение основных углеродных цепей  $C_n$ :  $C_1$  – мет,  $C_2$  – эт,  $C_3$  – проп, и т. д.;
- 2) обозначение боковых цепей – углеводородных радикалов с помощью суффикса -ил- (метил, этил, пропил, фенил, бензил и др.);
- 3) обозначение характера связи между атомами углерода: ан – одинарная, ен – двойная, ин – тройная;
- 4) обозначение характеристических групп с помощью приставок (префиксов) или суффиксов (окси или ол – OH);
- 5) умножающие приставки -ди, -три, -тетра, -пента и т. д., указывающие на число одинаковых структурных фрагментов.;
- 6) локанты – цифры или буквы, указывающие порядок соединения составных частей формулы;
- 7) разделительные знаки – дефисы, запятые, скобки.

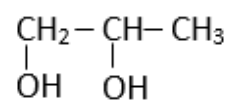
Примеры составления названий органических веществ:



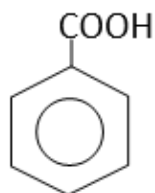
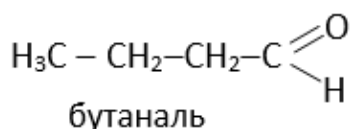
2, 2-диметил-3-этилпентан



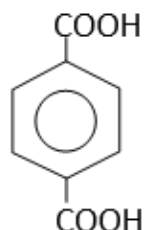
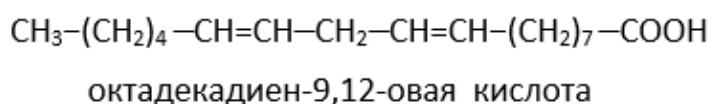
этандиол-1,2



пропандиол-1, 2



бензолкарбоновая кислота



1,4-бензолдикарбоновая  
кислота

Правилами ИЮПАК допускается также использование тривиальных названий важнейших и широко известных органических веществ (например, ацетон, уксусная кислота, формальдегид и др.).

## § 1.5. Типы реакций в органической химии

**Химические реакции** – это процессы, при которых происходит перераспределение электронной плотности, образующей 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».

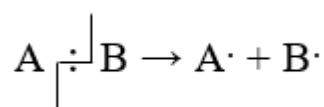
Под **механизмом реакции** подразумевают способ разрыва имеющихся валентных связей и образование новых, а также совокупность состояний, через которые проходят реагирующие вещества.

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

а) **Гомолитические** (радикальные) реакции – разрыв кова-

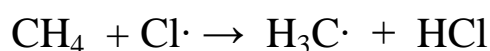
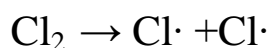


лентной связи происходит таким образом, что каждый из первоначально связанных атомов сохраняет один из обобществленных электронов:



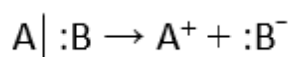
Частица с неспаренным электроном называется **свободным радикалом**.

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 радикальной реакции является взаимодействие хлора с метаном на свету:



Реакции радикального замещения часто носят цепной характер.

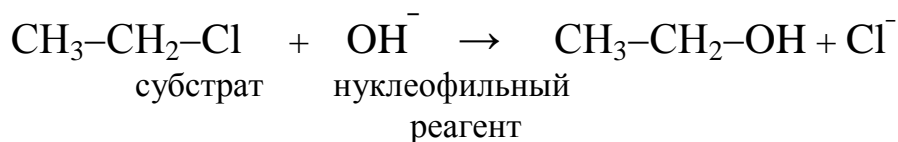
б) **Гетеролитические** (ионные) реакции – разрыв ковалентной связи происходит так, что оба связывающих электрона остаются у одного из первоначально связанных атомов:



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

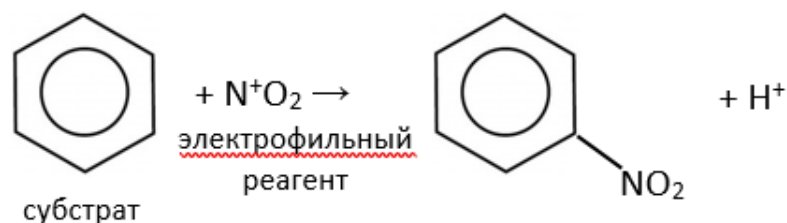
Гетеролитические реакции различают по виду действующей частицы (реагента). **Нуклеофил** - это частица, имеющая свободную пару электронов на внешнем энергетическом уровне, за счет которой она способна образовывать новую ковалентную связь:  $I^-$ ,  $OH^-$ ,  $\ddot{N}H_3$ ,  $CN^-$ ,  $H_2\ddot{O}$ ,  $RO^-$ ,  $RCOO^-$ ,  $C_2H_5\ddot{O}H$ . Реакции с участием таких частиц называются нуклеофильными.

В качестве примера нуклеофильной реакции можно привести замещение галогенов в молекулах галогенпроизводных угле-

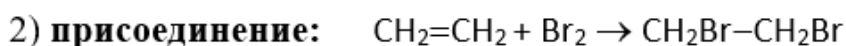
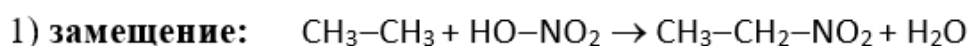


водородов:

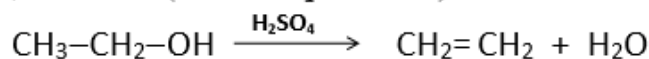
**Электрофил** – частица с электронным дефицитом, имеющая незаполненный валентный электронный уровень:  $\text{H}^+$ ,  $\overset{+}{\text{N}}\text{O}_2$ ,  $\overset{+}{\text{S}}\text{O}_3\text{H}$ ,  $\text{R}-\overset{+}{\text{C}}=\text{O}$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{BF}_3$ . Электрофил предоставляет вакантные орбитали для образования связи. Реакции с реагентами такого типа называют электрофильными. Реакции электрофильного замещения характерны для ароматических углеводородов, например, нитрование бензола.



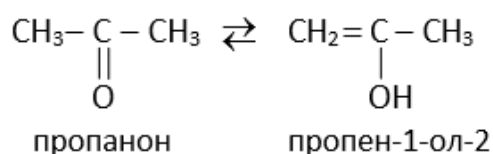
Кроме того, в органической химии реакции часто классифицируют так же, как и в неорганической химии – по структурному признаку. В органической химии все структурные изменения рассматривают относительно атома (или атомов) углерода. Наиболее часто встречаются следующие типы превращений:



3) **отщепление (элиминирование):**



4) **перегруппировка (изомеризация):**



Большое значение имеют также процессы окисления и восстановления. Под **окислением** понимают такие реакции, в кото-

рых 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.



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К §§1.1-1.5

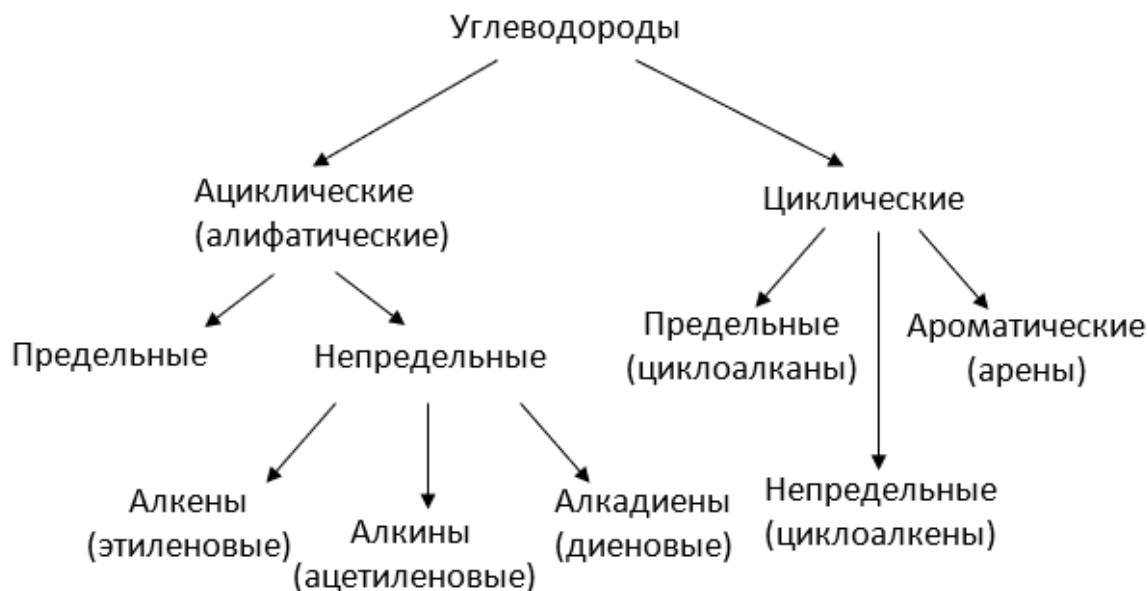
1. Как расположены электроны по энергетическим уровням и подуровням в атоме углерода? Почему в атоме углерода возможно распаривание  $2s$ -электронов?
2. Почему атом углерода проявляет валентность, равную четырем?
3. Какие соединения являются предметом изучения органической химии?
4. Что понимают под строением вещества? Сформулируйте основные положения теории строения А. М. Бутлерова.
5. Дайте определение, что такое изомерия?
6. Какие типы связей характерны для органических молекул?
7. Назовите основные типы органических реакций, приведите соответствующие примеры.
8. Какая группа атомов называется функциональной группой?
9. Перечислите основные классы органических соединений, приведите примеры.
10. Приведите определение гомологического ряда.
11. По названию изобразите структурные формулы следующих веществ: 2-метилбутан; 2,2-дихлорпропанол-1; 3-бромбутанон-2; 3,3-диметилпентаналь; бутен-2-овая кислота; 2-гидроксипропановая кислота.

## 2 ОСНОВНЫЕ КЛАССЫ

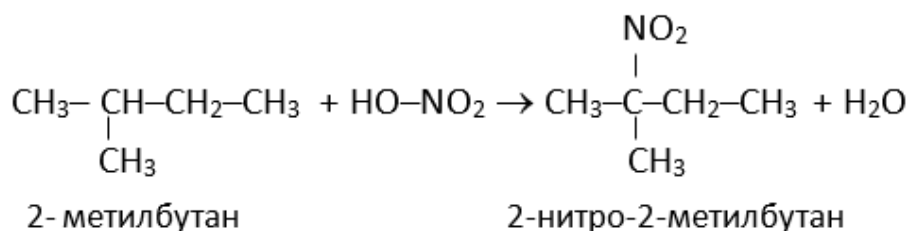
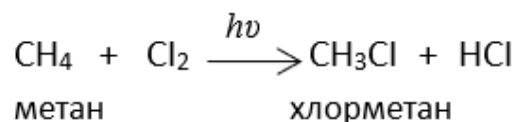
# ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

## §2.1 Углеводороды

Классификацию углеводородов можно представить в виде следующей схемы:



**Алканы (парафины)** – углеводороды общей формулы  $C_nH_{2n+2}$ , в молекулах которых атомы углерода связаны между собой  $\sigma$ -связью, а остальные их валентности предельно насыщены атомами водорода. Отсюда другое название алканов – предельные углеводороды. Первым представителем данного гомологического ряда является метан  $CH_4$ . Наиболее характерными для алканов являются реакции замещения:



В реакциях замещения один или несколько атомов водорода замещаются на другие отдельные атомы или функциональные группы без разрыва  $\sigma$ -связей.

**Алкены (олефины)** относятся к непредельным углеводородам общей формулы  $C_nH_{2n}$ . В молекуле алкена кроме  $\sigma$ -связей содержится одна  $\pi$ -связь. Первый представитель гомологического ряда – этилен  $C_2H_4$ , поэтому алкены называют также «**этиленовыми углеводородами**».

**Диеновые** углеводороды содержат в молекуле две двойные связи. Общая формула  $C_nH_{2n-2}$ . Первым представителем ряда является бутадиен  $CH_2=CH-CH=CH_2$ .

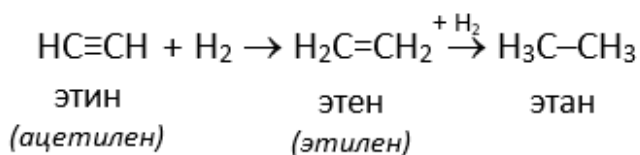
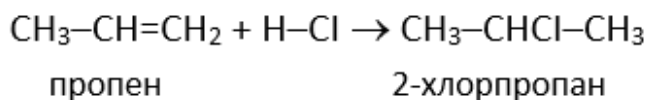
**Алкины** – углеводороды общей формулы  $C_nH_{2n-2}$ , молекулы которых содержат тройную связь. Первый представитель гомологического ряда – ацетилен  $C_2H_2$ , поэтому алкины называют также «**ацетиленовыми углеводородами**».

Молекулы **циклоалканов** содержат циклы разной величины, атомы углерода в которых связаны между собой только  $\sigma$ -связью. Общая формула  $C_nH_{2n}$ .

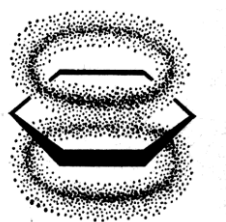
**Циклоалкены** содержат одну двойную связь и имеют общую формулу  $C_nH_{2n-2}$ .

Углеводороды, имеющие кратные (двойные и тройные) связи, легко вступают в реакции присоединения по месту разрыва  $\pi$ -связей.

Примеры реакций присоединения:



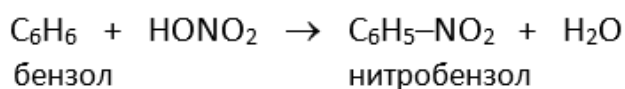
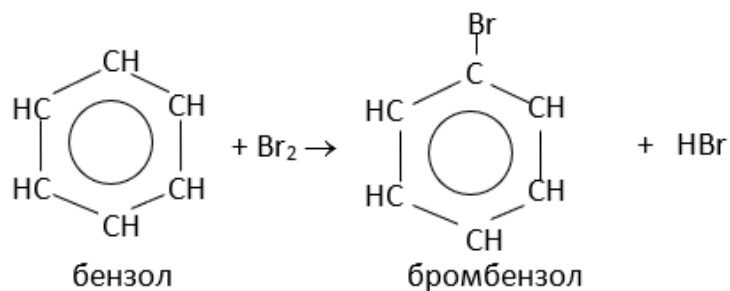
**Ароматические углеводороды (арены)** – углеводороды общей формулы  $C_nH_{2n-6}$ . Первые представители ароматических углеводородов были выделены из природных источников и обладали своеобразным запахом, поэтому и получили название «ароматические». Важнейшим представителем ароматических углеводородов является бензол  $C_6H_6$ . В молекуле бензола шесть атомов углерода, соединяясь  $\sigma$ -связями, образуют правильный шестиугольник. В результате сопряжения шести свободных  $p$ -электронов образуется единое  $\pi$ -электронное облако (сопряжение) над и под плоскостью кольца из  $\sigma$ -связей:



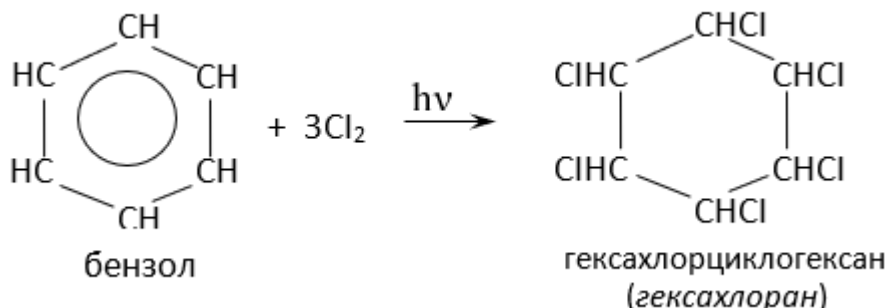
*Рисунок 11. Электронное строение молекулы бензола*

Сопряжение придает особую прочность молекуле бензола (бензольному ядру) и обуславливает его специфическую реакционную способность, т.е. устойчивость к действию окислителей и большую склонность к реакциям замещения. Данные свойства сопряженных систем (в частности бензола и его гомологов) в современной органической химии отражает термин «ароматичность».

Примеры замещения атомов водорода в бензольном кольце:



В реакции присоединения бензол вступает только в очень жестких условиях (высокая температура, катализаторы, УФ излучение), например:



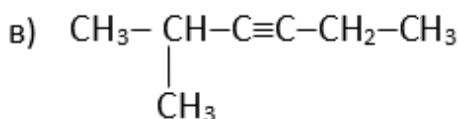
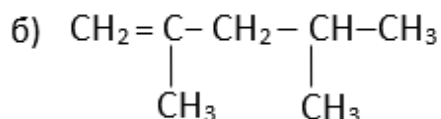
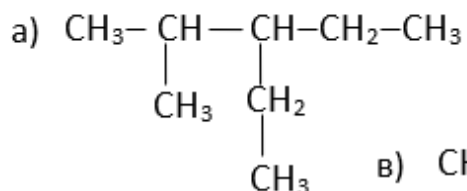
## ? КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ К §2.1

1. Какие органические соединения называются углеводородами?
2. Какие вещества называются гомологами? Приведите примеры.
3. Как классифицируют углеводороды? Приведите формулы низших гомологов алкенов, дайте их названия.
4. Запишите формулы следующих соединений:
  - а) 2,5-диметилпептан;
  - б) 2,3-диметил-5-этилгептен-1;

в) 2,5-диметилгексен-3.

5. Что называется радикалами? Напишите формулы и названия радикалов, которые можно вывести из первых трех предельных углеводородов.

6. Дайте название следующим углеводородам:



7. Какой тип реакций характерен для предельных углеводородов – алканов? Приведите примеры.

8. В какие реакции вступают непредельные углеводороды (алкены и алкины)? Приведите примеры.

9. Что в органической химии подразумевают под термином «ароматичность»?

10. Чем обусловлена высокая химическая стойкость бензольного ядра?

11. Какие реакции типичны и протекают легче для бензола и его гомологов? Приведите примеры.

## КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИЕ СОЕДИНЕНИЯ

### §2.2 Спирты и фенолы

**Спирты** – это производные углеводородов, содержащие одну или несколько гидроксильных групп – OH.

По типу углеводородного радикала R, связанного с гидроксильной группой, различают: предельные, непредельные и ароматические спирты.



По **атомности**, т.е. по числу гидроксильных групп, спирты делятся на одноатомные, двухатомные (гликоли), трехатомные (глицерины) и многоатомные.

## **Одноатомные спирты**

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

Предельные спирты. Общая формула  $C_nH_{2n+1}OH$ .

Важнейшие представители одноатомных спиртов:

$CH_3OH$  – метиловый спирт (метанол)

$CH_3-CH_2OH$  – этиловый спирт (этанол)

$CH_3-CH_2-CH_2OH$  – н-пропиловый спирт (пропанол-1) (первичный)

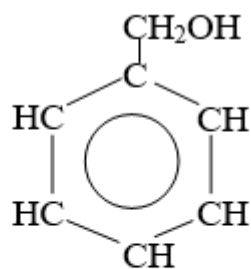
$CH_3-CH(OH)-CH_3$  – изопропиловый спирт (пропанол-2) (вторичный)

Непредельные спирты

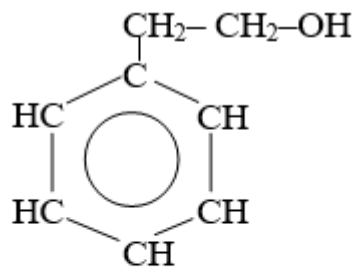
$CH_2=CHOH$  –виниловый спирт (этенол)

$CH_2=CH-CH_2OH$  –аллиловый спирт (пропенол)

Ароматические спирты



бензиловый спирт  
(фенилметанол)



фенилэтиловый спирт  
(2-фенилэтанол)

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

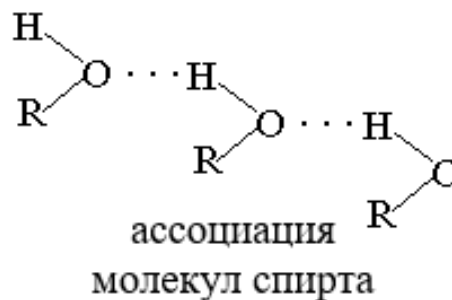
### Предельные одноатомные спирты

**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.

### Физические свойства

Низшие гомологи спиртов - бесцветные жидкости с характерным запахом, растворимые в воде, средние (до  $C_{11}$ ) – жидкости, высшие спирты – твердые вещества, не растворимые в воде.

Температура кипения спиртов выше, чем у соответствующих углеводородов. Так, метан – газ, кипит при  $-162^{\circ}C$ , метиловый спирт – жидкость,  $T_{кип}=64,7^{\circ}C$ . Это объясняется тем, что молекулы спиртов, так же как молекулы воды, ассоциированы между собой за счет водородных связей ( на рис. обозначаются в виде трёх точек).

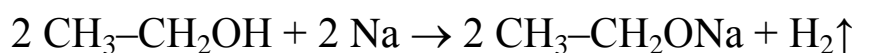


**Водородная связь** – это вид связи, которая образуется в результате донорно-акцепторного взаимодействия подвижного атома водорода (акцептора) с неподелённой парой электронов электроотрицательного атома кислорода, азота и др. (донора), см. стр.36.

### 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):



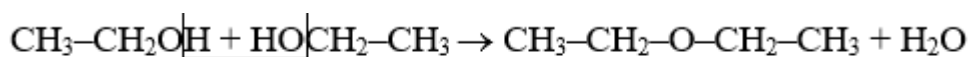
этиловый

этилат натрия

спирт

2. Образование эфиров:

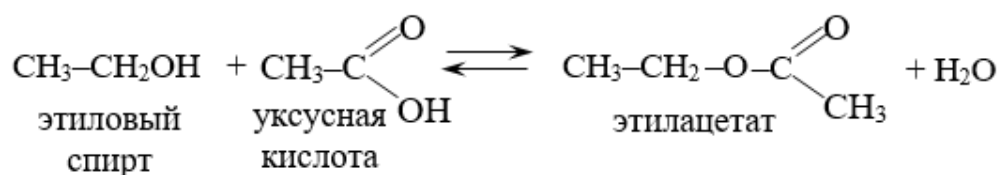
- a) образование простых эфиров (**межмолекулярная дегидратация**):



этиловый спирт

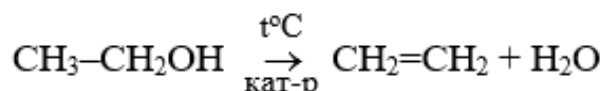
диэтиловый эфир

- b) образование сложных эфиров (**реакция этерификации**):

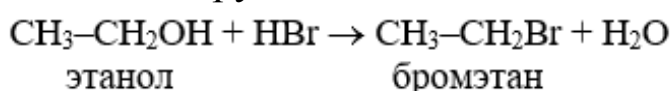


Обратная реакция называется **реакцией омыления**.

3. Дегидратация спиртов (внутримолекулярная дегидратация):

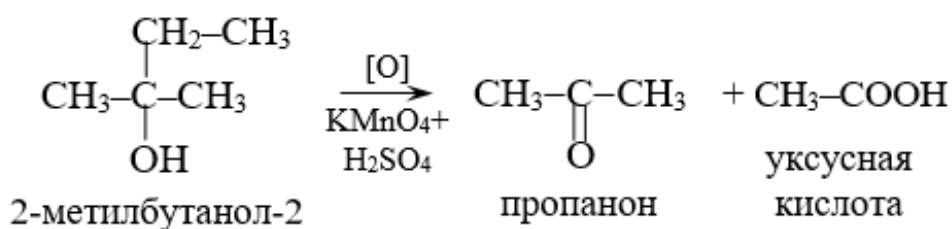
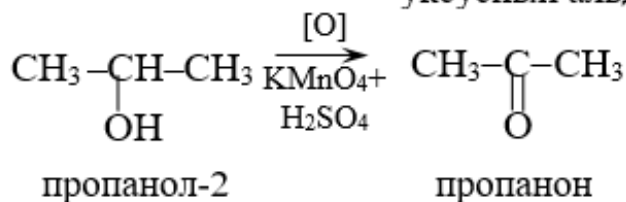
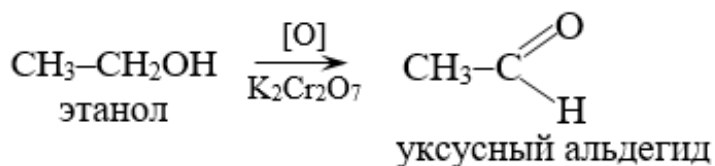


4. Реакция замещения OH-группы:



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 предельных одноатомных спиртов 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. Спирт–ректификат содержит 4 % воды, т.е. 96 %. Промышленное значение этанола очень велико. Он широко применяется в медицине для создания препаратов на основе спиртовых растворов и экстрактов, используется в качестве ингредиента в пищевой промышленности, парфюмерии, прежде всего как растворитель, а также для получения синтетического каучука, лаков, красок и т.д.

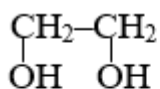
Пропиловые и бутиловые спирты входят в состав «сивушных масел», применяются в качестве растворителей и в органическом синтезе.

### Ароматические спирты

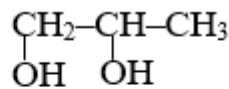
Наиболее важным из ароматических спиртов является бензиловый спирт ( $C_6H_5-CH_2-OH$ ). Он применяется в парфюмерии.

### Многоатомные спирты

Двухатомные спирты (гликоли, диолы) содержат две гидроксильные группы. Наиболее часто встречаются и применяются 1,2-диолы.



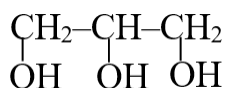
этиленгликоль  
(этандиол-1,2)



пропиленгликоль  
(пропандиол-1, 2)

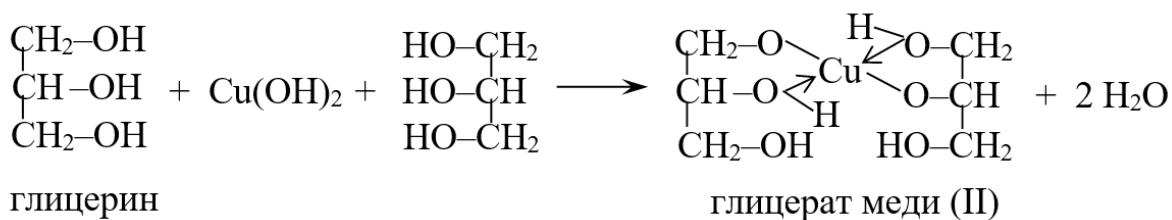
Этиленгликоль – вязкая, сладкая на вкус, **очень ядовитая** жидкость. Он применяется в технике для приготовления антифризов, используемых для охлаждения автомобильных и авиационных двигателей, а также для получения синтетического волокна «лавсана».

**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.

Глицерин проявляет общие свойства спиртов, т.е. образует простые и сложные эфиры, окисляется по стадиям, взаимодействует с основаниями тяжелых металлов, проявляя кислотные свойства. Качественной реакцией на глицерин является его взаимодействие в щелочной среде со свежесоздавшимся гидроксидом меди (II) с образованием ярко-синего раствора комплексного соединения – глицерата меди (II).



Пятиатомный спирт ксилит  $\text{HOCH}_2\text{---(CHON)}_3\text{---CH}_2\text{OH}$  и шестиатомный спирт сорбит  $\text{HOCH}_2\text{---(CHON)}_4\text{---CH}_2\text{OH}$  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 гидроксильную группу. По количеству гидроксильных групп различают одноатомные, двухатомные и трехатомные фенолы.

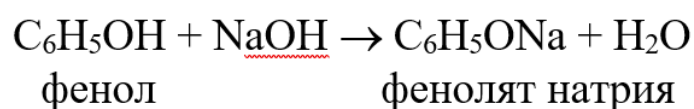
### **Физические свойства**

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

### **Химические свойства**

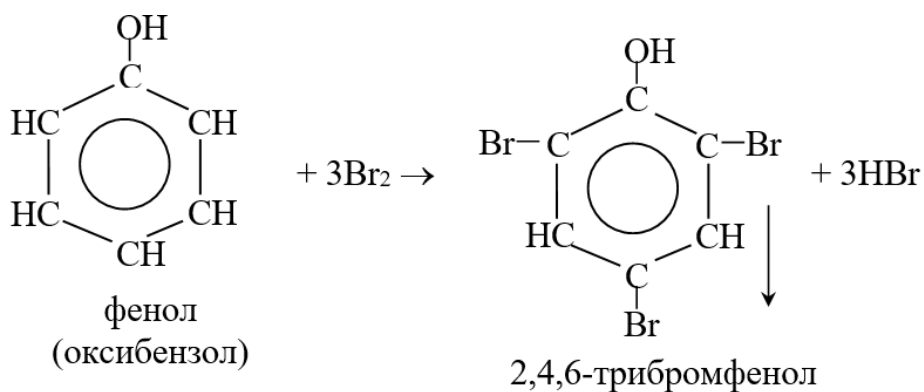
В молекуле фенола наблюдается взаимное влияние гидроксильной группы и ароматического кольца друг на друга. Под влиянием бензольного кольца увеличивается подвижность атома водорода в гидроксильной группе, т.е. усиливаются кислотные свойства.

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

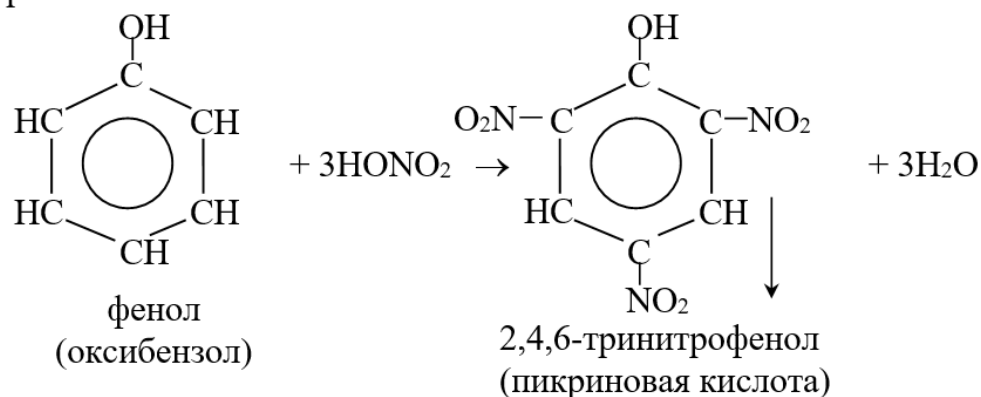


2. Реакции замещения (происходят в орто- и пара-положения).

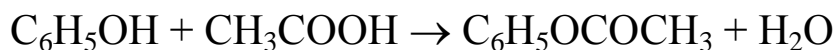
а) бромирование (образуется белый осадок):



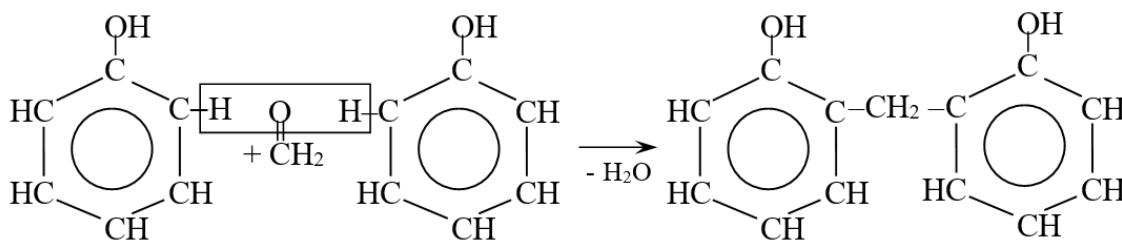
б) нитрование:



#### 4. Реакция этерификации:



5. Конденсация с формальдегидом с образованием фенолформальдегидных смол:



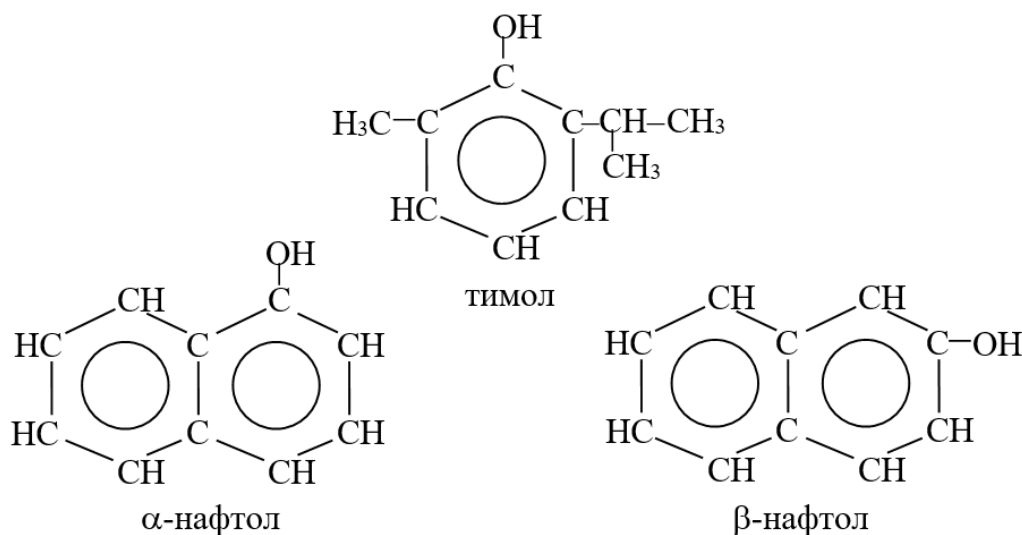
### Важнейшие представители и их применение

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



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 (α- и β-) являются основой витаминов группы К, применяются в производстве красителей, антисептиков и регуляторов роста растений.

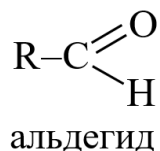


## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ К §2.2

1. Какие органические соединения называются спиртами?
2. На какие группы делятся спирты? Приведите примеры.
3. Запишите схемы реакций, характерные для одноатомных спиртов.
4. Какая реакция называется реакцией этерификации?
5. Где используется этиловый спирт?
6. Чем отличаются одноатомные спирты от многоатомных?
7. Какое биологическое значение имеет глицерин?
8. Какие соединения называют фенолами?
9. С какой целью применяются фенолы?

## § 2.3 Альдегиды и кетоны

**Альдегиды и кетоны** являются производными углеводородов, 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.

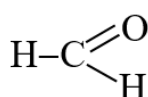


Группа  $-\text{C}=\text{O}$  называется альдегидной группой,

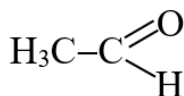
группа  $-\text{C}-$  называется кетонной группой.

Альдегиды и кетоны различают по типу углеводородного радикала R.

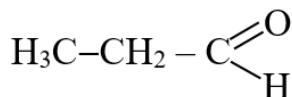
### Предельные альдегиды и кетоны:



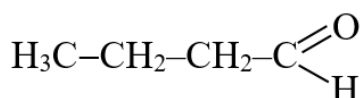
муравьиный альдегид (метаналь)



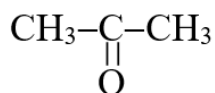
уксусный альдегид (этаналь)



пропионовый альдегид (пропаналь)



масляный альдегид (бутаналь)



ацетон, диметилкетон (пропанон)

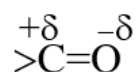
Тривиальные названия альдегидов соответствуют названиям кислот, в которые они окисляются. Названия кетонов складываются из названий радикалов и слова «кетон» (рациональная номенклатура). По номенклатуре ИЮПАК наличие альдегидной группы обозначается окончанием «аль», наличие кетонной группы – окончанием «-он». Названия по номенклатуре ИЮПАК приведены выше в скобках.

### Физические свойства

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

### Химические свойства

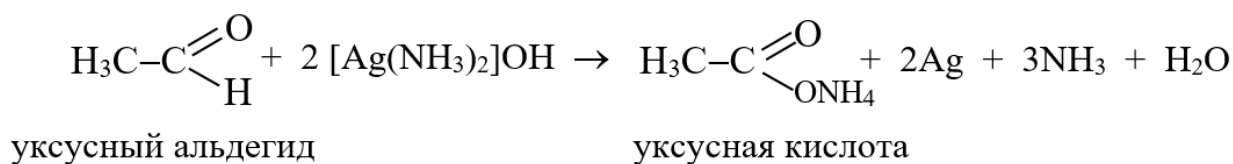
Альдегиды и кетоны – самые реакционноспособные органические соединения, т.к. содержат активную полярную карбонильную группу:



Поэтому они вступают во все типы органических реакций: окисления, присоединения, замещения, полимеризации и поликондесации. Причем альдегиды активнее, чем кетоны менее реакционноспособны из-за влияния второго радикала.

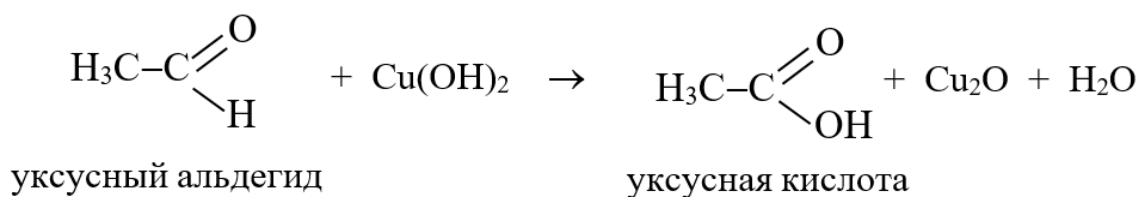
#### 1. Реакции окисления

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



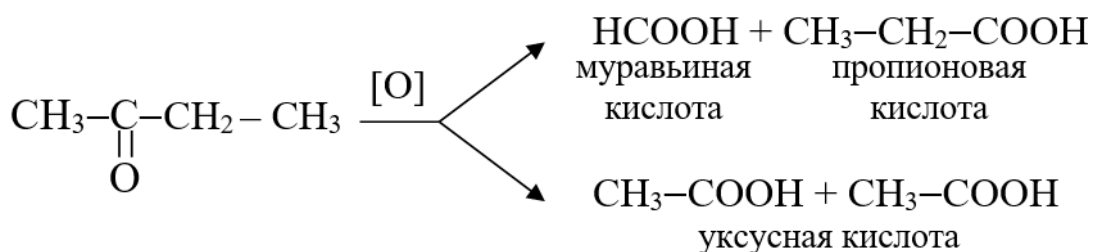
Эта реакция называется «реакцией серебряного зеркала», является качественной **на альдегидную группу** и позволяет установить ее наличие в альдегидах и других природных соединениях.

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



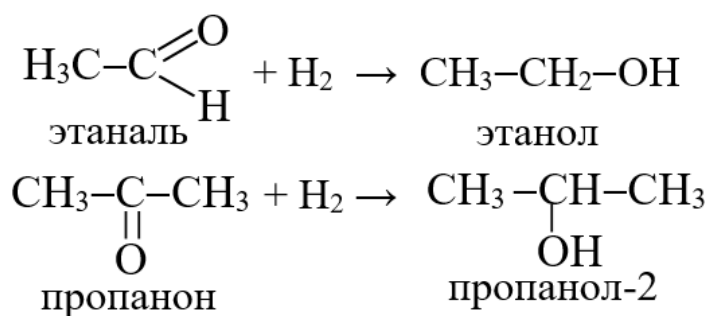
**Эти две реакции являются качественными для альдегидов, кетоны в данные реакции не вступают!**

Кетоны окисляются только сильными окислителями с разрывом углеродной цепи и образованием кислот или кетонов (в зависимости от разветвленности углеводородной цепи) с меньшим числом углеродных атомов:

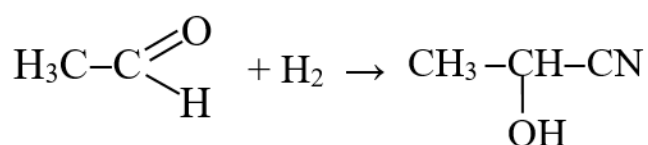


2. Реакции присоединения происходят за счет разрыва двойной связи в карбоксильной группе:

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

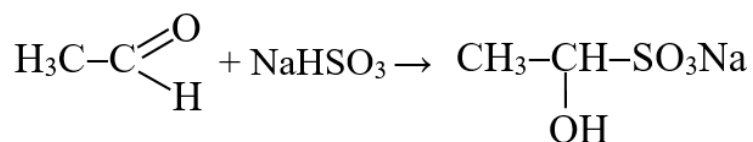


б) присоединение синильной (циановодородной) кислоты с образованием оксинитрилов. При этом водород направляется к кислороду карбонильной группы, а нитрильная группа – к углероду. Это пример нуклеофильного присоединения:



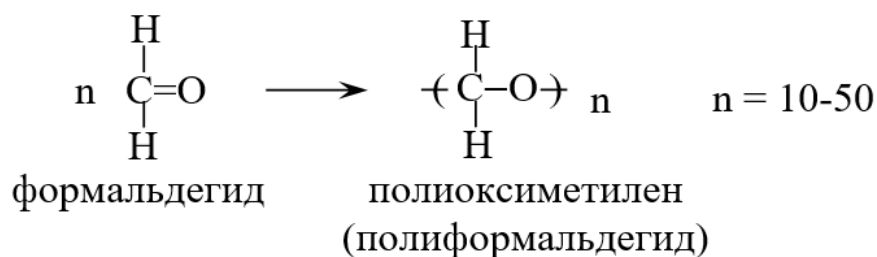
В результате данной реакции образуется нитрил 2-гидроксипропановой кислоты.

в) присоединение гидросульфита натрия:



В результате образуются соли сульфокислоты. Этим методом устанавливают содержание альдегидов и кетонов (оксосоединений) в пищевых продуктах.

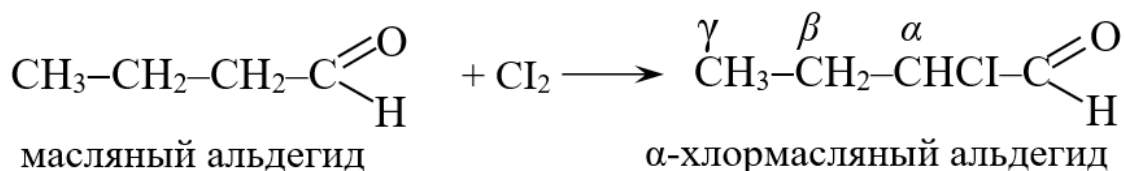
3. Реакция полимеризации (характерна только для альдегидов):



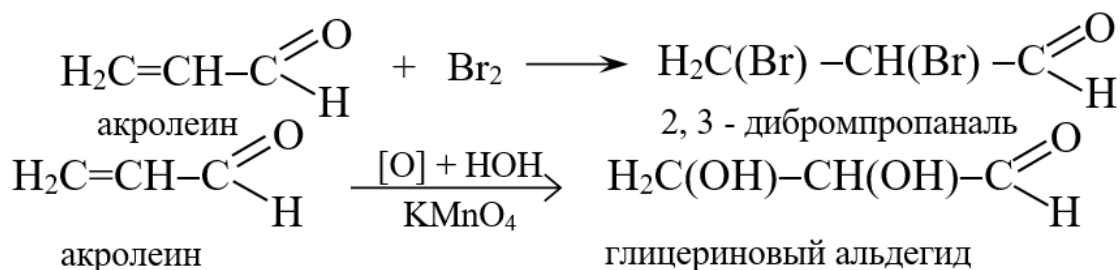
Кроме реакций полимеризации альдегиды, а также кетоны, вступают в реакции поликонденсации, также образуя полимеры, при этом в отличие от реакций полимеризации выделяется низкомолекулярный продукт (вода, аммиак и др.). О поликонденсации и полимеризации более подробно упомянуто в разделе «Полимеры».

#### 4. Реакции с участием углеводородного радикала:

а) замещение атома водорода на галоген, под влиянием карбонильной группы увеличивается подвижность водорода в  $\alpha$ -положении:



б) реакции на двойную связь для непредельных альдегидов и кетонов, аналогично алкенам происходит обесцвечивание растворов брома и перманганата калия:



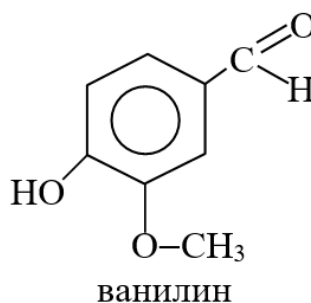
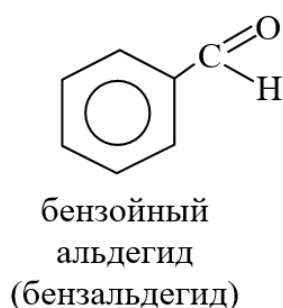
### **Представители альдегидов и кетонов и их применение**

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 (см. раздел «Полимеры»), пластмасс, лекарственных препаратов.

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

Бензойный альдегид ( $C_6H_5COH$ , соединение, где в бензоле один атом водорода замещён на альдегидную группу) – жидкость с запахом горького миндаля, применяется для синтеза красителей, душистых и лекарственных веществ, а также в кондитерской промышленности в виде производного ванилина:



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



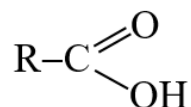
### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ К §2.3

1. Какая группа называется карбонильной?
2. Чем отличаются альдегиды и кетоны? Приведите примеры.
3. Составьте формулы следующих соединений:
  - а) 2-метилбутаналь; б) 2,5-диметилпентанон-3.
4. Какие типы реакций характерны для альдегидов и кетонов? Приведите три примера уравнений реакций.

- Запишите формулу метанала. Что такое формалин, где он применяется?
5. Запишите формулу ацетона. Где он применяется?
  6. С помощью каких реакций можно отличить альдегид от кетона? Напишите уравнения данных реакций.
  7. Приведите формулу известного вам ароматического альдегида.
  8. Какой ароматический альдегид используется при производстве кондитерских изделий?

## § 2.4 Карбоновые кислоты

**Органическими, или карбоновыми кислотами** называются соединения, содержащие карбоксильную группу ( $-\text{COOH}$ ):



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

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

**По наличию другой функциональной группы** кроме карбоксильной, различают гетерофункциональные кислоты, например, оксикислоты, содержат группы  $-\text{COOH}$  и  $-\text{OH}$ , аминокислоты  $-\text{COOH}$  и  $-\text{NH}_2$  и др.

### Предельные одноосновные кислоты

Формула гомологического ряда предельных одноосновных карбоновых кислот  $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COOH}$ .

Отдельные представители:



$\text{H}-\text{COOH}$	муравьиная (метановая) кислота
$\text{CH}_3-\text{COOH}$	уксусная (этановая) кислота
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{COOH}$	пропионовая (пропановая) кислота
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$	масляная (бутановая) кислота
$\text{C}_{15}\text{H}_{31}-\text{COOH}$	пальмитиновая (гексадекановая) кислота
$\text{C}_{16}\text{H}_{33}-\text{COOH}$	маргариновая (гептадекановая) кислота
$\text{C}_{17}\text{H}_{35}-\text{COOH}$	стеариновая (октадекановая) кислота

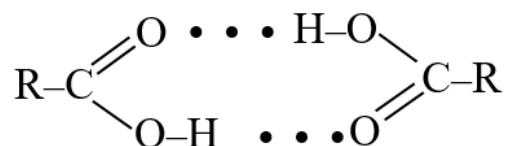
### Номенклатура кислот

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 ( $\text{R}-\text{CO}-$ ) называются ацилами. Например: ( $\text{H}-\text{CO}-$ ) – формил, ( $\text{CH}_3-\text{CO}-$ ) – ацетил. В скобках выше приведены названия кислот по номенклатуре ИЮПАК.

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

### Физические свойства

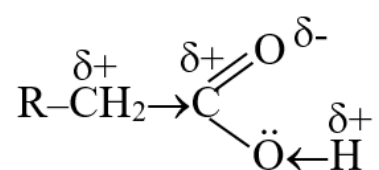
Низшие гомологи кислот – жидкости с резким запахом, растворимые в воде, высшие – твердые вещества, не растворимые в воде. Молекулы кислот ассоциированы водородными связями в линейные и циклические димеры:



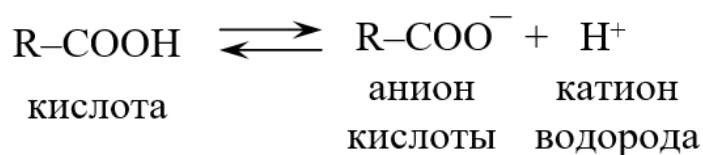
Температуры плавления высших гомологов кислот чередуются в зависимости от числа  $\text{CH}_2$ -групп.

## Химические свойства

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

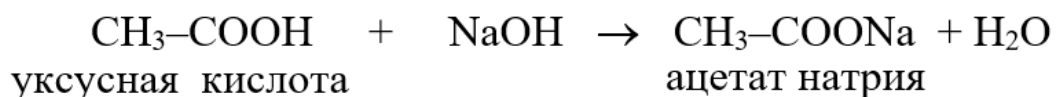


### 1. Диссоциация кислот:

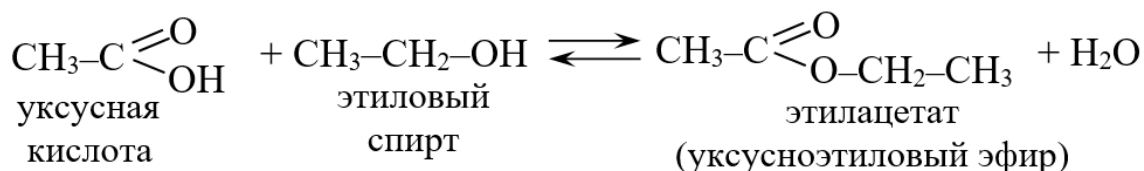


Карбоновые кислоты слабо диссоциированы. Сила кислоты зависит от углеводородного строения и состава радикала R.

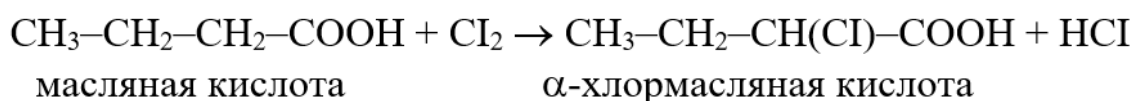
2. Образование солей, соли карбоновых кислот образуются под действием металлов, основных и амфотерных оксидов и гидроксидов:



### 3. Образование сложных эфиров (реакция этерификации):



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



### **Отдельные представители предельных одноосновных карбоновых кислот 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. Это 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 натрия, железа, хрома, свинца, меди).

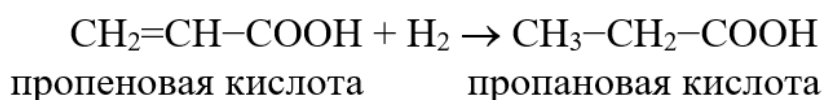
Высшие карбоновые кислоты пальмитиновая, стеариновая – твердые, воскообразные вещества, входят в состав растительных и животных жиров, пчелиного воска, применяются в производстве свечей и мыла.

### Непредельные одноосновные кислоты

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

$CH_2=CH-COOH$	акриловая кислота (пропеновая)
$CH_2=C(CH_3)-COOH$	метакриловая кислота (2-метилпропеновая)
$CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$	октадецен-9-овая кислота (олеиновая)
$CH_3-(CH_2)_4-CH=CH-CH_2-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$	октадекадиен-9,12-овая (линолевая) кислота
$CH_3-(CH_2-CH=CH)_3-(CH_2)_7-COOH$	октадекатриен-9,12,15-овая (линоленовая) кислота

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

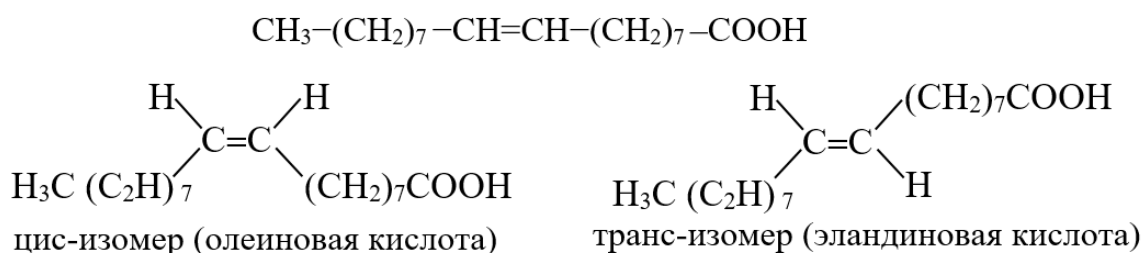


### Отдельные представители и их применение

Акриловая кислота применяется в органическом синтезе для получения синтетического каучука, синтетического волокна и органического стекла. Полиметилметакрилатное стекло (см. раздел

«Полимеры») отличается от обычного силикатного легкостью, прочностью и способностью пропускать УФ-лучи (74% и 3% соответственно.)

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



Линолевая и линоленовая кислоты обладают биологической активностью и входят в состав витамина F.

Высшие непредельные кислоты являются важнейшими компонентами пищи, входят в состав растительных масел и применяются в производстве лаков, красок, олифы.

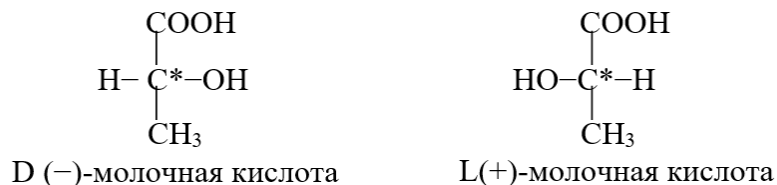
### Оксикислоты

Оксикислоты содержат в молекуле и гидроксильные и карбоксильные группы. Общая формула одноосновных оксикислот  $\text{HO}-\text{R}-\text{COOH}$ . Оксикислоты являются гетерофункциональными соединениями. Для них 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.).

#### Отдельные представители оксикислот и их применение

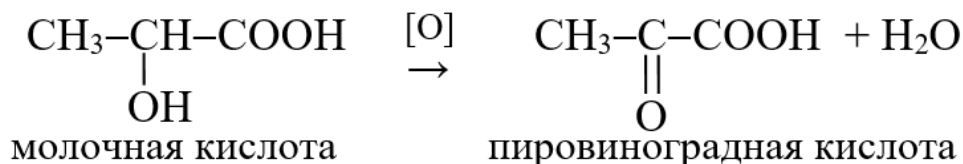
Молочная кислота ( $\alpha$ -оксипропановая) – густая, гигроскопичная жидкость, существует в виде двух оптических изомеров с различным расположением атомов водорода и гидроксильных групп относительно асимметрического атома углерода ( $\text{C}^*$ ). Такие изомеры имеют одинаковые физические и химические свойства и отличаются только 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».



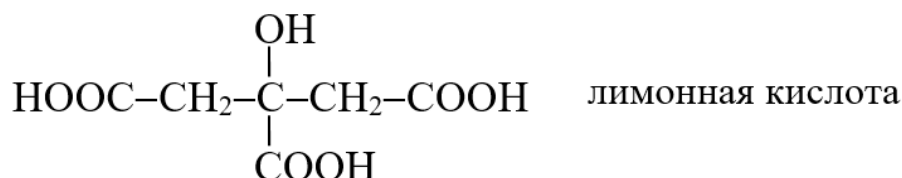
Молочная кислота образуется в результате молочнокислого брожения, которое происходит при скисании молока, квашении капусты, мочении яблок, силосовании кормов, а также при брожении виноградного, свекловичного, тростникового сахаров. Применяется в пищевой, текстильной промышленности, в кожевенном производстве, в медицине.

L (+)-молочная кислота (мясомолочная) имеет важное биологическое значение, содержится в мышцах, печени животных, образуется при расщеплении животного крахмала – гликогена. Большую роль при этом играет процесс окисления молочной кислоты в пировиноградную:



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

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

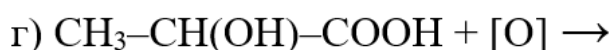
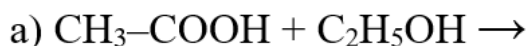


Лимонная кислота – биологически важное соединение, т.к. является промежуточным продуктом окислительного распада углеводов (цикла Кребса). Применяется в медицине, пищевой промышленности (чаще всего как консервант и регулятор pH), текстильной промышленности.



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ К §2.4

1. Какую функциональную группу содержат карбоновые кислоты?
2. Как классифицируются карбоновые кислоты? Приведите примеры.
3. Запишите формулы следующих кислот: уксусная, стеариновая, олеиновая, линолевая, акриловая.
4. Допишите схемы следующих реакций:



5. Приведите структурные формулы молочных и аскорбиновой кислот. Укажите их биологическую роль и области применения.

## § 2.5. Жиры, мыла и воски

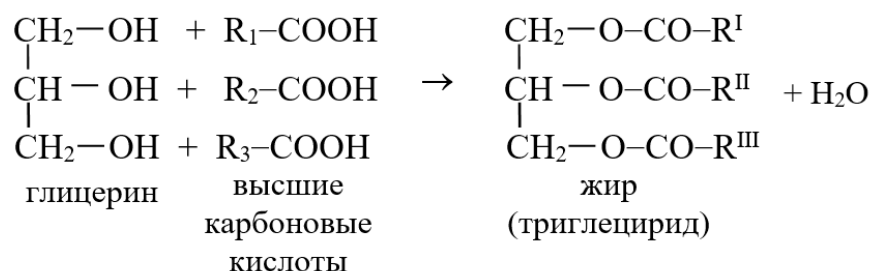
**Жиры** – смеси сложных эфиров трехатомного спирта глицерина и высших карбоновых кислот, называемые триглицеридами.

Жиры являются представителями и составной частью **липидов** – широкой группы органических соединений, включающих жирные кисл

оты, а также их производные (как по радикалу, так и по карбоксильной группе) .

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 жиров

1. По происхождению жиры делятся на *животные и растительные* (масла). К животным 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 большом количестве входят предельные высшие кислоты:

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

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

В составе жидких жиров (растительного происхождения) в большом количестве содержатся непредельные кислоты:

$C_{17}H_{33}-COOH$  олеиновая кислота

$C_{17}H_{31}-COOH$  линолевая кислота

$C_{17}H_{29}-COOH$  линоленовая кислота

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.

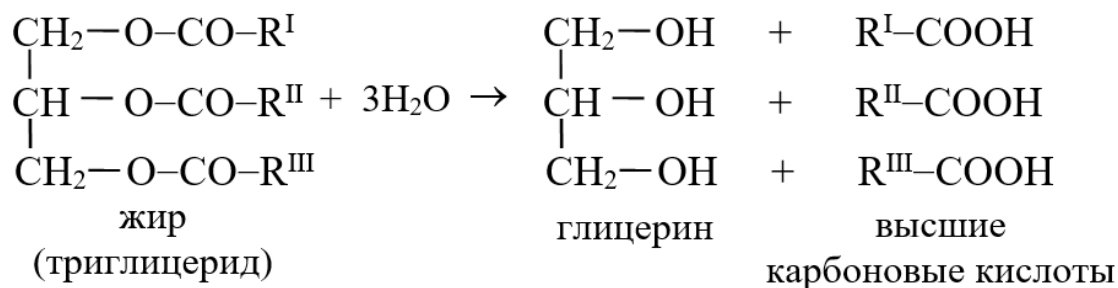
Полувысыхающим являются подсолнечное масло, а невысыхающими – оливковое и миндальное.

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).

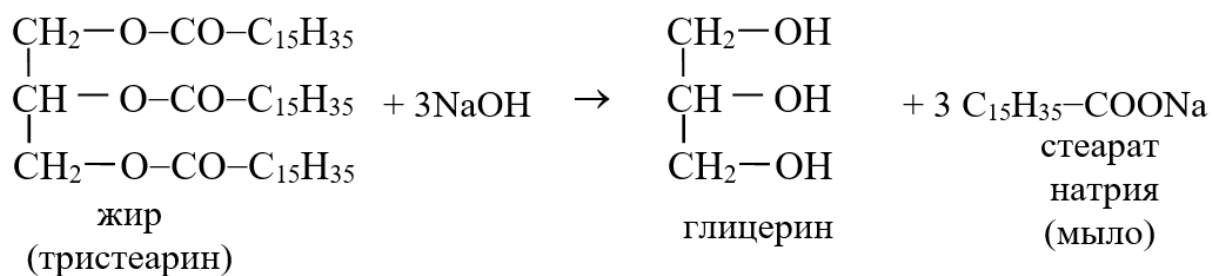
Для характеристики качества жиров используются такие показатели, как **иодное число** (масса иода в граммах, поглощенная 100 г жира), **число омыления** (масса КОН в мг, необходимая для нейтрализации 1 г жира), **кислотное число** (количество свободных кислот, содержащихся в 1 г жира).

## Химические свойства

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



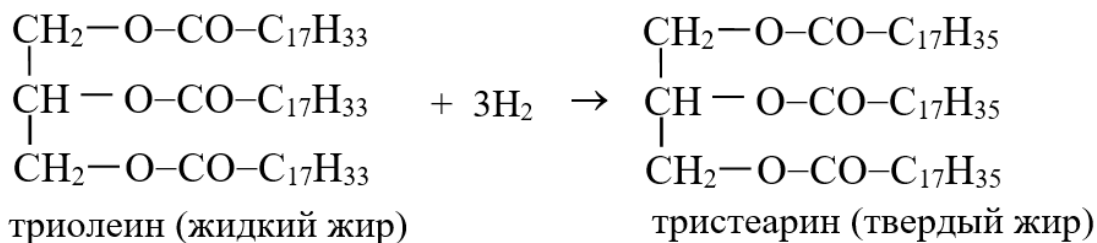
2. Омыление жира (получение мыла из жира):



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

Не следует считать мылами **синтетические моющие средства** (СМС), которые также называются **детергентами**. Они представляют собой натриевые соли эфиров серной кислоты и высших спиртов (главным образом, лаурилового и цетилового) общей формулой  $\text{R-SO}_3\text{Na}$ , где  $\text{R}$  – содержит от  $\text{C}_{10}$  до  $\text{C}_{16}$ .

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



Эта реакция лежит в основе промышленного получения искусственного масла «маргарина». Запах и вкус сливочного масла маргарину придает диацетил ( $\text{CH}_3\text{CO}-\text{COCH}_3$ ).

Кроме того, жиры и масла, содержащие остатки непредельных кислот с двойными связями легко вступают в реакции окисления и присоединения с различными свободными радикалами, что обуславливает их высокую биологическую, в частности антиоксидантную, активность.

## Воски

**Воски** – сложные эфиры высших спиртов ( $\text{C}_{16}-\text{C}_{30}$ ) и высших кислот ( $\text{C}_{24}-\text{C}_{32}$ ). 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.



### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ К §2.5

1. Какие соединения называются жирами?
2. По каким признакам классифицируются жиры? Приведите соответствующие примеры.
3. Какая реакция лежит в основе производства маргарина?
4. Составьте реакцию получения мыла из жира.

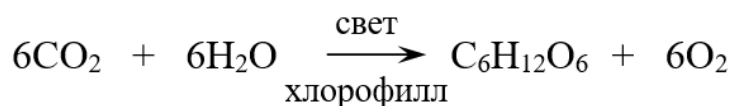
5. Чем мыла отличаются от СМС с точки зрения химического строения?
6. Что такое воски и какова их биологическая роль?

## § 2.6 Углеводы (сахара)

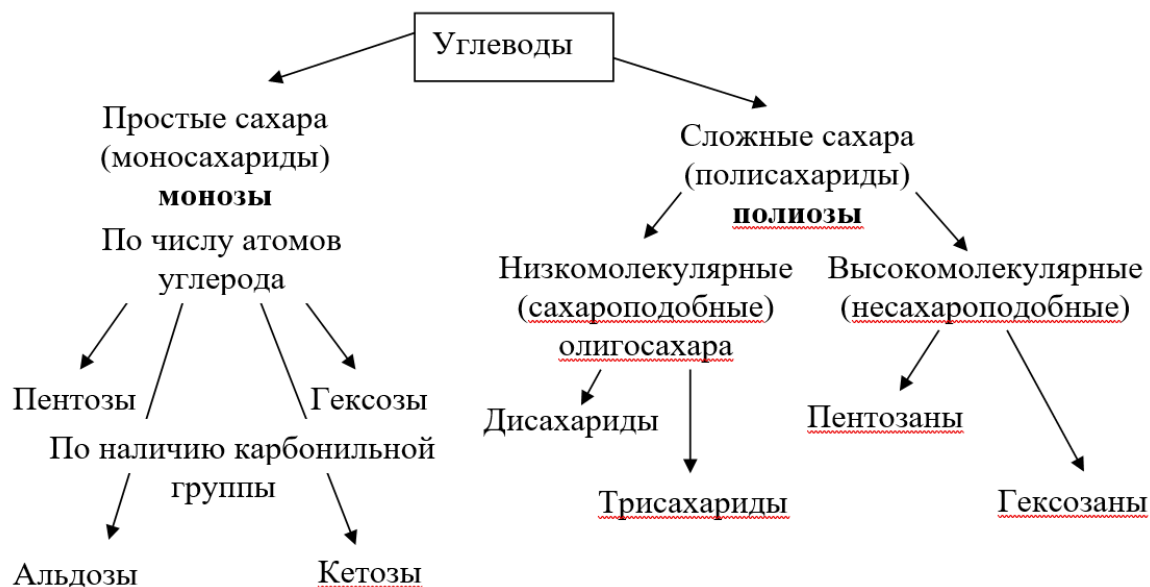
Углеводы – это гетерофункциональные соединения, являющиеся многоатомными альдегидами- и кетонспиртами, содержащие карбонильную и гидроксильные группы.

Сахара – наиболее важные и распространенные в природе органические вещества. Они составляют 80 % массы сухого вещества растений и около 2 % сухого вещества животного организма.

Углеводы образуются в растениях из углекислого газа и воды в процессе фотосинтеза, который происходит под действием солнечного света с участием зеленого пигмента растений – хлорофилла:



**Классификация углеводов** может быть представлена в виде схемы:



### 2.6.1. Моносахариды

#### *Физические свойства моносахаридов*

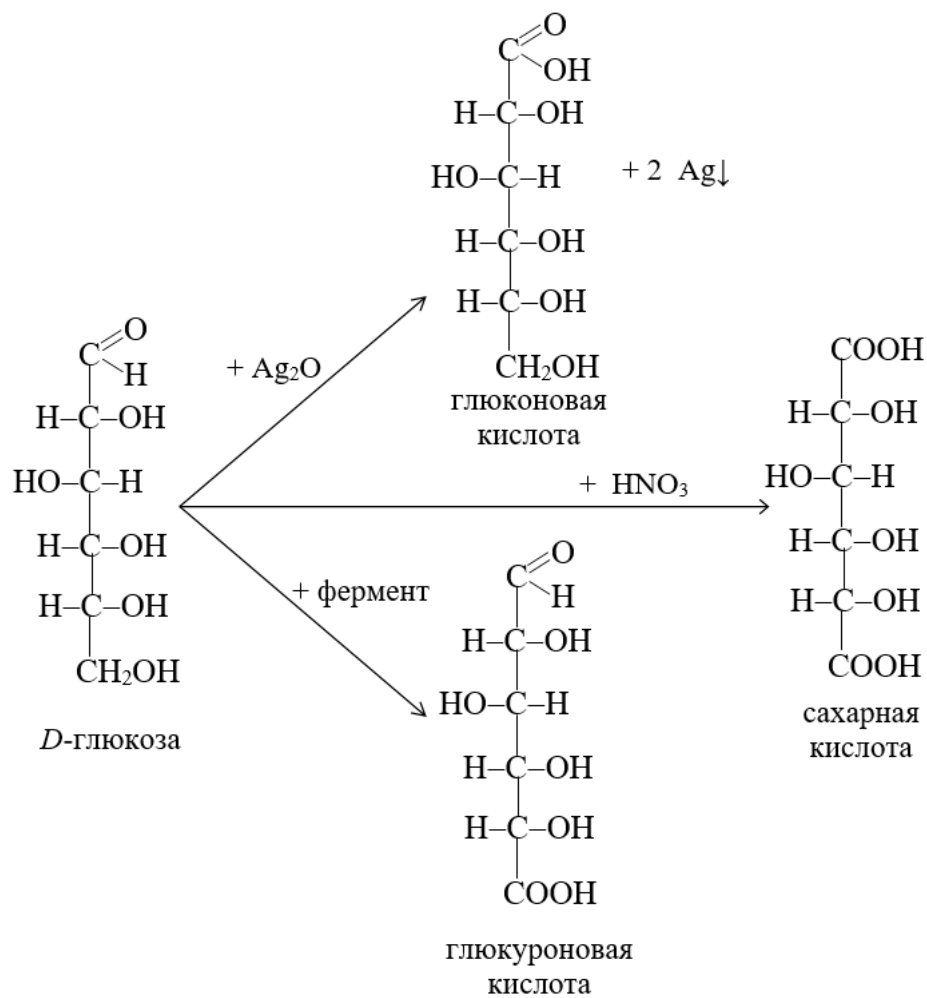
Моносахариды – бесцветные кристаллические вещества, хорошо растворимые в воде, сладкие на вкус. Их растворы оптически активны. Наибольшее значение из гексоз имеют глюкоза и фруктоза, отвечающие общей формуле  $C_6H_{12}O_6$ , из пентоз – рибоза  $C_5H_{10}O_5$  и дезоксирибоза  $C_5H_{10}O_4$ .

### *Химические свойства моносахаридов*

Моносахариды – гетерофункциональные соединения, т.к. содержат разные функциональные группы. Поэтому они проявляют свойства многоатомных спиртов, альдегидов или кетонов.

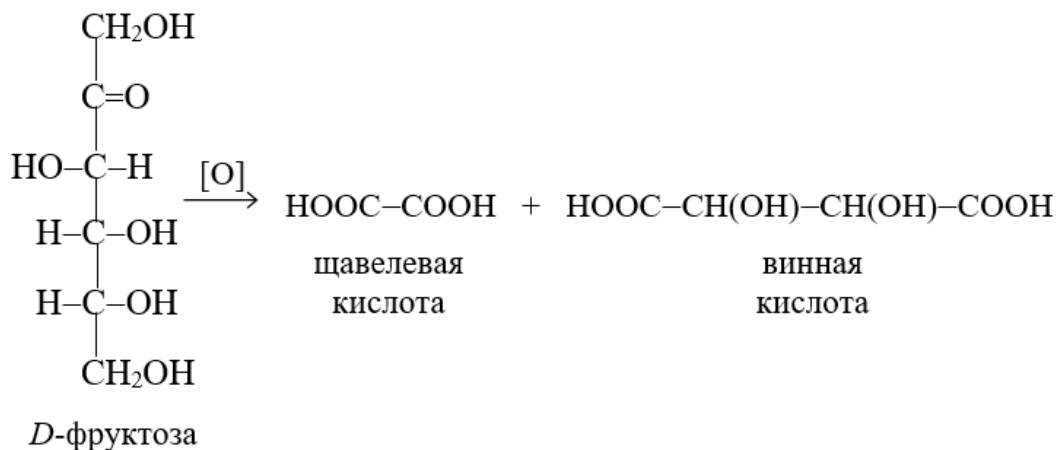
Наиболее важные реакции, характерные для простых сахаров, следующие:

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

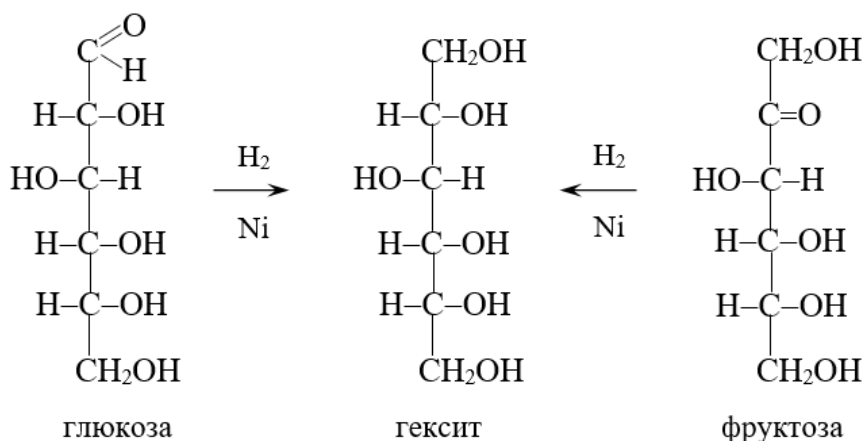


Принадлежность сахаров к так называемому D-ряду определяется расположением гидроксильной группы у последнего асимметрического атома углерода, считая от карбонила, относительно атома водорода. Асимметрические атомы имеют четыре разных заместителя. Данные формулы называются проекционными, или формулами Фишера. В случае принадлежности к D-ряду гидроксильная группа у последнего асимметрического атома углерода условно изображается справа. Большинство природных моносахаридов относятся к D-ряду, L-формы (гидроксил у последнего асимметрического центра слева) животным организмом не усваиваются. Уроновые кислоты играют важную физиологическую роль, содержатся в крови, моче, участвуют в процессах детоксикации в животном организме.

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

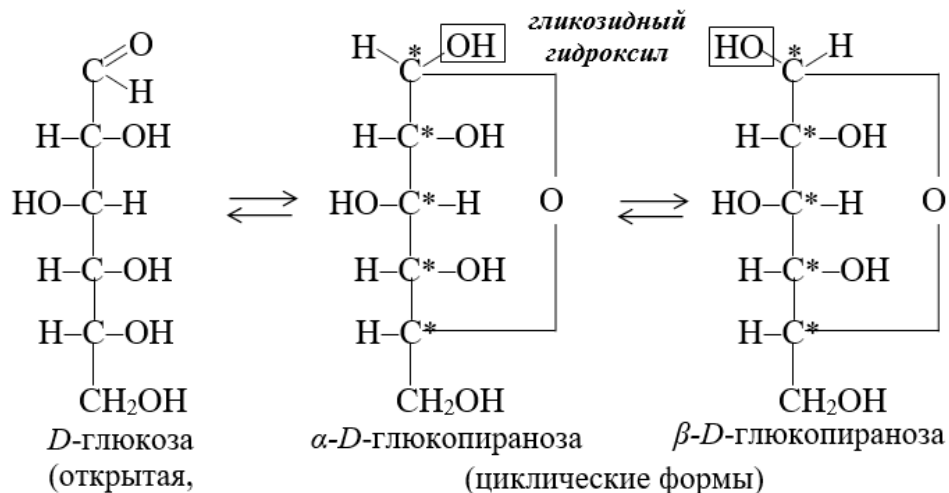


3. Восстановление моносахаридов приводит к образованию многоатомных спиртов. Так, при действии водорода из глюкозы и фруктозы образуется один и тот же спирт:



4. Таутомерные превращения. **Таутомерия** – это вид структурной изомерии, при котором вещество способно существовать в двух или более формах, легко взаимно переходящих друг в друга.

Было установлено, что моносахариды в растворе способны существовать в двух формах: открытой (альдегидной или кетонной) и циклической, находящихся в равновесии. Циклизация моносахаридов происходит в результате присоединения атома водорода гидроксильной группы при пятом атоме углерода  $\text{C}_5$  (реже при  $\text{C}_4$ ) к кислороду альдегидной группы за счет разрыва  $\pi$ -связи. Одновременно оставшийся кислород гидроксильной группы замыкает с атомом углерода карбонильной группы шестичленный или пятичленный цикл. Например:



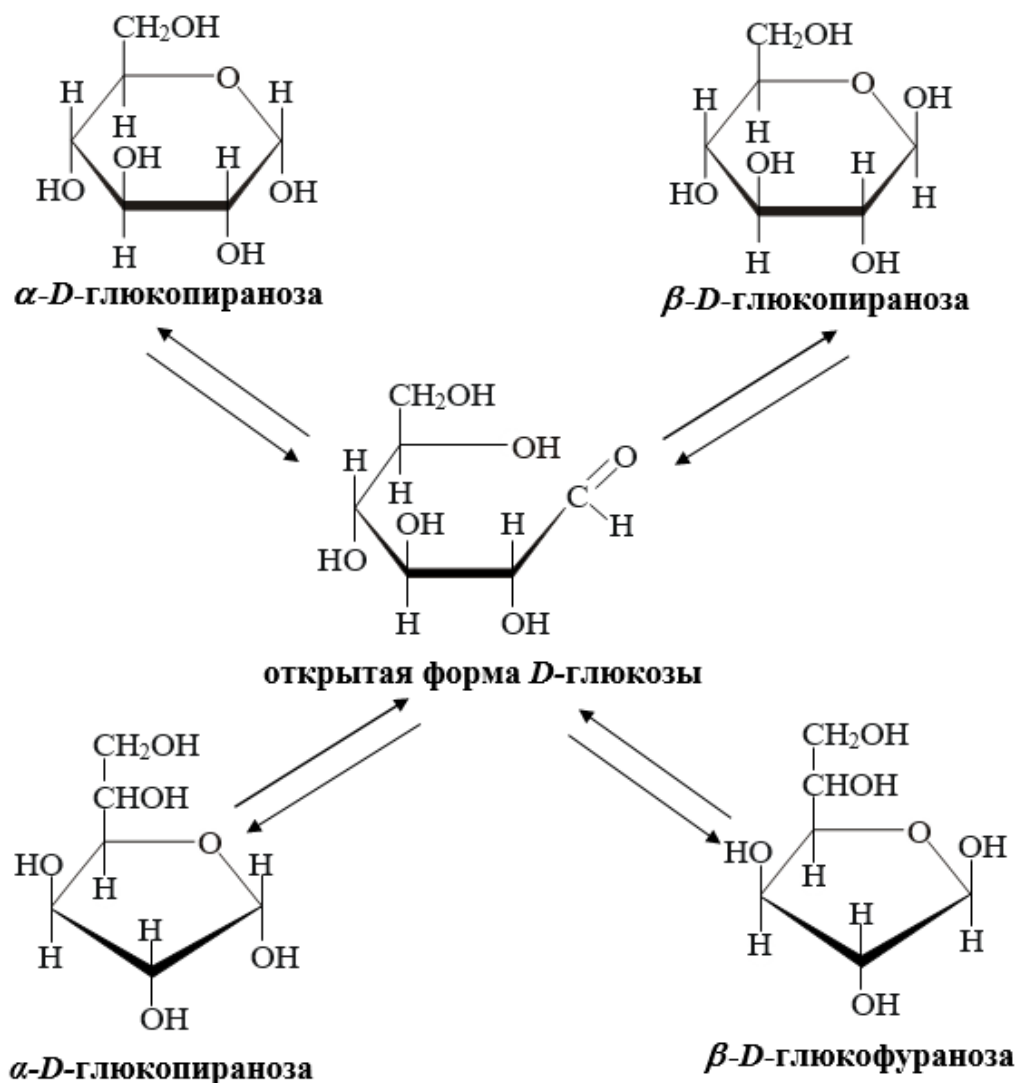
Таким образом, в молекуле появляется новая **наиболее реакционноспособная** гидроксильная группа – «гликозидный гидроксил» и еще один асимметрический атом углерода. В результате возникают две циклические формы  $\alpha$  и  $\beta$ , отличающиеся только расположением гликозидного гидроксила. В  $\alpha$ -форме он располагается справа, а в  $\beta$ -форме – слева.

Циклические формы могут содержать шестичленное кольцо и называются «**пираноза**» и пятичленный цикл и называется «**фураноза**».

Строение пираноз и фураноз можно изобразить также «перспективными» формулами Хеуорса. Атомы водорода и гидроксильные группы, расположенные в проекционных формулах относительно асимметрических атомов углерода справа, здесь изображают под плоскостью кольца. Таким образом, гликозидный гидроксил располагается под плоскостью кольца в случае  $\alpha$ -формы и над плоскостью – для  $\beta$ -формы (см. рис. ниже).

### Таутомерные превращения глюкозы:



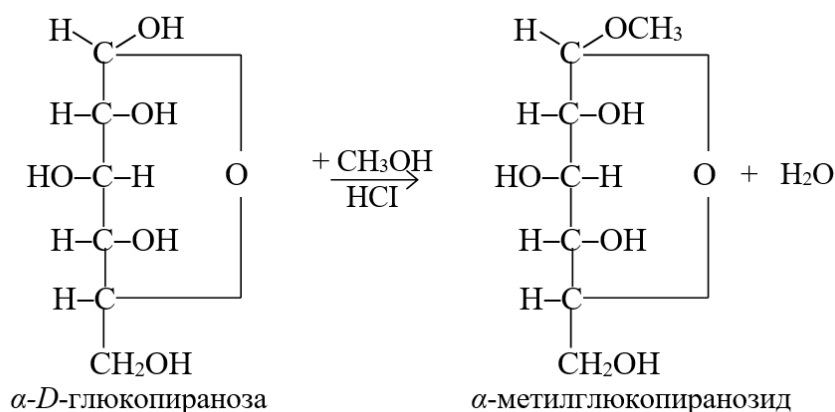


**В кристаллическом состоянии и в концентрированных растворах молекулы моносахарида имеют циклическое строение, а в разбавленном растворе существуют в виде таутомерного равновесия. Аналогичный процесс происходит и с фруктозой, которая чаще имеет фуранозную форму.**

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

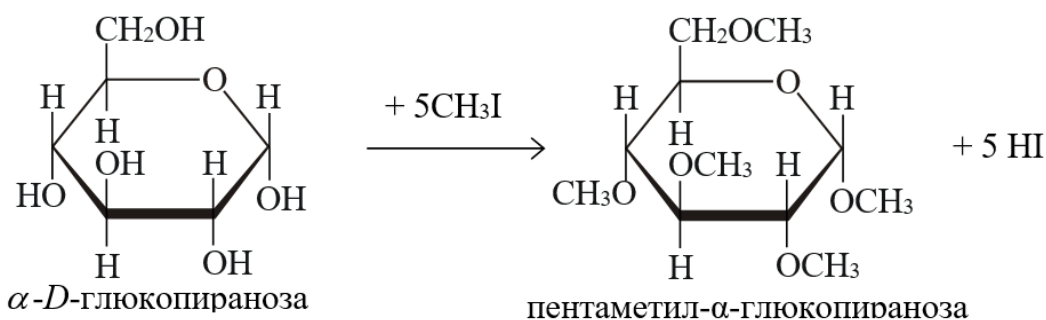
## 5. Образование простых и сложных эфиров.

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

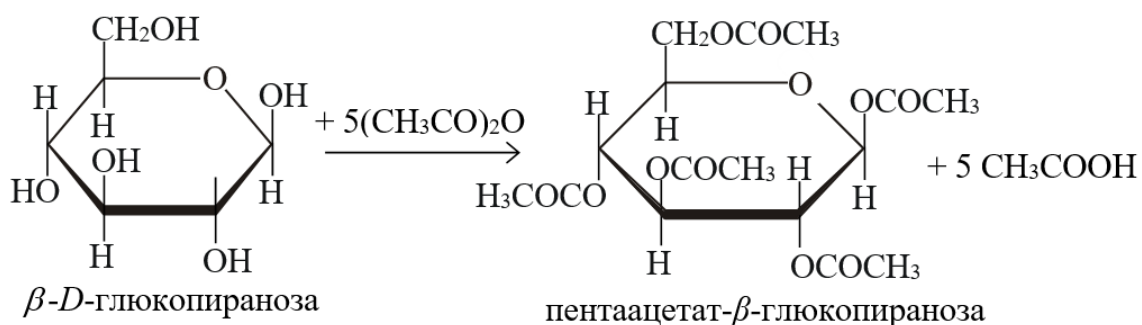


Гликозиды играют важную роль в природе и применяются для лечения сердечно-сосудистых заболеваний.

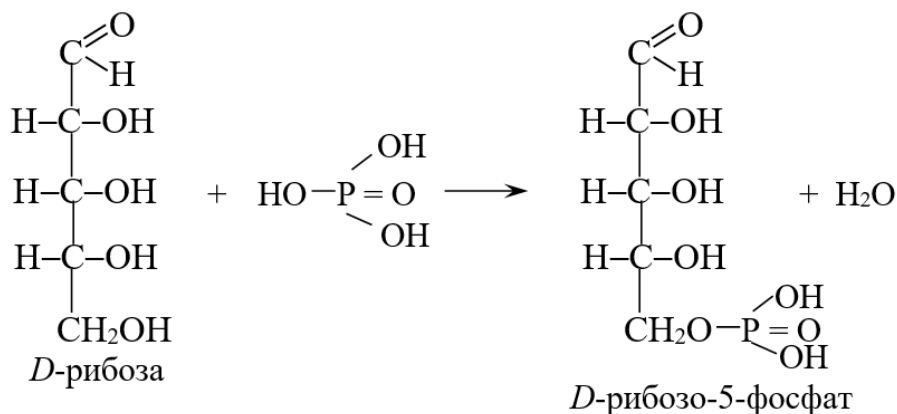
б) Алкилирование моносахаридов под действием галогенпроизводных предельных углеводородов приводит к образованию полных (с участием всех гидроксиллов) простых эфиров:



в) Образование сложных эфиров происходит под действием ацилирующих средств, например, уксусного ангидрида (соединения, полученного путём отщепления молекулы воды от двух молекул уксусной кислоты, такие соединения легче вступают в реакцию этерификации, чем собственно кислоты):

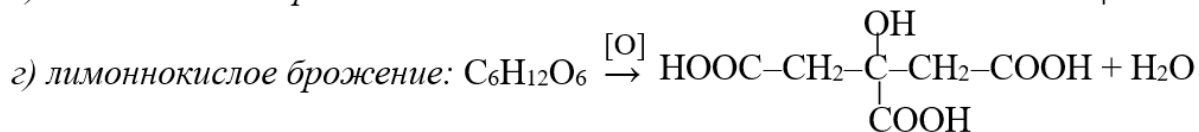
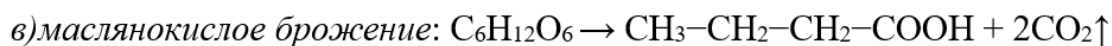
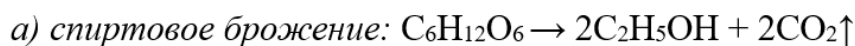


г) Образование сложных эфиров идет и с минеральными кислотами. Наибольшее биологическое значение имеют фосфорные эфиры сахаров, которые входят в состав нуклеиновых кислот, участвуют в процессах фотосинтеза, дыхания и др. Например:



### 1. 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:



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

### Важнейшие представители моноз и их применение

Глюкоза (виноградный сахар) – наиболее распространена в природе, содержится в соке винограда и других плодов, 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 орга-

низме. Она применяется в медицине, в производстве аскорбиновой кислоты, в кондитерской и текстильной промышленности.

Фруктоза (плодовый сахар) – одна из важнейших гексоз, встречается в природе вместе с глюкозой, входит в состав тростникового и свекловичного сахара, полисахарида – инулина, меда.

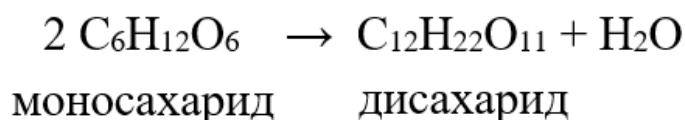
Мёд – густая сладкая жидкость, представляющая собой переработанный пчелами нектар цветов. Мед содержит около 74% моносахаридов, из них 35 % глюкозы и около 40% фруктозы, а также сахарозу, оксикислоты (яблочную, молочную, лимонную), витамины и другие вещества.

Фруктоза применяется в медицине и пищевой промышленности.

Рибоза и дезоксирибоза участвуют в образовании нуклеиновых кислот, об этих сахарах будет подробно рассказано в параграфе «Нуклеиновые кислоты».

### 2.6.2. Дисахариды

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



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 групп (моноголикозидная связь), в растворе содержат свободную альдегидную группу (или гликозидный гидроксил) и способны восстанавливать слабые окислители, например, аммиачный раствор оксида серебра (вступая в реакцию «серебряного зеркала») или жидкость Фелинга (комплексное соединение двух-

валентной меди с солью винной кислоты). К восстанавливающим дисахаридам относятся: мальтоза, целлобиоза и лактоза.

Мальтоза (солодовый сахар) состоит из двух остатков молекул  $\alpha$ -D-глюкопиранозы. Это кристаллическое вещество, растворимое в воде, образуется при неполном гидролизе крахмала ферментами, которые содержатся в проросших зернах (солоде), применяется в пищевой промышленности.

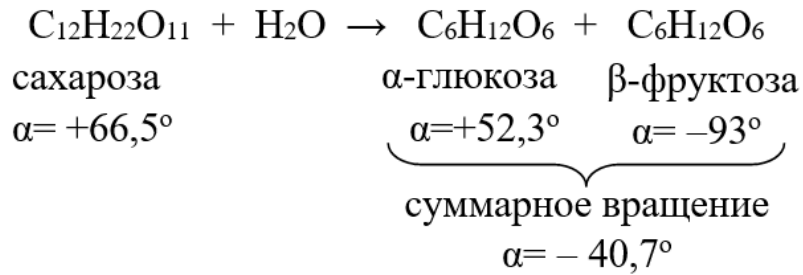
Целлобиоза – дисахарид, образующийся при неполном гидролизе клетчатки (целлюлозы). Ее молекула состоит из двух остатков  $\beta$ -D-глюкопиранозы. Целлобиоза почти не сладкая, не сбраживается и не усваивается организмом человека.

Лактоза (молочный сахар) состоит из остатков  $\beta$ -D-галактопиранозы и  $\beta$ -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.

Невосстанавливающие дисахариды (гликозидгликозиды) образуются в результате отщепления воды из двух гликозидных гидроксильных групп обеих молекул моносахаридов (бигликозидная связь). Важнейшим из этой группы соединением является сахароза.

Сахароза (свекловичный или тростниковый сахар) – кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде, при нагревании выше  $200^{\circ}$  превращается в карамель, не содержит гликозидного гидроксильного остатка, а следовательно, образующуюся из него альдегидную группу, и не восстанавливает оксид серебра и жидкость Фелинга.

Гидролиз сахарозы под действием минеральных кислот или фермента (инвертазы) в организме называется «инверсией». При этом правовращающий раствор сахара превращается в левовращающий.



В результате гидролиза образуется смесь равных количеств глюкозы и фруктозы, которая называется «инвертным сахаром».

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.

**Основы свеклосахарного производства.** При промышленном производстве сахарозы измельченную свеклу обрабатывают горячей водой. Полученный раствор содержит 12-15 % сахара и много примесей (фосфорная, лимонная, щавелевая 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 некристаллизующаяся масса (свекловичная патока), которая используется в кондитерской промышленности и в качестве корма для скота.

Полученная таким образом сахароза представляет собой «сахарный песок», который подвергают дальнейшей очистке пресуют и получают сахар-рафинад.

### 2.6.3. Полисахариды

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

Различают пентозаны ( $C_5H_8O_4$ )<sub>x</sub>, полисахариды построенные из остатков пентоз, и гексозаны ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>x</sub>, 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**

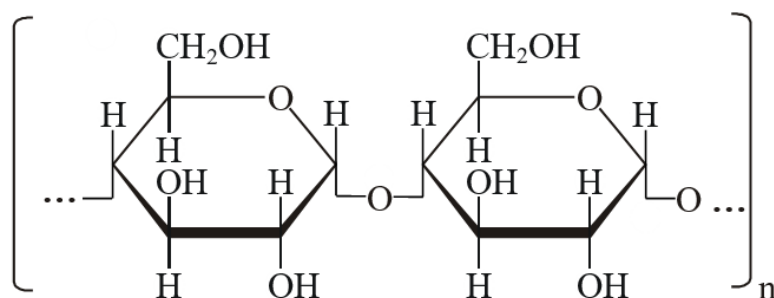
Крахмал образуется в зеленых листьях растений в результате фотосинтеза и, как резервное питательное вещество, накапливается в семенах, клубнях, корнях, тканях. Так, в семенах растений содержится 70-80% крахмала, в клубнях картофеля – 16-19%.

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 α-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 α-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%.

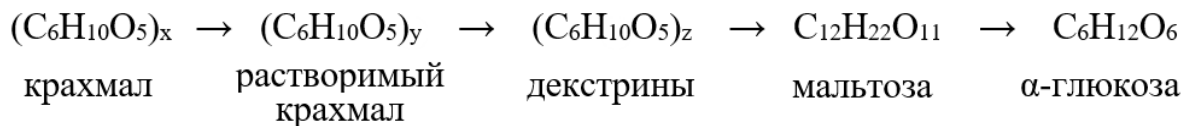
### Свойства крахмала

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

В холодной воде крахмал не растворяется, в горячей 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:



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



Крахмал применяется в кондитерском производстве, в пищевой, микробиологической, текстильной и фармацевтической промышленности.

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 фосфоорилазы 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.

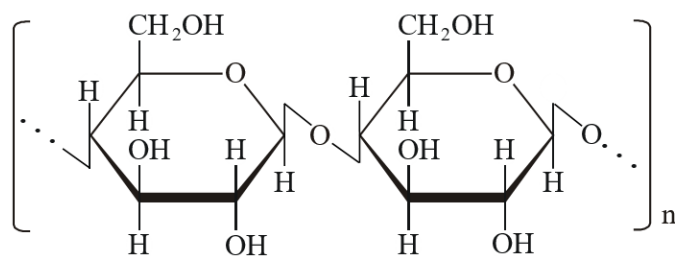
Инулин – питательное вещество некоторых растений, содержится в корнях цикория, клубнях георгина, в топинамбуре (земляной груше), нарциссах и др. Инулин – это полисахарид, состоящий из 35-42 остатков фруктозы, на конце цепи содержит одну молекулу глюкозы.

Инулин легко усваивается человеком и животными. Поэтому многие растения, богатые инулином, используются как кормовые культуры, а также 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 оболочках плодов, овощей, семян, в муке, крупе и т.д.

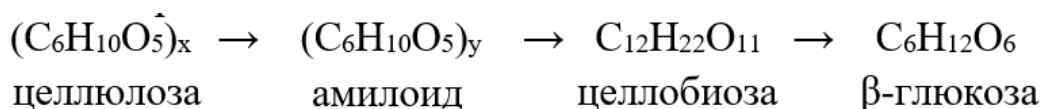
Целлюлоза – это полисахарид с общей формулой  $(C_6H_{10}O_5)_x$ , молекулы которого состоят из остатков  $\beta$ -D-глюкопиранозы, связанных между собой по типу целлобиозы, и имеющий линейное строение:



Число звеньев  $n$  составляет от 1800 до 36000. Клетчатка более устойчива, чем крахмал, 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.

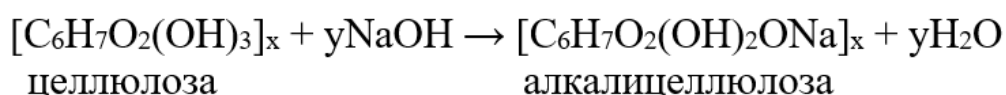
Схема гидролиза клетчатки:



### Химические свойства клетчатки

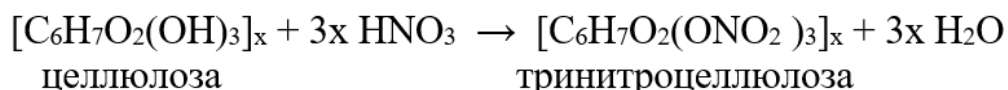
По свойствам клетчатка резко отличается от крахмала, хотя имеет незначительные различия в строении. Клетчатка – волокнистое, прочное вещество, не растворимое в воде, в отличие от крахмала не дает синее окрашивание с йодом, но растворяется в реактиве Швейцера (раствор  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  в концентрированном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

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:

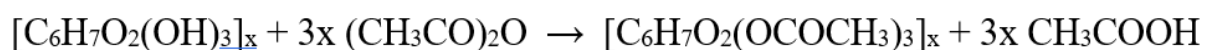


Кроме того, целлюлоза образует простые и сложные эфиры. Наибольшее практическое значение имеют сложные эфиры клетчатки с азотной и уксусной кислотами. Так, моно- и динитроэфи-

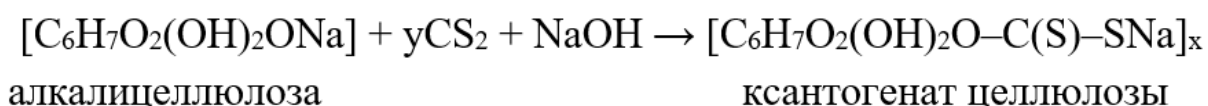
ры применяются в производстве лаков, красок, пластмасс. При действии на клетчатку азотной кислоты в соотношении 1:3 образуется тринитроклетчатка, взрывчатое вещество, которое применяется для изготовления бездымного пороха (пироксилина):



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 (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.

**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).

В химическом отношении пектиновые вещества представляют собой поли-β-галактоуроновую кислоту. В пектине часть карбоксильных групп метилирована, а гидроксильных – ацетилирована.

Пектины обладают желирующей способностью и применяются в кондитерской промышленности (в производстве желе, мармеладов, пастилы), в пищевой промышленности, в медицине (выводят из организма тяжелые металлы и радионуклеиды).



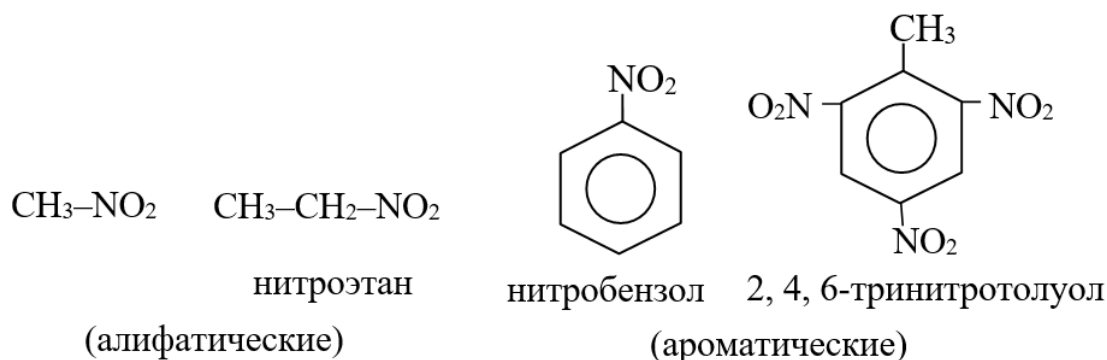
## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ К §2.6**

1. Какие органические соединения называются углеводами, или сахарами?
2. На какие группы делятся углеводы? Приведите примеры.
3. Запишите формулу моносахарида, который содержится в виноградном и других плодовых и ягодных соках.
4. Составьте структурные формулы открытой и циклической форм глюкозы.
5. Какой реакцией можно отличить глюкозу от фруктозы и мальтозу от сахарозы?
6. Как называется сахар, который используется в пище? К какой группе сахаров он относится?
7. Назовите полисахарид, являющийся резервным питательным веществом растений.
8. Какой полисахарид определяет ценность пищевых продуктов животного происхождения?
9. Опишите, где применяется целлюлоза.
10. Из какого полисахарида можно получить натуральные и искусственные волокна?

## **АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ СОЕДИНЕНИЯ**

### **§2.7 Нитросоединения, амины, аминоспирты**

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

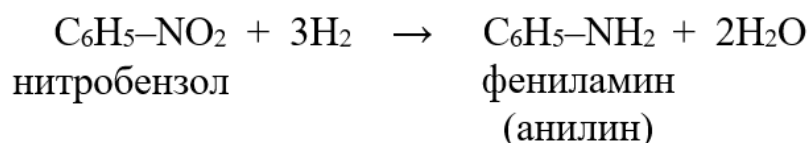


Основным способом получения нитросоединений является реакция нитрования – взаимодействие субстрата с концентрированной азотной кислотой в присутствии концентрированной серной кислоты в качестве катализатора. Данная реакция с разбавленной азотной кислотой при повышенном давлении для алканов называется реакцией Коновалова.

Нитрование ароматических соединений – типичный пример реакции электрофильного замещения.

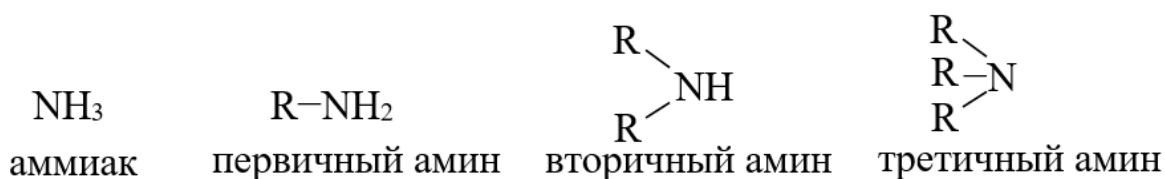
Алифатические нитросоединения – жидкости с приятным запахом, не растворимые в воде. Ароматические нитросоединения – жидкости или твердые вещества с запахом горького миндаля, **ядовиты**.

Наиболее важным химическим свойством нитросоединений является реакция восстановления. При этом нитрогруппа превращается в аминогруппу. Большое промышленное значение имеет восстановление ароматических соединений (по И.Н. Зинину):

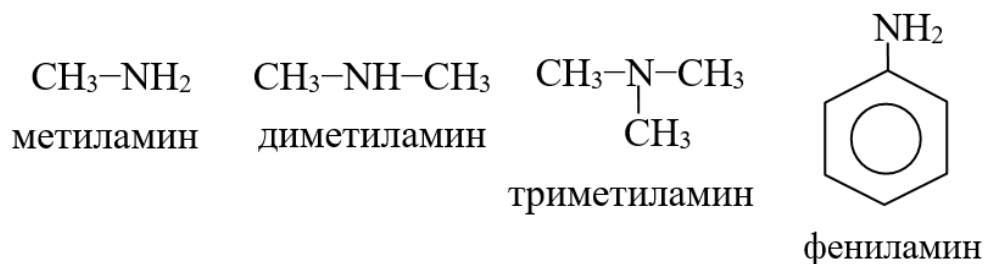


Нитроалканы применяются в основном в качестве растворителей и в производстве зооцидов. Нитробензол служит исходным сырьем в производстве анилина, а на его основе – разнообразных красителей. Тринитротолуол (тол, тротил) широко применяется в качестве взрывчатого вещества и эталона мощности взрыва.

**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 первичной аминогруппой, группа  $>\text{NH}-$  вторичной, или иминогруппой, группа  $\equiv\text{N}-$  третичной аминогруппой.

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.



### Физические свойства

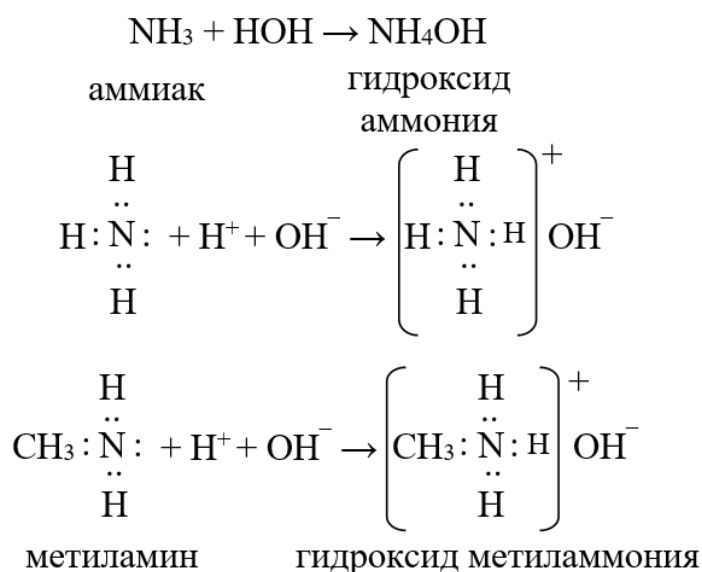
Простейшие амины (моно-, ди- и триметиламины) – газообразные вещества, остальные алифатические амины – жидкости с запахом аммиака, хорошо растворимые в воде. Высшие амины –

твердые вещества, не растворимые в воде. Ароматические амины – жидкости или твердые вещества, слабо растворимые в воде.

### Химические свойства

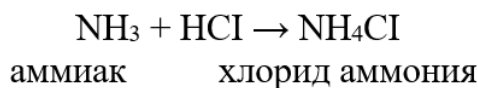
Подобно аммиаку амины проявляют основные свойства, т.е. при растворении в воде дают гидроксиды, под действием кислот – соли. При этом образуются координационные связи в результате донорно-акцепторного взаимодействия неподелённой пары электронов у азота (донора) с положительно заряженным ионом водорода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

1. Взаимодействие с водой происходит аналогично аммиаку:

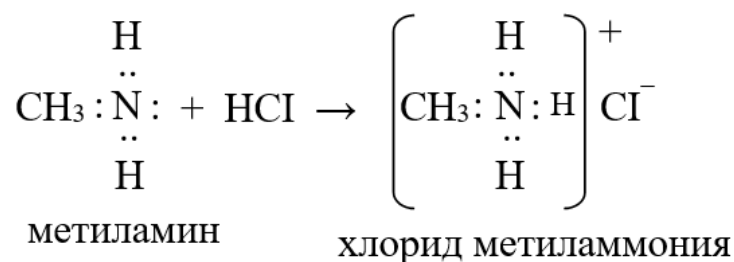


Под действием алкильных радикалов электрофильные свойства азота увеличиваются, поэтому амины образуют более сильные основания, чем аммиак (гидроксид аммония).

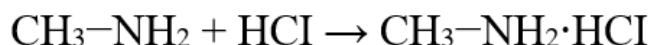
2. Образование солей с кислотами:



Амины образуют соли, представляющие собой комплексные соединения, в которых центральный атом азота с координационным числом, равным четырем, связанный с атомами водорода и углеводородным радикалом, расположен во внутренней сфере, а кислотный остаток находится во внешней сфере:

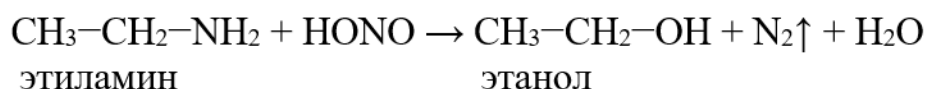


Для изображения формул солей аминов используется также и другая форма записи:

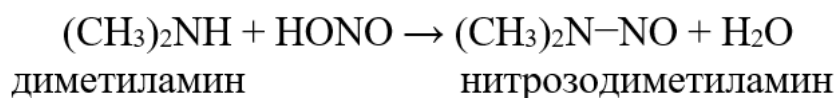


3. Взаимодействие с азотистой кислотой происходит по-разному у первичных, вторичных и третичных аминов, что позволяет их различить:

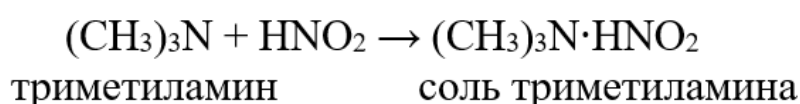
а) первичные амины разлагаются до спиртов:



б) вторичные амины превращаются в нитрозоамины:



в) третичные амины с разбавленной азотистой кислотой на холоде образуют соли:



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

Моно-, ди-, триметиламины – ядовитые газы с резким неприятным запахом, содержатся в некоторых ядовитых травах (семейство молочайных), а также в селедочном рассоле, выделяются при гниении белковых веществ, применяются в органическом синтезе, в производстве красителей, лекарственных препаратов, поверхностно-активных веществ.

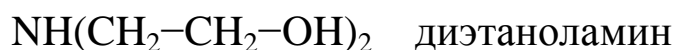
Этиламин при дегидрировании (отщеплении водорода) превращается в этилимин, который является активным мутагеном и широко используется в селекции; в виде производных входит в



состав природных антибиотиков и применяется в производстве ракетного топлива.

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

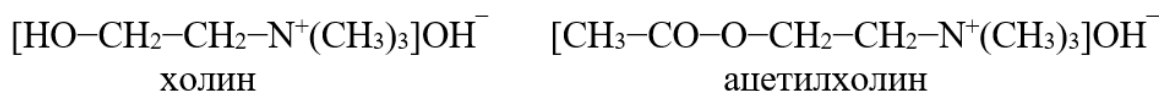
**Аминоспирты** – это гетерофункциональные соединения, содержащие разные функциональные группы, гидроксильные и аминогруппы. Наибольшее значение имеют:



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-оксиэтилтриметил-аммония) и ацетилхолин (этерифицирован по ОН-группе) участвуют в передаче нервных импульсов от мозга к мышцам и называются нейрого르몬ами.



## §2.8 Аминокислоты

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

### Классификация $\alpha$ -аминокислот

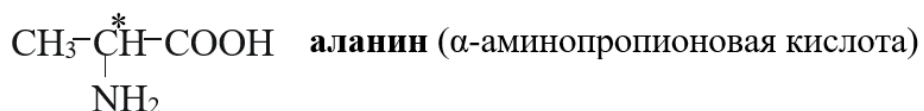
1. По числу карбоксильных групп (монокарбоновые, дикарбоновые).
2. По числу аминогрупп (моноамино- и диаминокарбоновые).
3. По характеру радикала (алифатические, ароматические, гетероциклические).
4. По наличию другой функциональной группы (например: оксиаминокислоты).
5. Заменяемые и незаменимые.

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

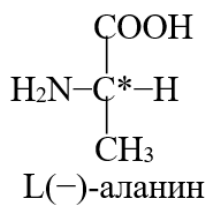
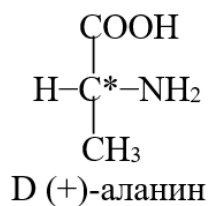
### Моноамино-монокарбоновые кислоты

**Глицин** (аминоуксусная кислота), заменимая аминокислота, содержится во всех белках, особенно в белке шелка и в желатине.

$\text{NH}_2\text{—CH}_2\text{—COOH}$  глицин (аминоуксусная кислота)

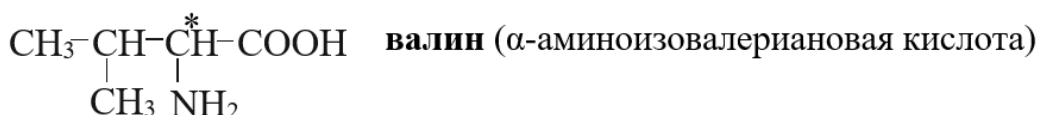
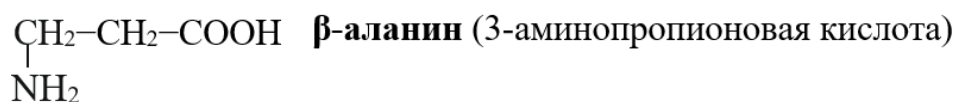


$\alpha$ -**Аланин** заменимая аминокислота входит в состав как растительных, так и животных белков, а также ферментов. Подобно другим  $\alpha$ -аминокислотам содержит асимметрический атом углерода ( $\text{C}^*$ ) и существует в виде двух оптических или зеркальных изомеров:



Аминокислоты, входящие в состав белков, относятся к L-ряду. Они сладкие на вкус, кислоты же D-ряда, напротив, горькие.

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

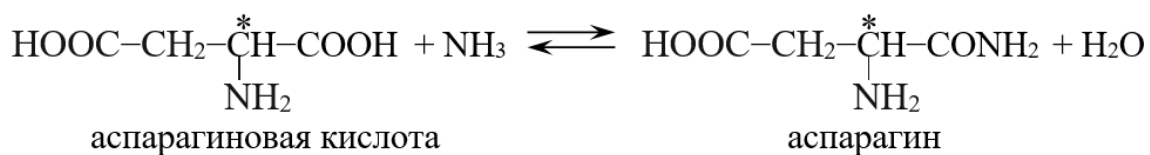


**Валин** является одной из самых распространенных в белках незаменимой аминокислотой и синтезируется только в растениях.

### Моноаминодикарбоновые кислоты

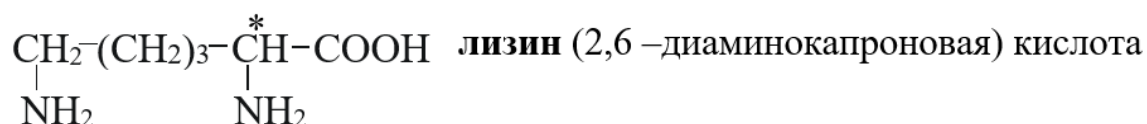


Это заменимые аминокислоты. Причем аспарагиновая кислота чаще встречается в растительных белках, а глутаминовая – в животных. При действии аммиака эти кислоты образуют амиды (аспарагин и глутамин), которые также содержатся в белках и являются резервом аммиака, необходимого для синтеза аминокислот, и,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



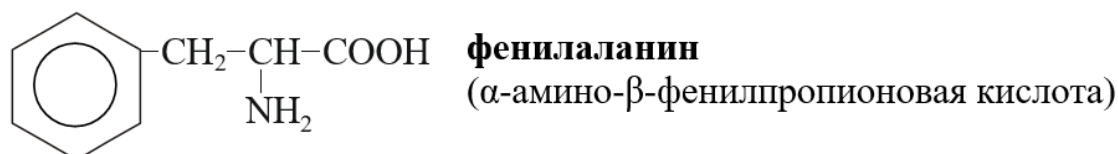
Гидролиз этих амидов происходит под действием ферментов аспрагеназы и глутаминазы.

### Диаминомонокарбоновые кислоты

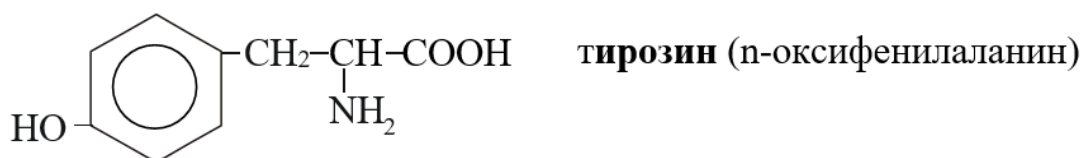


Лизин – незаменимая аминокислота, используется для подкормки скота.

### Ароматические аминокислоты

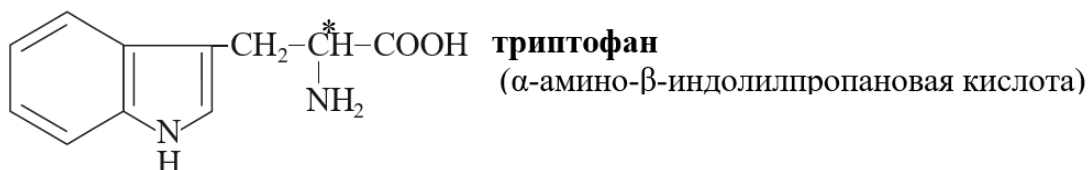


**Фенилаланин** – незаменимая аминокислота, содержится почти во всех белках.



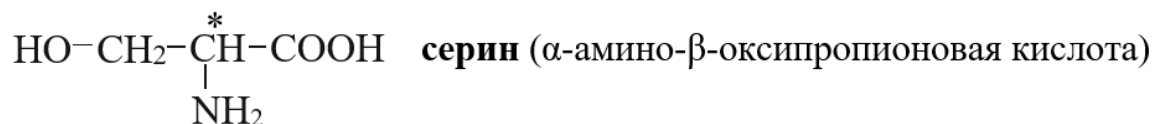
**Тирозин** – заменимая аминокислота, входит в состав как растительных, так и животных белков. Особенно много ее в инсулине крупного рогатого скота.

### Гетероциклические аминокислоты

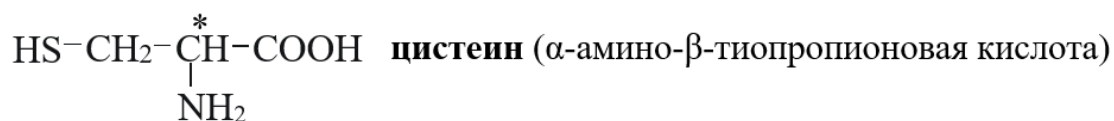


**Триптофан** – незаменимая аминокислота, содержится в основном в животных белках, например, в белках крови.

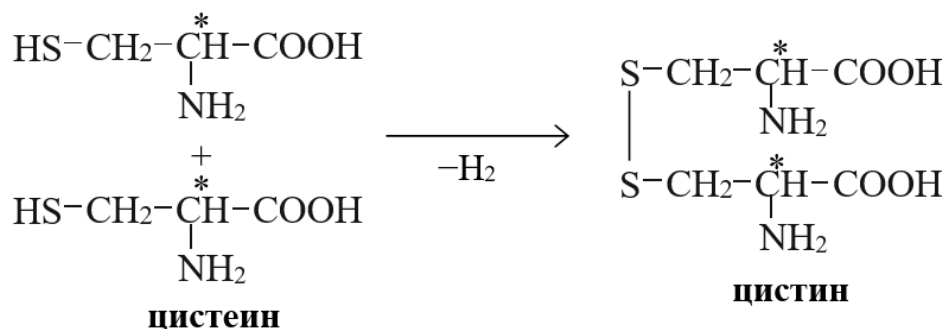
### Аминокислоты с другими функциональными группами



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



**Цистеин** – заменимая аминокислота входит в состав кровных 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.

### Физические свойства

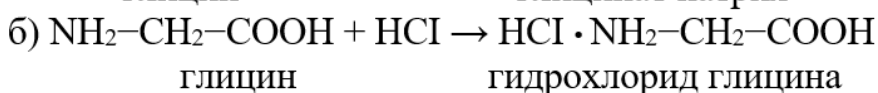
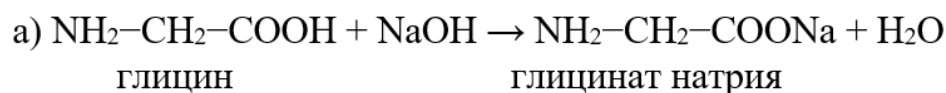
$\alpha$ -Аминокислоты – кристаллические вещества, растворимые в воде, растворы оптически активны. Причем L-изомеры сладкие или безвкусные, входят в состав белков, D-изомеры горькие, организмом не усваиваются.

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.

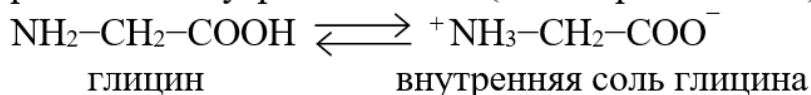
### Химические свойства

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

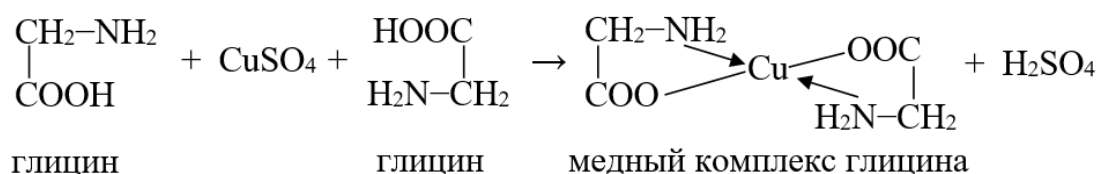
1. Амфотерность аминокислот – способность давать соли как с кислотами (по аминогруппе), так и с основаниями (по карбоксильной группе):



в) образование внутренних солей (биполярных ионов):

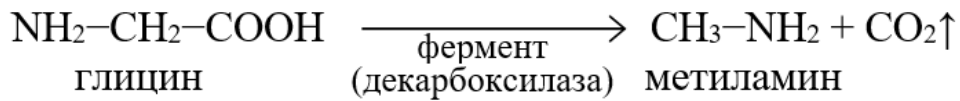


2. Комплексообразование с тяжелыми металлами. Комплексные соли с медью имеют интенсивный синий цвет.



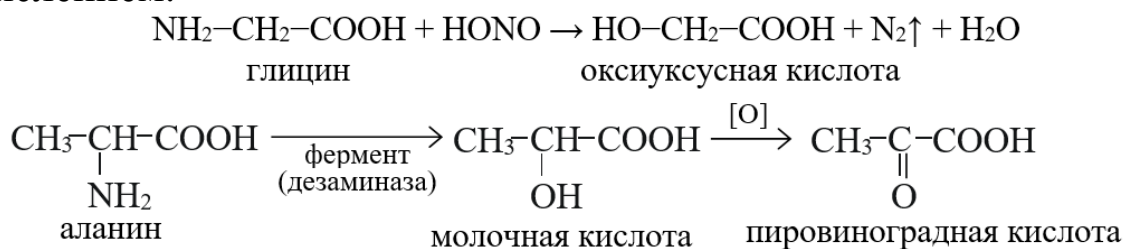
Комплексы аминокислот достаточно устойчивы, могут образовываться и в белковых молекулах, что приводит к необратимым изменениям в структуре и свойствах белков и обуславливает негативное действие тяжелых металлов на живые организмы.

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



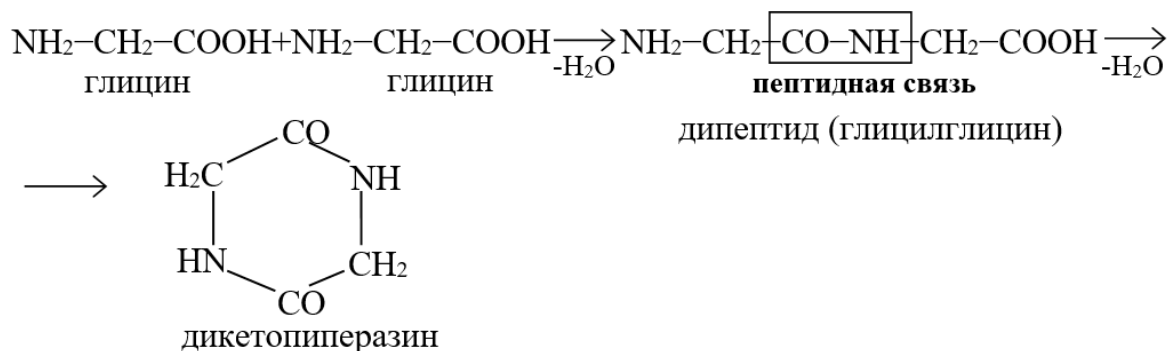
Эта реакция сопровождается разложением белков с выделением неприятного запаха аминов.

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



**Данная реакция лежит в основе синтеза белка!**

## §2.9 Белки

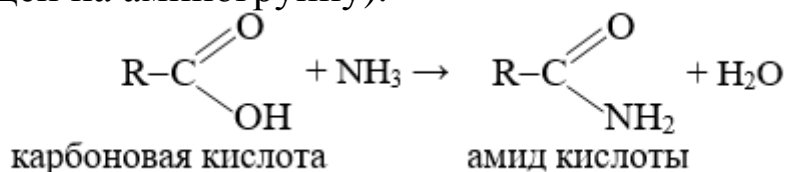
**Белки** – это высокомолекулярные (см. раздел 3) азотсодержащие органические соединения, молекулы которых построены из остатков  $\alpha$ -аминокислот, соединенных пептидными связями. Значение белков в природе исключительно велико. Особенно их много в организмах человека, животных и растений. Протоплазма и ядра живых клеток состоят в основном из белков. Большое количество белков содержится в костях, хрящах, мышцах, в нервных тканях. Из белков состоят волосы, шерсть, перья, чешуя рыб, копыта, когти, рога и т.д. Белки содержатся в яйцах птиц, входят в состав крови, молока и т.п.

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).

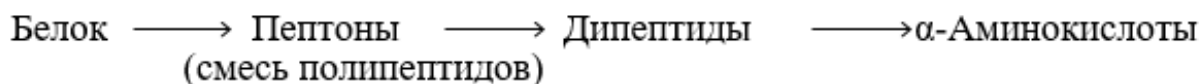
В организм животных и человека белки поступают с растительной и животной пищей. В процессе пищеварения под действием ферментов они расщепляются до  $\alpha$ -аминокислот, которые усваиваются, и в тканях с участием ферментов вновь образуются белки, присущие только данному биологическому виду.

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 кислот (аспарагин и глутамин – производные соответствующих кислот, где гидроксил карбоксильной группы замещён на аминогруппу).



Молекулярная масса белков достигает миллионов единиц. Гидролиз белков идет под действием ферментов (пептидаз):





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.

### Классификация белков

#### 1. По качеству:

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

#### 2. По составу:

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

#### 3. По форме молекул белки подразделяются на:

- фибриллярные (волокнистые) 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) по растворимости можно разделить на несколько подгрупп:

Альбумины растворимы в воде, свертываются при нагревании, нейтральны, сравнительно трудно осаждаются растворами солей. Примерами их могут служить альбумин белка куриного яйца, альбумин кровяной сыворотки, альбумин мышечной ткани, молочный альбумин. Последний содержится в молоке вместе с другим белком — казеином; пенка на кипяченом молоке в основном состоит из альбуминов.

Глобулины нерастворимы в воде, но растворяются в очень слабых растворах солей. Более концентрированными растворами солей они вновь осаждаются; осаждение происходит при меньшей концентрации, чем та, которая необходима для осаждения альбуминов. Эти белки являются очень слабыми кислотами.

Примерами глобулинов могут служить фибриноген, глобулин кровяной сыворотки, глобулин мышечной ткани, глобулин белка куриного яйца. Таким образом, в белке куриного яйца, в крови, в мышечной ткани находятся и глобулины, и альбумины. К глобулинам относятся и многие растительные белки.

Гистоны, белки основного характера, содержатся в нуклеопротеидах лейкоцитов и красных кровяных шариков.

Протамины не содержат серы, обладают сравнительно сильными основными свойствами, дают кристаллические соли; содержатся (в составе нуклеопротеидов) в сперматозоидах рыб, считаются простейшими из белковых веществ.

Проламины растворимы в спирте, содержатся в зернах различных хлебных злаков.

**Протеиды** различают по небелковой части их молекул:

Фосфопротеиды содержат остатки фосфорной кислоты (казеин молока).

Хромопротеиды. Под этим названием известны протеиды, которые представляют собой сочетание белков с пигментами. Из хромопротеидов наиболее изучен *гемоглобин*, состоящий из простого белка глобина и красящего вещества гемма, обуславливающего цвет крови. Значение гемоглобина в жизни человека и животных очень велико. Он играет роль переносчика кислорода от легких к тканям. Кроме того, гемоглобин вместе с плазмой крови осуществляет регуляцию рН крови и перенос оксида углерода в организме. Характерной особенностью гемоглобина является его способность соединяться с оксидом углерода (II), после чего он теряет способность соединяться с кислородом. Этим объясняется ядовитое действие угарного газа (CO).

Гликопротеиды. Некоторые белки этой группы встречаются в слизистых выделениях животных организмов и обуславливают

свойство этих выделений вытягиваться в нити даже при сравнительно большом разбавлении. Эти белки образуются в подчелюстной железе (подчелюстная железа — одна из слюнных желез), а также в печени, железах желудка и кишечника. Другие гликопротеиды содержатся в хрящах, яичном белке, стекловидном теле глаза и т. д. Исследованные представители гликопротеидов являются сочетанием белков с олиго- или полисахаридами.

Липопротеиды. При гидролизе липопротеиды распадаются на белок и растворимые в эфире жиры, лецитины и другие фосфатиды.

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

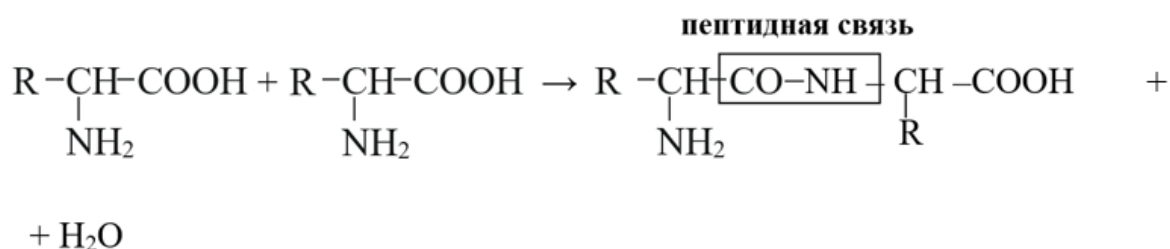
**Строение белков.** Вопрос о строении белковых молекул является одной из наиболее трудных и важных проблем современной науки.

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.

Еще в 1891 г. А. Я. Данилевский высказал предположение об амидных связях, которые образуются за счет карбоксила одной молекулы аминокислоты и аминогруппы другой. Амидные связи этого типа называются *пептидными связями*, а низкомолекулярные соединения, в которых две или несколько аминокислот соединены друг с другом пептидными связями, принято называть *пептидами*:



Пептиды образуются при частичном гидролизе белков. Пептидная теория строения белка была разработана Э. Фишером и в настоящее время окончательно подтверждена.

В зависимости от числа аминокислотных остатков, входящих в молекулу, различают дипептиды, трипептиды, тетрапептиды и т.д.

Аминокислоты соединяются друг с другом в определенной последовательности, что приводит к огромному многообразию и специфичности белков. Так, из глицина и аланина образуется два дипептида (глицилаланин и аланилглицин). Из 20 аминокислот можно составить  $2,3 \cdot 10^{18}$  различных полипептидов.

Названия происходят от названий остатков аминокислот, прореагировавших своими карбоксильными группами, и от названия аминокислоты, реагирующей своей аминогруппой и сохраняющей свободную карбоксильную группу.

2. Дисульфидная связь возникает между принадлежащими различным цепям остаткам цистеина (подобно цистину).
3. Водородная связь образуется за счет атома водорода и кислорода пептидных групп.

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

Таким образом, белки – это сложные агрегаты, в которых полипептидные цепи образуют лишь остов, имеющий разную форму и несущий на себе много дополнительных функциональных групп и образований.

**Первичная структура** белка представляет собой специфическую последовательность аминокислот в полипептидной цепи.

**Вторичная структура** определяется способом, которым скручена цепь; в частности, последняя может образовывать  $\alpha$ -спираль.

Вторичную структуру  $\alpha$ -спирали имеют, например, миозин и  $\alpha$ -кератин. Ряд белков (фиброин,  $\beta$ -кератин), состоящих в основном из небольших молекул аминокислот, образуют другую компактную вторичную структуру, называемую «сложенный лист».

Наконец, **третичная структура** – это способ, которым свернутая в спираль цепь (цепи) изогнута и гидратирована в природном белке. Для молекул белков, состоящих из нескольких полипептидных цепей, характерны и так называемые **четвертичные структуры**, определяющие тип взаимодействия между отдельными цепями.

### **Физические свойства белков**

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 белков**

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

При определенном значении рН число анионов и катионов в белковых молекулах становится одинаковым, и белки становятся нейтральными, такое значение рН называется **изоэлектрической точкой (J)**. Эти значения определены для каждого белка. Для альбумина –  $J=4.8$ , для глиаина –  $J=5.8$ .

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.

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* — появление фиолетового окрашивания при обработке солями меди в щелочной среде (её дают все белки);

2) *ксантопротеиновая реакция* — появление при действии концентрированной азотной кислоты желтого окрашивания, переходящего при действии аммиака в оранжевое (её дают не все белки);

3) *нингидринная реакция* — появление синего окрашивания при кипячении с водным раствором нингидрина (для всех белков).

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.

Биологические функции белков исключительно разнообразны. Некоторые из них обладают свойствами гормонов, регулирующих различные процессы обмена веществ (например, инсулин поддерживает уровень сахара в крови); другие белковые вещества (ферменты) действуют как катализаторы биологических процессов и, наконец, ряд белков является биологическим строительным материалом (например, коллаген соединительных тканей и кератин волос). Выше уже были упомянуты свойства гемоглобина млекопитающих как переносчика кислорода. Функция некоторых белков крови заключается в образовании антител, обуславливающих сопротивляемость к заболеваниям, а так назы-

ваемые нуклеопротеиды содержат нуклеиновые кислоты, важные составные части которых (гены) несут наследственную информацию и передают ее в процессе деления клеток. Вирусы (например, вирус табачной мозаики) состоят из нуклеопротеидов, заключенных в белковую оболочку. Структура многих вирусов настолько регулярна, что они могут быть получены в виде хорошо образованных кристаллов. Для нормального функционирования животный организм, в том числе и организм человека, должен ежедневно, кроме воды и неорганических солей, получать с пищей белки, углеводы, жиры и в незначительных количествах другие органические вещества.

Анализ данных по производству, потреблению и составу продуктов питания показывает, что более половины мирового населения питается неудовлетворительно. В первую очередь это связано с недостатком белков, особенно животного происхождения. Для удовлетворения минимальной потребности человечества в белках их производство необходимо увеличить как минимум на 30%. Возможности решения проблемы белкового питания традиционными методами ограничены рядом причин. Для традиционной сельскохозяйственной технологии характерен низкий выход, потери белков и других пищевых веществ на разных стадиях переработки и ряд других недостатков, которые принципиально ограничивают эффективность производства и качество продукции. В то же время имеются значительные потенциальные ресурсы пищевого белка, используемого крайне нерационально или совершенно не используемого для питания. Это, прежде всего, относится к белкам дрожжей и других одноклеточных, белкам семян масличных и зерновых культур, обрату молока, малоценных пород рыбы, другим морепродуктов и т. п.

Основная причина, затрудняющая широкое применение этих белков для питания, состоит в их низкой привлекательности для потребителя.

Белки обычно бесцветны, лишены запаха и вкуса. Поэтому практически невозможно включить изолированные белки в рацион питания человека. Возможности использования белков в качестве добавок к традиционным пищевым продуктам также ограничены, так как значительные количества добавок обычно иска-

жают уникальную структуру и изменяют комплекс свойств обогащаемого продукта, ухудшая его вкусовые и потребительские качества. Таким образом, масштабы потребления пищевых белков, а следовательно, масштабы их производства и реальные ресурсы, определяются возможностью получения на основе этих белков вкусной и недорогой пищи.

В последние годы все большее значение приобретает качественно новое направление в производстве пищи. Оно заключается в переработке белков различного происхождения в искусственные продукты питания. Производство таких продуктов осуществляется практически индустриальными методами, что позволяет использовать для питания огромные ресурсы белка с минимальными его потерями. При этом желательно, чтобы по составу искусственные пищевые продукты отвечали требованиям сбалансированного питания и превосходили в этом отношении большинство традиционных продуктов, особенно растительных. Если же говорить об искусственной пище неприродного происхождения, то ее синтез обязательно должен включать в себя синтез  $\alpha$ -аминокислот. Физиологическими опытами по питанию высших животных искусственными смесями аминокислот было выяснено, что не все аминокислоты должны обязательно поступать с пищей. Некоторые аминокислоты могут синтезироваться в организме человека и животных из кетокислот при взаимодействии с аммиаком. Такие аминокислоты называются заменимыми. Другие не синтезируются в организме и должны поступать с пищей (незаменимые аминокислоты). Полноценная белковая пища должна обязательно содержать все незаменимые аминокислоты. Отсутствие их в пище может привести к заболеваниям и даже гибели как животных, так и человека.



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К §§2.7-2.9

1. Какие соединения называются нитросоединениями, аминами, аминспиртами? Приведите примеры структурных формул соответствующих представителей азотсодержащих веществ.
2. Назовите следующие соединения:

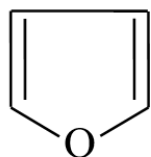


- а)  $\text{CH}_3\text{—NH}_2$ ; б)  $\text{CH}_3\text{—NH—CH}_2\text{—CH}_3$ ; в)  $\text{C}_6\text{H}_5\text{—NH}_2$ .
3. Какие функциональные группы содержат аминокислоты? Какую биологическую роль они играют? Приведите примеры структурных формул четырёх различных аминокислот.
  4. Запишите схемы реакций, отражающие амфотерные свойства аминокислот.
  5. Дайте определение, что такое белки? Как различают полноценные и неполноценные белки?
  6. Приведите примеры заменимых и незаменимых аминокислот.
  7. Запишите схему образования дипептида из глицина и аланина. Подчеркните пептидную связь.
  8. Какие аминокислоты обязательно должны входить в состав искусственных пищевых продуктов и почему?
  9. Что такое изоэлектрическая точка белка?
  10. Какие цветные реакции на белки вам известны?

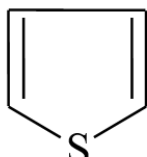
## §2.10 Гетероциклические соединения и нуклеиновые кислоты

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

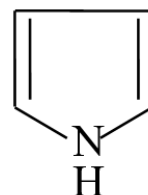
Гетероциклы различают по величине цикла и по гетероатому. Наиболее важное значение имеют циклы, содержащие атомы азота, кислорода и серы.



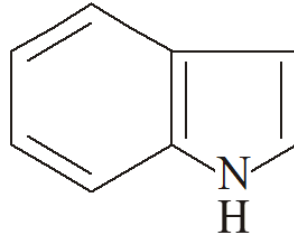
фуран



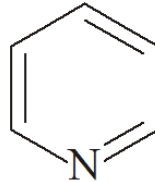
тиофен



пиррол



индол



пиридин

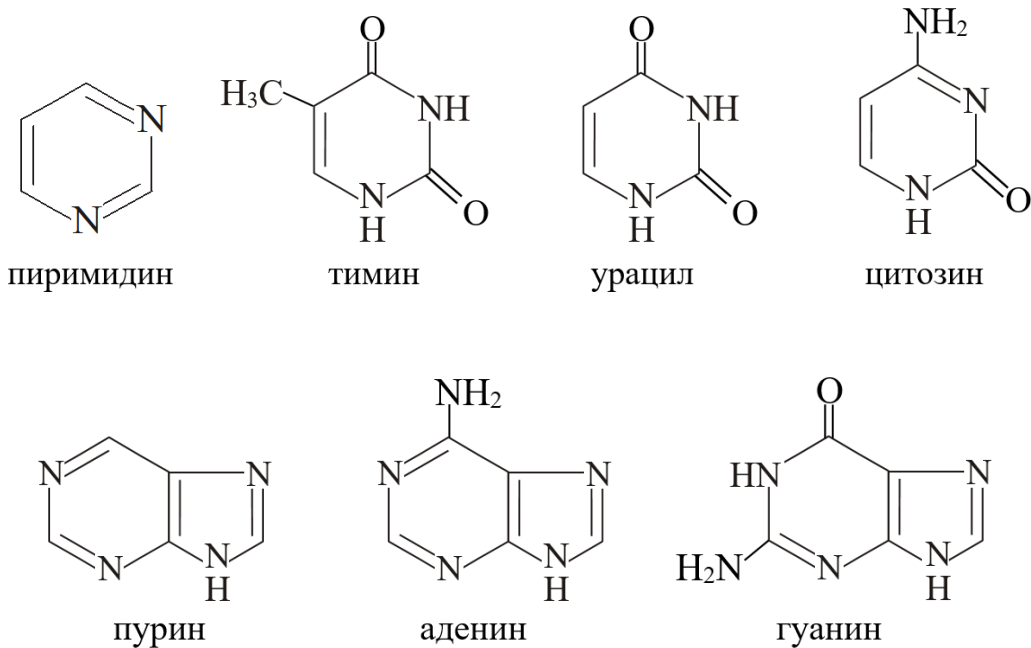
Пиррол входит в состав гема крови и хлорофилла – зеленого пигмента, содержащегося в листьях растений.

Гем и хлорофилл относятся к природным красящим веществам, в основе которых лежит ядро порфирина, состоящее из четырех пиррольных колец, соединенных метиловыми группами.

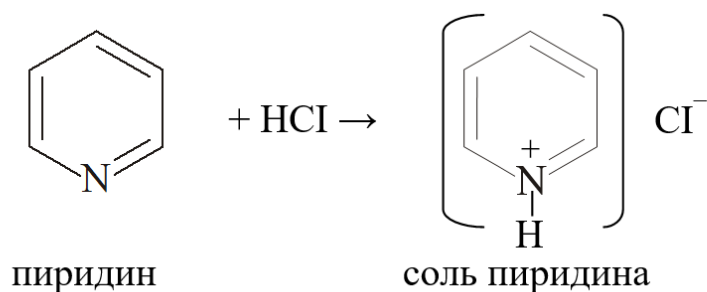
Гемоглобин – сложное белковое вещество их группы хромопротеидов, состоящее из растворимых в воде простого белка глобина и красящего вещества – гема. Гем крови содержит комплекс катиона железа  $Fe^{2+}$ , связанный с порфирином (см. приложение, рис. ).

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 порфирин связан с катионом магния и содержит сложноэфирную группировку спиртов фитола и метанола (см. приложение, рис. ).



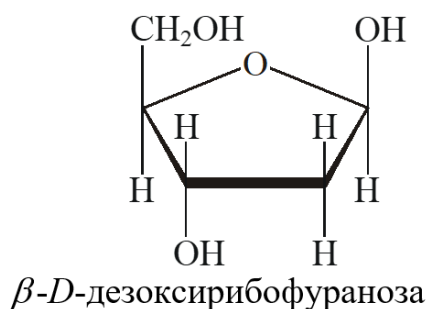
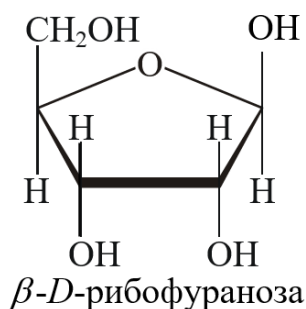
Азотсодержащие гетероциклы называют также **гетероциклическими основаниями**. У атома азота сохраняется неподделенная пара электронов, поэтому азотсодержащий гетероцикл проявляет основные свойства и подобно аминам дает соли с кислотами:



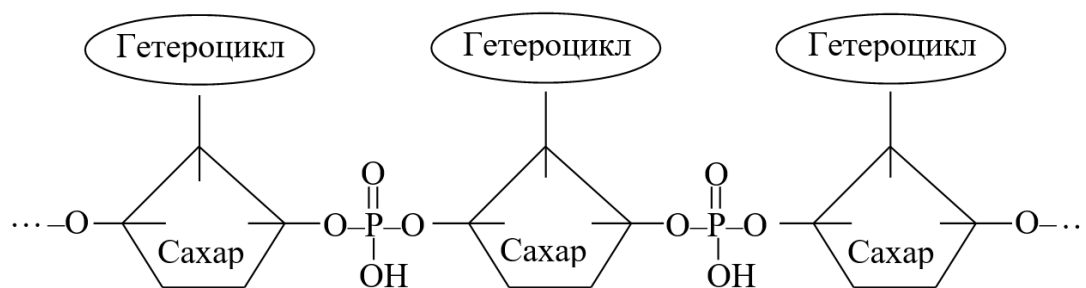
Аденин, гуанин, тимин, урацил, цитозин играют важную физиологическую роль в организме животных и человека, поскольку входят в состав нуклеиновых кислот (ДНК и РНК).

**Нуклеиновые кислоты** – это сложные высокомолекулярные соединения, содержащиеся в ядрах живых клеток, где они связаны с белками в нуклеопротеиды (сложные белки).

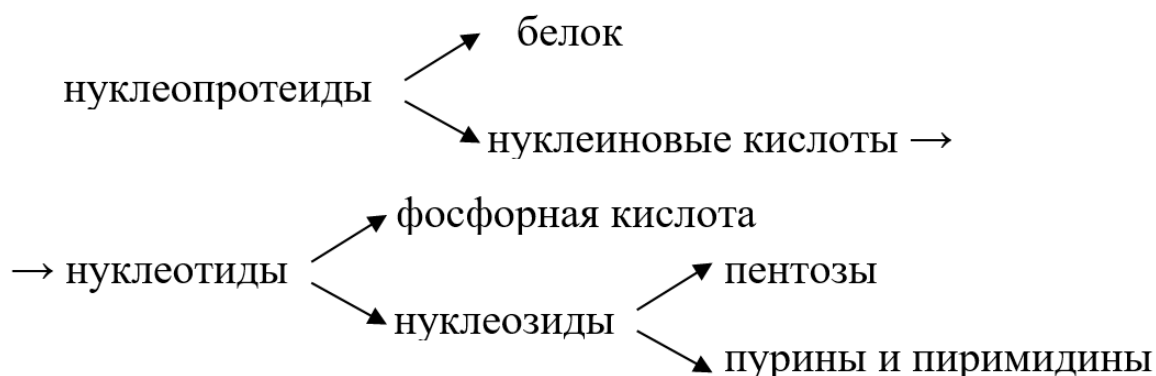
В основе молекул нуклеиновых кислот лежат длинные цепи пентоз ( $\beta$ -D-рибозы и  $\beta$ -D-2-дезоксирибозы), соединенных с помощью эфирных связей с молекулами фосфорной кислоты.



Кроме того, в состав молекул нуклеиновых кислот входят пуриновые основания (аденин и гуанин) и пиримидиновые основания (урацил, тимин, цитозин), соединенные с молекулами пентоз. Первичную структуру нуклеиновых кислот можно представить в виде следующей схемы:



При определённых условиях нуклеиновые кислоты подвергаются гидролизу. Схема гидролиза нуклеиновых кислот:



Таким образом, **нуклеозиды** – это соединения азотистых оснований и пентоз, а **нуклеотиды** – это соединения азотистых оснований, пентоз и фосфорной кислоты.

Нуклеиновые кислоты делятся на два больших класса:

1. **Дезоксирибонуклеиновые кислоты (ДНК)**, которые при полном гидролизе дают аденин, гуанин, цитозин, тимин, дезоксирибозу и фосфорную кислоту.

2. **Рибонуклеиновые кислоты (РНК)**, которые гидролизуются до аденина, гуанина, цитозина, урацила, рибозы и фосфорной кислоты.

Следовательно, ДНК отличаются от РНК тем, что в состав ее молекул входит другая пентоза (дезоксирибоза вместо рибозы) и другое пиримидиновое основание (тимин вместо урацила).

### **Структура ДНК и их биологическая роль**

Первичная структура молекул ДНК представляет собой линейную цепь. Молекулярная масса от 200000 до 20000000 ед. (см. приложение, рис. 3).

Вторичная структура ДНК – это  $\alpha$ -спираль, состоящая из двух полинуклеотидных цепей, закрученных одна вокруг другой и вокруг общей оси. Эти цепи связаны водородными связями. Водородные связи образуются между азотистыми основаниями: аденин – тимин и гуанин – цитозин. Цепи могут раскручиваться и распадаться на две цепи.

ДНК находятся в хромосомах клеточного ядра и содержат всю информацию 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 и при делении клеток.

### **Структура РНК и их биологическая роль**

Молекула РНК имеет лишь 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), несущие информацию, какой именно белок должен синтезироваться в конкретной клетке.

2. Транспортные РНК (т-РНК), осуществляющие перенос отдельных аминокислот в рибосомы для использования их в синтезе белка (их 20 по числу имеющихся в организме аминокислот).
3. Рибосомальные РНК (р-РНК), осуществляющие в рибосомах образование пептидных связей, т.е. синтез белка.

Таким образом, РНК отвечают в живом организме за синтез белка.



### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К §2.10**

1. Какие органические соединения относятся к гетероциклам?
2. Запишите формулы пятичленных гетероциклов.
3. Какой пятичленный гетероцикл входит в состав гемоглобина крови и хлорофилла?
4. Приведите формулы индола и пиридина.
5. Почему азотсодержащие гетероциклы называют гетероциклическими основаниями?
6. Какие соединения называются пиримидиновыми основаниями?
7. В состав каких важнейших соединений входят пуриновые основания?
8. Какие нуклеиновые кислоты вы знаете?
9. Чем отличается ДНК от РНК?

## **3 ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И СИНТЕТИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРЫ (факультативно)**

### **§3.1 Общие понятия, способы получения и практическое использование полимеров**

**Высокомолекулярные соединения** – вещества, имеющие молекулярную массу от нескольких тысяч до нескольких миллионов. К ним относятся как синтетические полимеры, так и вещества природного происхождения – целлюлоза, крахмал, белки, нуклеиновые кислоты. О которых было рассказано выше.

К ВМС принято относить вещества с молекулярной массой более 5000, а к низкомолекулярным (НМС) – менее 500. Вещества с промежуточными значениями молекулярной массы (500...5000) называют **олигомерами**. Макромолекулы, построенные из одинаковых, многократно повторяющихся, групп атомов, являющихся элементарными мономерными звеньями, называются **высокополимерами**, или просто **полимерами** (греч. πολύ – много; μέρος – часть). Число элементарных звеньев, соединенных в полимерную цепь, называется **степенью полимеризации (n)**. Произведение известной степени полимеризации на массу элементарного звена ( $M_{зв}$ ) определяет молекулярную массу данной полимерной молекулы ( $M_{пол}$ ):

$$M_{пол} = n \cdot M_{зв}$$

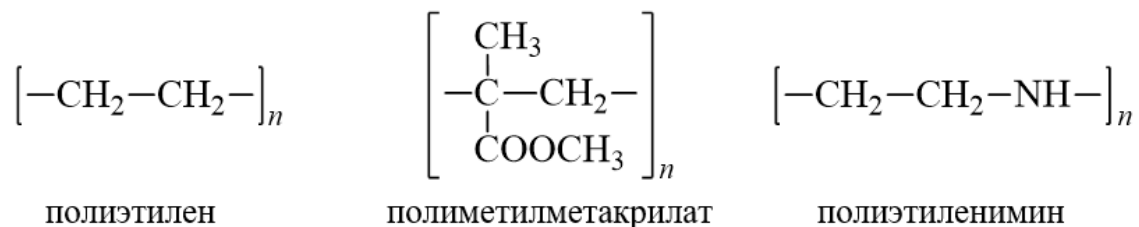
Понятия «ВМС» и «полимер» не всегда совпадают. Полимеры с молекулярной массой более 5000 всегда представляют собой ВМС. Если ВМС построены из различных элементарных звеньев, с неопределенным их соотношением, то понятие «полимер» к ним не следует применять. Некоторые природные ВМС, например крахмал, целлюлоза, являются полимерами. Другие природные вещества, например белки, по составу и расположению отдельных фрагментов весьма неоднородны и для их обозначения следует использовать термин «ВМС».

Полимеры, состоящие из одинаковых элементарных звеньев, но отличающиеся по молекулярной массе, называются **полимергомологами**. По химическому составу различают **гомополимеры**, молекулы которых состоят из одинаковых элементарных звеньев, и **сополимеры**, содержащие два и более типов звеньев.

Наиболее протяженный участок полимерной макромолекулы называют **главной цепью**. Если главная цепь макромолекулы содержит одинаковые атомы, то такой полимер называют **гомоцепным**, а если разные – то **гетероцепным**. Среди гомоцепных наиболее распространены **карбоцепные** полимеры, главная цепь которых содержит только атомы углерода (полиэтилен, полистирол и др.). Природные ВМС являются, как правило, гетероцеп-

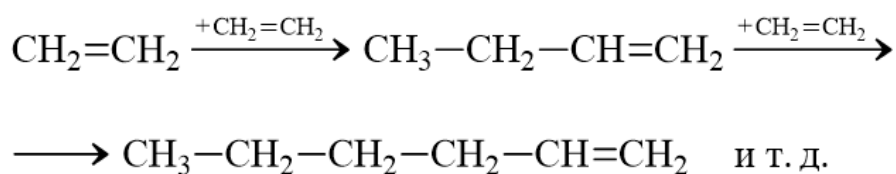
ными, главные цепи которых могут содержать атомы азота (белки) или кислорода (полисахариды). Гетероцепными являются также синтетические волокна.

Химический состав полимеров обычно выражают, записывая в скобках формулу элементарного звена с указанием за скобкой степени полимеризации. Например:

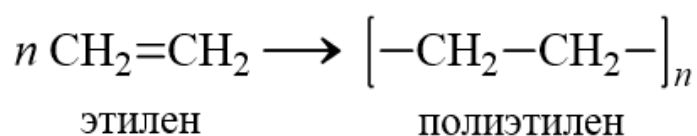


Существует два основных способа получения синтетических полимеров – полимеризация и поликонденсация.

Реакция **полимеризации** представляет собой частный случай реакции присоединения и заключается в соединении между собой большого числа молекул мономеров, содержащих кратные связи или неустойчивые циклические группировки, без выделения каких-либо побочных продуктов. Соединение молекул мономеров при их взаимодействии проходит по месту разрыва кратных связей или неустойчивых циклов. Например, начальные стадии образования полиэтилена проходят по следующей схеме:



При образовании полимера основную массу продукта составляют фрагменты  $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ , концевые группы в составе которого не обозначаются, а процесс полимеризации выражается уравнением:

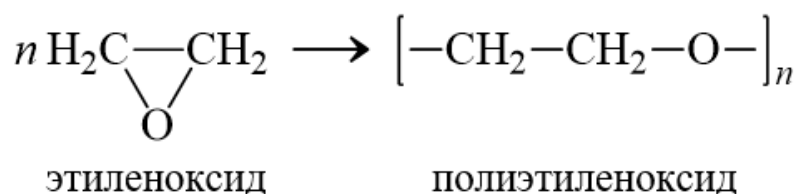




В зависимости от степени полимеризации из одних и тех же мономеров можно получать вещества с различными свойствами. При  $n = 20$  полиэтилен является жидкостью, обладающей смазочными свойствами; при  $n = 1500 \dots 2000$  полиэтилен – твердое вещество, гибкий пластичный материал, из него изготавливают пленку, бутылки, посуду, эластичные трубы; при  $n = 5000 \dots 6000$  полиэтилен – твердое непластичное вещество, используемое для получения готовых литых изделий, жестких труб и прочных нитей.

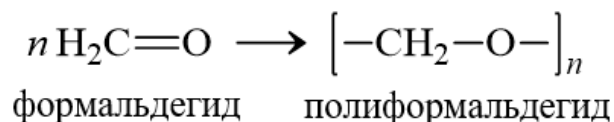
В зависимости от природы мономеров и условий реакции полимеризация может проходить или по радикальному, или по ионному механизму.

При полимеризации мономеров с кратными углерод–углеродными связями в молекулах образуются гомоцепные полимеры (например, полиэтилен), а с неустойчивыми циклами или кратными связями углерод–гетероатом – гетероцепные:



Высокомолекулярный **полиэтиленоксид** применяют как флокулянт и коагулянт при обогащении руд, отделении и концентрировании осадков, взвесей, бумажной массы, угольной пыли, а также как агент для снижения гидродинамического сопротивления (до 70% при концентрации полимера 0.001% и ниже) в технике и медицине при инъекциях. Водорастворимые пленки из полиэтиленоксида используют для упаковки пищевых продуктов, красок и чернил, агрохимикатов. Кроме того, полиэтиленоксид – агент, повышающий эффективность вторичной нефтеотдачи, связующее и загуститель в латексах и красках, основа для ионопроводящих композиций (в смесях с неорганическими солями).

Другим примером получения гетероцепного полимера является реакция полимеризации формальдегида:

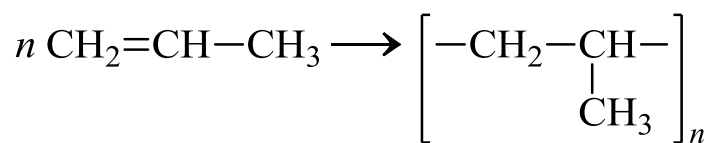


**Полиформальдегид** – сверхпрочный материал – используют в качестве заменителя металлов и сплавов в конструкциях: для изготовления шестерен, вкладышей подшипников скольжения, деталей автомобилей, корпусов бытовой техники, электротехнических деталей и арматуры.

Для получения полимеров, широко применяемых в технологических процессах и для бытовых целей, используют также следующие соединения:

**1. Пропилен**  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$ .

Схема полимеризации:

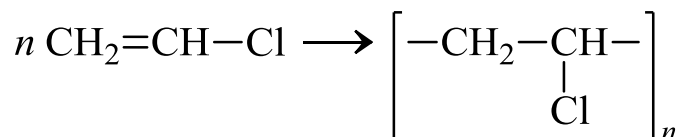


полипропилен

Из **полипропилена** изготавливают трубы, шланги, сосуды, тару для сельскохозяйственных продуктов и удобрений, многие бытовые предметы, также синтетическое волокно.

**2. Винилхлорид**  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Cl}$ .

Схема полимеризации:



поливинилхлорид

**Поливинилхлорид** применяется для электроизоляции проводов и кабелей, производства труб, пленок, натяжных потолков, искусственных кож, поливинилхлоридного волокна, линолеума, обувных пластикатов, мебельной кромки, профилей для изготов-

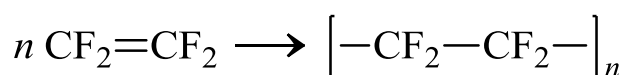
ления окон и дверей. Ранее применялся для производства грам-пластинок (т. н. «виниловых»).

ПВХ часто используется в одежде и аксессуарах для создания подобного коже материала, отличающегося гладкостью и блеском. Такая одежда широко распространена в альтернативных направлениях моды. Поливинилхлорид используют как уплотнитель в холодильниках, вместо относительно сложных механических затворов. Это дало возможность применить магнитные затворы в виде намагниченных эластичных вставок, помещаемых в баллоне уплотнителя.

Также ПВХ находит широкое применение в пиротехнике как донор хлора, необходимого для создания цветных огней.

### 3. Тетрафторэтилен $\text{CF}_2=\text{CF}_2$ .

Схема полимеризации:

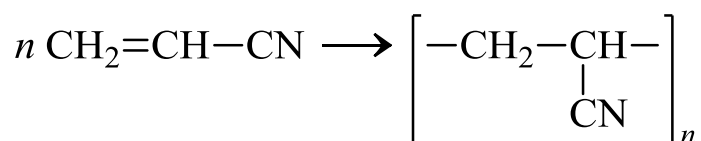


политетрафторэтилен

**Политетрафторэтилен** (*фторопласт*, или *тефлон*<sup>2</sup>) – химически стойкий материал, используется для транспортировки агрессивных жидкостей. Фторопласт применяют в химической, электротехнической и пищевой промышленности, в медицине, в транспортных средствах, в военных целях, в основном в качестве покрытий. Наибольшую известность тефлон получил благодаря широкому применению в производстве посуды с антипригарным покрытием. Сополимеры на основе политетрафторэтилена применяются для изготовления мембранных материалов, используемых в технологиях очистки воды, получения щелочи и хлора.

### 4. Акрилонитрил $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}$ .

Схема полимеризации:



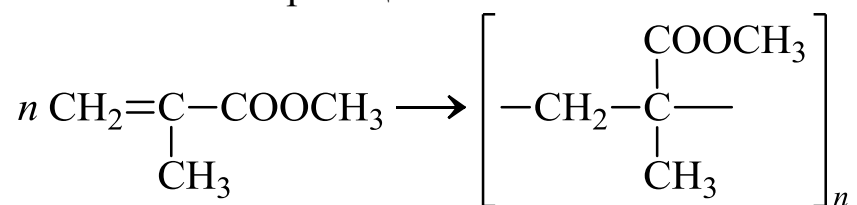
<sup>2</sup> Слово «тефлон» является зарегистрированной торговой маркой корпорации Du Pont. В России традиционное техническое название этого материала – «фторопласт».

## полиакрилонитрил

Полимеры на основе акрилонитрила бесцветны, светостойки и прозрачны, используются для получения органического стекла. Акрилонитрил является одним из исходных мономеров для получения синтетических волокон, бензостойких синтетических каучуков и особо прочных пластмасс.

### 5. Метилметакрилат $\text{CH}_2=\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}-\text{COOCH}_3$ .

Схема полимеризации:



полиметилметакрилат (ПММА)

**Полиметилметакрилат**<sup>3</sup> применяют для производства прозрачных стекловидных пластических масс – органического стекла и искусственных тканей. Полиметилметакрилатное стекло отличается от обычного силикатного гораздо бóльшей прозрачностью, легкостью, прочностью и способностью пропускать УФ-лучи (74 % и 3 % соответственно), что позволяет применять его в автомобильной и авиационной промышленности. Оконные стекла из ПММА могут достигать в толщину 33 см, и при этом они будут идеально прозрачными. Это делает полиметилметакрилат превосходным материалом для изготовления больших аквариумов, стекла которых должны быть достаточно толстыми, чтобы вы-

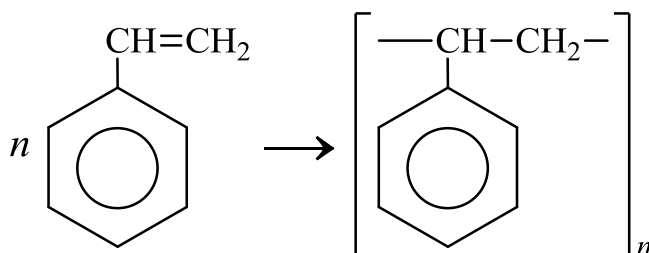
---

<sup>3</sup> Полиметилметакрилат производится под торговыми названиями: «дакрил» (Россия), «плюсайт» (США), «диакон» (Великобритания), «плексиглас», «плексигум» (Германия), «ведрил» (Италия), «делпет», «парапет» (Япония).

держивать высокое давление, создаваемое десятками тысяч тонн воды. Самое большое монолитное оконное стекло в мире, окно для наблюдений в аквариуме в заливе Монтеррей, штат Калифорния, сделано из одного большого куска ПММА, размеры которого составляют 16,6 м в длину, 5,5 м в высоту, и 33 см в толщину.

## 6. Стирол (винилбензол) $C_6H_5-CH=CH_2$ .

Схема полимеризации:



полистирол

**Полистирол** используют для изготовления диэлектрических материалов, устойчивых в условиях низких и высоких температур, а также различных бытовых предметов: расчесок, игрушек и др.

Реакции полимеризации используются также в производстве **синтетических каучуков**<sup>4</sup>.

Синтетический каучук получают с помощью реакции полимеризации бутадиена-1,3, 2-метилбутадиена-1,3, 2-хлорбутадиена-1,3 или сополимеризацией перечисленных диеновых углеводородов со стиролом, акрилонитрилом и другими непредельными соединениями. Для превращения каучука в резину требуется введение 4...5 % серы от массы каучука (вулканизация). Резина, полученная на основе каучуков, используется для изготовления шин, необходимых для производства автомобилей, самолетов и сель-

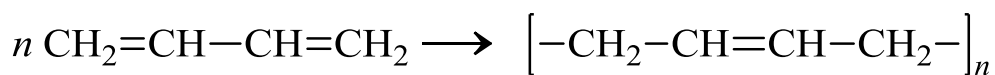
---

<sup>4</sup> Каучук – упругая, аморфная масса, выделяемая из млечного сока (латекса) некоторых тропических растений (например, гевеи). В нашей зоне к каучуконосам относятся одуванчики. Натуральный каучук – это полимер изопрена (2-метилбутадиена-1,3) с молекулярной массой около 350000 единиц.

скохозяйственных машин. При добавлении 30...50 % серы из каучука получают эбонит, используемый в качестве изоляционного материала.

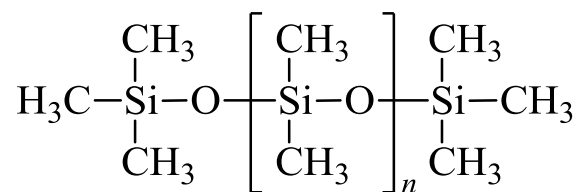
7. **Бутадиен-1,3 (дивинил)**  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ .

Схема полимеризации:



бутадиеновый

Большое значение в настоящее время приобрели **силиконовые каучуки** – высокомолекулярные кислородсодержащие кремнийорганические соединения. Простейший представитель силиконов – **полидиметилсилоксан**:



Степень полимеризации в структуре может достигать 15 тысяч. В зависимости от длины цепи полимера, получаются вещества с различными физическими свойствами. Вязкость таких соединений возрастает по мере увеличения длины цепи, чему соответствует переход от очень подвижных, похожих на бензин, жидкостей к более вязким маслам и, наконец, к смолообразным веществам.

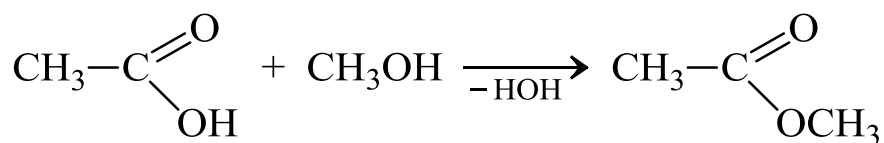
Силиконы подразделяют на жидкости, пластомеры и смолы. Применяются в качестве различных масел, охлаждающих жидкостей и т. п. Используются также как герметики. Жидким силиконом пропитывают нейлоновую ткань для подушек безопасности автомобилей с целью усиления водоотталкивающих свойств.

Силиконовые каучуки (*полидиалкилсилоксаны*) и резины также нашли широкое применение как различные уплотнения, прокладки, а также для создания прочных устойчивых покрытий. Силиконовый каучук, будучи физиологически совершенно без-

вредным, сохраняет свои свойства в широком интервале температур от  $-55$  до  $180^{\circ}\text{C}$  и применяется, например, для изготовления искусственного сердца.

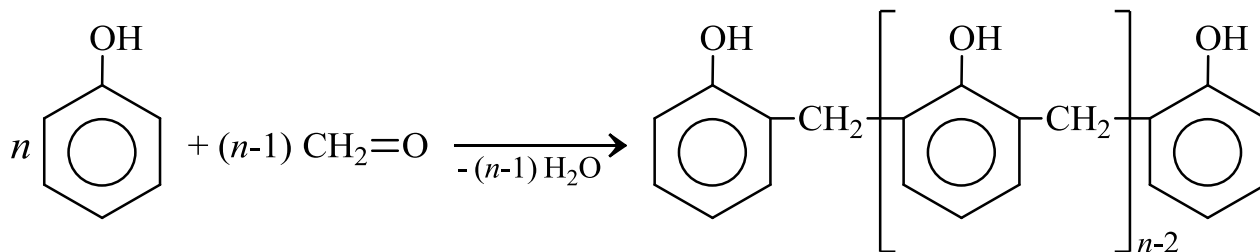
**Поликонденсация** – процесс образования макромолекул, протекающий путем взаимодействия молекул одинакового или разного строения, содержащих две и более функциональных группы, и сопровождающийся **выделением низкомолекулярных продуктов** – воды, аммиака, спиртов, солей, кислот и т.д. Поэтому, в отличие от полимеризации, при поликонденсации элементарный состав полимеров не совпадает с составом мономеров. При поликонденсации бифункциональных соединений образуются линейные или циклические высокомолекулярные продукты, а из три- и тетрафункциональных – ВМС пространственного строения.

Типичным примером реакции конденсации является реакция этерификации между монофункциональными соединениями – карбоновой кислотой и спиртом:



Если молекулы каждого из реагирующих веществ содержат не менее двух функциональных групп, то реакция конденсации может повторяться сколько угодно.

Примером реакции поликонденсации является взаимодействие фенола с формальдегидом с образованием **фенолформальдегидной смолы**:

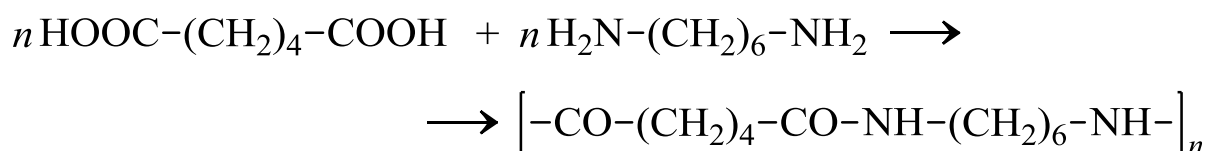


**Фенолформальдегидная смола** обладает высокой механической устойчивостью и прочностью, коррозионной устой-

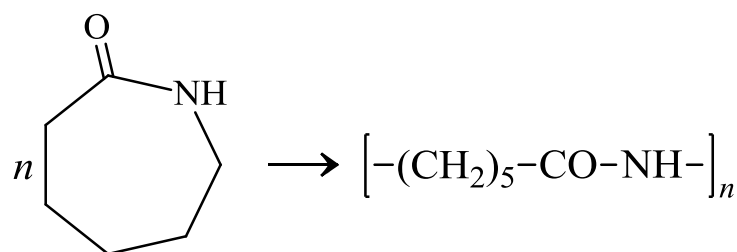
чивостью и высокими электроизоляционными свойствами. Применяют для изготовления строительных и отделочных материалов (ДВП, ДСП, ламинат, паркет), различных синтетических клеев, лаков, полимерных изделий, которые применяются в электротехнике, а также тормозных накладок и различных видов подшипников. Еще одним видом товаров, который изготавливается из фенолформальдегидной смолы, являются бильярдные шары.

**Нейлон (найлон)** – синтетическое волокно, получаемое из расплавов полиамидов.

*Нейлон 6,6 (найлон-66)* синтезируют путем поликонденсации адипиновой кислоты и гексаметилендиамина:



Синтез *нейлона 6 (капрона)* из капролактама осуществляется гидролитической полимеризацией капролактама по механизму «раскрытие цикла – присоединение»:



Нейлон обладает высокой прочностью, износостойкостью, формоустойчивостью, низкой гигроскопичностью, устойчивостью к действию микроорганизмов, высокой эластичностью, хорошо окрашивается, легко стирается, быстро сохнет, имеет высокие противопожарные показатели.

В промышленности нейлон применяется для изготовления втулок, вкладышей, пленок и тонких покрытий. Нейлон, нанесенный на трущиеся поверхности в виде облицовки или тонкослойного покрытия на тонкие металлические втулки, вкладыши и корпуса подшипников, повышает их эксплуатационные качества.



Нейлон, как правило, используется при производстве изделий, которым требуется прочность и надежность в эксплуатации. Из него изготавливают современные подушки безопасности для автомобилей. Воздухозаборные коллекторы автомобилей прежде изготавливали из металла, но в наши дни их часто производят из нейлона 6, на 30–35 % армированного стекловолокном.

Нейлон 6,6 и 4,6 также используются для производства коллекторов. Замена металла в коллекторах нейлоном снижает издержки производства на 30 %, уменьшает массу детали на 50 %, снижает системные издержки за счет интеграции деталей и повышает эффективность использования топлива. Для изготовления воздухозаборников компания DSM поставляет марку нейлона 6, обладающего высокой текучестью, под торговым названием Akulon.

Нейлон 6,6 нашел свое применение в системах охлаждения автомобилей, где он позволяет объединить в одном производстве различные детали, прежде производившиеся из алюминия и пластмассы. Нейлон 6 также применяется при производстве внешних деталей автомобилей. Сюда относятся дверные ручки, внешние зеркала, передние решетки, топливные крышки и пробки, а также колпаки колес.

По прогнозам, полимеры и в будущем будут играть огромную роль. Полимерам отдается предпочтение в связи с их дешевой и легкостью переработки.

Например, полиолефины превращаются в готовые изделия при повышенной температуре, когда при размягчении их можно перерабатывать методом литья, прессования или формовки, а при охлаждении они обратно твердеют. Такие полимеры называют **термопластичными**. Достоинством термопластичных пластмасс является то, что они после употребления могут быть подвергнуты повторной переработке. Легкая перерабатываемость и широкий спектр использования обусловили в последние годы расширение производства термопластов – в 2020 г. их доля в мировом производстве составила более 85 %.

**Терморреактивные** полимеры, в отличие от термопластов, при нагревании утрачивают пластичность, становятся неплавкими и нерастворимыми, так как вследствие химического взаимо-

действия между макромолекулами образуется полимерный каркас, полимер приобретает пространственную структуру. Такие полимеры не могут быть повторно переработаны, но они имеют свои достоинства – повышенную твердость, износостойкость, термическую устойчивость.

Создание новых полимерных материалов с улучшенными и принципиально новыми свойствами продолжается. Очень перспективными являются материалы, созданные на основе полимерных смесей и сплавов, сложных композиционных материалов, в основе которых лежит полимерная матрица. Масштабы открывающихся при этом перспектив сравнимы с переходом металлургии от индивидуальных металлов к сплавам целевого назначения. Уже сейчас на основе синтетических волокнистых материалов созданы новые высокопрочные материалы – композиты. Жесткость и высокая удельная прочность предопределили области их использования – строительство, авиационная техника, автомобилестроение и т. д.

Новые материалы зачастую оказываются лучше традиционных, надежнее, долговечнее. Например, стальная труба может выйти из строя через 3–5 лет, а в особо жестких условиях эксплуатации – через 1,5–2 года, в то время как пластмассовые трубы служат 20–30 лет.

Из полиэфирных волокон с включенным в них титаном созданы ткани, способные выдерживать температуру 1200°C. Очевидно, что из известных натуральных волокон создать такую ткань совершенно невозможно.

Развитие химии полимеров обеспечило снижение расхода древесины на нужды мебельной промышленности, строительства, производства упаковочных материалов. Создание композиционных материалов на основе полимеров и древесины позволило использовать не только малоценные породы, но и отходы древесины вплоть до опилок.



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К §3.1

1. Какие вещества относятся к высокомолекулярным соединениям?
2. В чем заключается отличие терминов «ВМС» и «полимер»?
3. Дайте определение степени полимеризации.
4. Как можно рассчитать молекулярную массу полимера?
5. Что такое полимергомологи, гомополимеры, сополимеры?
6. В чем заключается отличие между гомоцепными и гетероцепными полимерами?
7. Какие основные способы получения синтетических полимеров вам известны?
8. Напишите схему получения полиэтилена. Какими свойствами обладает полиэтилен в зависимости от степени полимеризации?
9. Напишите реакцию полимеризации формальдегида. Каковы области применения полиформальдегида?
10. Приведите схему получения поливинилхлорида. Где используют ПВХ?
11. Напишите схему получения политетрафторэтилена и укажите области его применения.
12. Приведите схему полимеризации акрилонитрила. Как называется и где применяется образующийся полимер?
13. Напишите схему получения полиметилметакрилата. Где его используют?
14. Что называют термопластичными полимерами? Каковы их достоинства?
15. Что такое термореактивные полимеры? Каковы их особенности и области применения?
16. Приведите схему полимеризации стирола. Какими свойствами обладает образующийся полимер и где его используют?
17. Дайте определение поликондсации.
18. Как получают фенолформальдегидную смолу и где ее используют?

## ПРИЛОЖЕНИЯ

**Таблица 1** Порядковые номера, атомные массы и названия элементов Периодической системы (без лантаноидов и актиноидов)

Порядковый номер	Символ элемента	Русское и латинское (приведено в скобках) произношение	Атомная масса, Da	Порядковый номер	Символ элемента	Русское и латинское (приведено в скобках) произношение	Атомная масса, Da
1	H	Водород (гидрогениум)	1,008	18	Ar	Аргон	39,95
2	He	Гелий	4,003	19	K	Калий	39,10
3	Li	Литий	6,941	20	Ca	Кальций	40,08
4	Be	Бериллий	9,012	21	Sc	Скандий	44,96
5	B	Бор	10,81	22	Ti	Титан	47,87
6	C	Углерод (карбониум)	12,01	23	V	Ванадий	50,94
7	N	Азот (нитрогениум)	14,01	24	Cr	Хром	52,00
8	O	Кислород (оксигениум)	16,00	25	Mn	Марганец	54,94
9	F	Фтор	19,00	26	Fe	Железо (феррум)	55,84
10	Ne	Неон	20,18	27	Co	Кобальт	58,93
11	Na	Натрий	22,99	28	Ni	Никель	58,69
12	Mg	Магний	24,30	29	Cu	Медь (купрум)	63,55
13	Al	Алюминий	26,98	30	Zn	Цинк	65,41
14	Si	Кремний (силициум)	28,08	31	Ga	Галлий	69,72

Порядковый номер	Символ элемента	Русское и латинское (приведено в скобках) произношение	Атомная масса, Da
15	P	Фосфор (фосфорос)	30,97
16	S	Сера (сульфур)	32,06
17	Cl	Хлор	35,45
35	Br	Бром	79,90
36	Kr	Криптон	83,80
37	Rb	Рубидий	85,47
38	Sr	Стронций	87,62
39	Y	Иттрий	88,90
40	Zr	Цирконий	91,22
41	Nb	Ниобий	92,91
42	Mo	Молибден	95,94
43	Tc	Технеций	[98]
44	Ru	Рутений	101,1
45	Rh	Родий	102,9
46	Pd	Палладий	106,4
47	Ag	Серебро (аргентум)	107,9
48	Cd	Кадмий	112,4
49	In	Индий	114,8
50	Sn	Олово (станум)	118,7

Порядковый номер	Символ элемента	Русское и латинское (приведено в скобках) произношение	Атомная масса, Da
32	Ge	Германий	72,64
33	As	Мышьяк (арсеникум)	74,92
34	Se	Селен	78,96
55	Cs	Цезий	132,9
56	Ba	Барий	137,3
57	La	Лантан	138,9
58-71 - лантаноиды			
72	Hf	Гафний	178,5
73	Ta	Тантал	180,9
74	W	Вольфрам	183,8
75	Re	Рений	186,2
76	Os	Осмий	190,2
77	Ir	Иридий	192,2
78	Pt	Платина	195,1
79	Au	Золото (аурум)	197,0
80	Hg	Ртуть (гидраргирум)	200,6
81	Tl	Таллий	204,4
82	Pb	Свинец (плюмбум)	207,2
83	Bi	Висмут	209,0

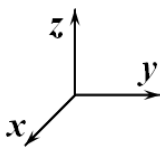
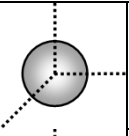
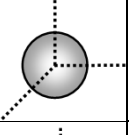
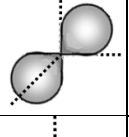
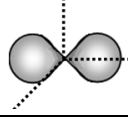
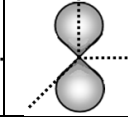
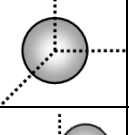
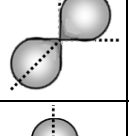
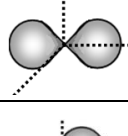
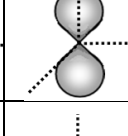
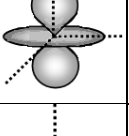
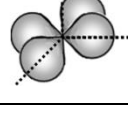
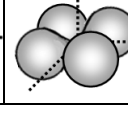
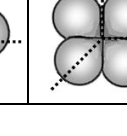
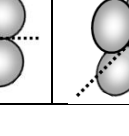
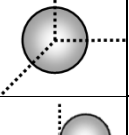
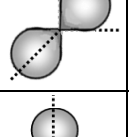
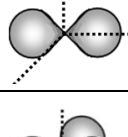
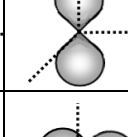
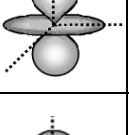
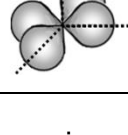
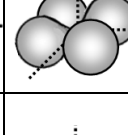
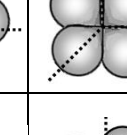
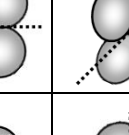
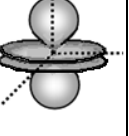
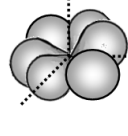
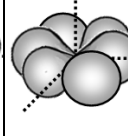
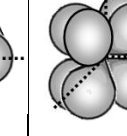
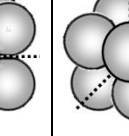
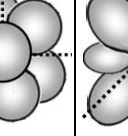
Порядковый номер	Символ элемента	Русское и латинское (приведено в скобках) произношение	Атомная масса, Da	Порядковый номер	Символ элемента	Русское и латинское (приведено в скобках) произношение	Атомная масса, Da
51	Sb	Сурьма (стибиум)	121,8	84	Po	Полоний	[209]
52	Te	Теллур	127,6	85	At	Астат	[210]
53	I	Иод	126,9	86	Rn	Радон	[222]
54	Xe	Ксенон	131,3	87	Fr	Франций	[223]
88	Ra	Радий	[226]	106	Sg	Сиборгий	[266]
89	Ac	Актиний	[227]	107	Bh	Борий	[264]
90-103 - актиноиды				108	Hs	Хассий	[277]
104	Rf	Резерфордий	[261]	109	Mt	Мейтнерий	[268]
105	Db	Дубний	[262]	110	Ds	Дармштадтий	[271]

**Таблица 2.** Электроотрицательность элементов по Полингу

<b>H</b> 2,20									
<b>Li</b> 0,98	<b>Be</b> 1,57	<b>B</b> 2,04	<b>C</b> 2,55	<b>N</b> 3,04	<b>O</b> 3,44	<b>F</b> 3,98			
<b>Na</b> 0,93	<b>Mg</b> 1,31	<b>Al</b> 1,61	<b>Si</b> 1,90	<b>P</b> 2,19	<b>S</b> 2,58	<b>Cl</b> 3,16			
<b>K</b> 0,82	<b>Ca</b> 1,00	<b>Sc</b> 1,36	<b>Ti</b> 1,54	<b>V</b> 1,63	<b>Cr</b> 1,66	<b>Mn</b> 1,55	<b>Fe</b> 1,83	<b>Co</b> 1,88	<b>Ni</b> 1,91
<b>Cu</b> 2,00	<b>Zn</b> 1,65	<b>Ga</b> 1,81	<b>Ge</b> 2,01	<b>As</b> 2,18	<b>Se</b> 2,55	<b>Br</b> 2,96			
<b>Rb</b> 0,82	<b>Sr</b> 0,95	<b>Y</b> 1,22	<b>Zr</b> 1,33	<b>Nb</b> 1,60	<b>Mo</b> 2,16	<b>Tc</b> 1,90	<b>Ru</b> 2,20	<b>Rh</b> 2,28	<b>Pd</b> 2,20
<b>Ag</b> 1,93	<b>Cd</b> 1,69	<b>In</b> 1,78	<b>Sn</b> 1,80	<b>Sb</b> 2,05	<b>Te</b> 2,10	<b>I</b> 2,66			
<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>La</b>	<b>Hf</b>	<b>Ta</b>	<b>W</b>	<b>Re</b>	<b>Os</b>	<b>Ir</b>	<b>Pt</b>

0,79	0,89	1,10	1,30	1,50	2,36	1,90	2,20	2,20	2,28
<b>Au</b> 2,54	<b>Hg</b> 2,00	<b>Tl</b> 2,04	<b>Pb</b> 2,33	<b>Bi</b> 2,02	<b>Po</b> 2,00	<b>At</b> 2,20			
<b>Fr</b> 0,70	<b>Ra</b> 0,90	<b>Ac</b> 1,10	<b>Rf</b> --	<b>Db</b> --	<b>Sg</b> --	<b>Bh</b> --	<b>Hs</b> --	<b>Mt</b> --	<b>Ds</b> --

**Таблица 3.** Форма и расположение в пространстве атомных орбиталей

Главное квантовое число $n$	Обозначение энергетического подуровня	Форма и направленность атомной орбитали в пространстве					
							
1	1s						
	2s						
2	2p						
	3s						
3	3p						
	3d						
	4s						
4	4p						
	4d						
	4f						



**Таблица 4.** Электрохимический ряд напряжений металлов

Электрод	Электродная реакция	$E^\circ$ , В	
$\text{Li}^+ / \text{Li}$	$\text{Li}^+ + \bar{e} \rightarrow \text{Li}$	-3,04	Наиболее активные
$\text{Cs}^+ / \text{Cs}$	$\text{Cs}^+ + \bar{e} \rightarrow \text{Cs}$	-3,03	
$\text{Rb}^+ / \text{Rb}$	$\text{Rb}^+ + \bar{e} \rightarrow \text{Rb}$	-2,98	
$\text{K}^+ / \text{K}$	$\text{K}^+ + \bar{e} \rightarrow \text{K}$	-2,92	
$\text{Ba}^{2+} / \text{Ba}$	$\text{Ba}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Ba}$	-2,90	
$\text{Fr}^+ / \text{Fr}$	$\text{Fr}^+ + \bar{e} \rightarrow \text{Fr}$	-2,92	
$\text{Sr}^{2+} / \text{Sr}$	$\text{Sr}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Sr}$	-2,90	
$\text{Ca}^{2+} / \text{Ca}$	$\text{Ca}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Ca}$	-2,87	
$\text{Na}^+ / \text{Na}$	$\text{Na}^+ + \bar{e} \rightarrow \text{Na}$	-2,71	
$\text{Mg}^{2+} / \text{Mg}$	$\text{Mg}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Mg}$	-2,36	
$\text{Be}^{2+} / \text{Be}$	$\text{Be}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Be}$	-1,85	
$\text{Al}^{3+} / \text{Al}$	$\text{Al}^{3+} + 3\bar{e} \rightarrow \text{Al}$	-1,66	
$\text{Ti}^{2+} / \text{Ti}$	$\text{Ti}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Ti}$	-1,63	
$\text{Mn}^{2+} / \text{Mn}$	$\text{Mn}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Mn}$	-1,18	
$\text{Cr}^{2+} / \text{Cr}$	$\text{Cr}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Cr}$	-0,85	
$\text{Zn}^{2+} / \text{Zn}$	$\text{Zn}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Zn}$	-0,76	
$\text{Cr}^{3+} / \text{Cr}$	$\text{Cr}^{3+} + 3\bar{e} \rightarrow \text{Cr}$	-0,74	
$\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}$	$\text{Fe}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Fe}$	-0,44	
$\text{Cd}^{2+} / \text{Cd}$	$\text{Cd}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Cd}$	-0,40	
$\text{Co}^{2+} / \text{Co}$	$\text{Co}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Co}$	-0,28	
$\text{Ni}^{2+} / \text{Ni}$	$\text{Ni}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Ni}$	-0,25	
$\text{Sn}^{2+} / \text{Sn}$	$\text{Sn}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Sn}$	-0,14	Малоактивные
$\text{Pb}^{2+} / \text{Pb}$	$\text{Pb}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Pb}$	-0,13	
$\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}$	$\text{Fe}^{3+} + 3\bar{e} \rightarrow \text{Fe}$	-0,04	
$2\text{H}^+ / \text{H}_2$	$2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightarrow \text{H}_2$	<b>0,00</b>	
$\text{Cu}^{2+} / \text{Cu}$	$\text{Cu}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Cu}$	0,34	
$\text{Cu}^+ / \text{Cu}$	$\text{Cu}^+ + \bar{e} \rightarrow \text{Cu}$	0,52	
$\text{Ag}^+ / \text{Ag}$	$\text{Ag}^+ + \bar{e} \rightarrow \text{Ag}$	0,80	
$\text{Hg}^{2+} / \text{Hg}$	$\text{Hg}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Hg}$	0,85	
$\text{Pt}^{2+} / \text{Pt}$	$\text{Pt}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Pt}$	1,28	
$\text{Au}^+ / \text{Au}$	$\text{Au}^+ + \bar{e} \rightarrow \text{Au}$	1,50	

↑  
Увеличение восстановительной активности металла

Таблица 3. Растворимость кислот, оснований и солей в воде при 20°C

	H <sup>+</sup>	Li <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Sr <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Co <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Ag <sup>+</sup>	Hg <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Sn <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	
OH <sup>-</sup>		P	P	P	P	P	M	H	M	H	H	H	H	H	H	H	H	H	-	-	H	H	H
F <sup>-</sup>	P	M	P	P	P	M	H	H	H	M	H	H	H	P	P	P	P	P	-	-	H	P	P
Cl <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	H	P	M	P	P
Br <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	H	M	M	P	P
I <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	P	P	P	P	P	H	H	H	M	-
S <sup>2-</sup>	P	P	P	P	P	-	-	-	H	-	-	H	-	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
HS <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	-	-	-	-	H	-	-	-	-	-	-	-	-
SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	P	P	P	P	P	H	H	M	H	-	-	H	-	H	H	-	M	H	H	H	-	-	-
HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P	-	P	P	P	P	P	P	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	P	P	P	P	P	H	M	M	H	P	P	P	P	P	P	P	P	M	-	-	H	P	P
HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	H	-	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	P
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	-	-	-	P	M	-	-	-	M	-	-	-	-
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	P	H	P	P	-	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	P	-	P	P	P	H	H	M	H	-	-	H	-	-	-	H	-	-	-	-	M	H	-
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	-	P	-	-	-	P	P	P	P	-	-	-	-
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	P	P	P	P	P	H	H	H	H	-	-	H	-	H	H	H	H	H	H	-	H	-	H
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	-	P	-	-	-	-	-	-	-	-	P	-	-
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	-	P	-	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	H	H	P	P	-	H	H	H	H	-	-	H	-	-	-	H	H	H	-	-	H	-	-

**P** – растворится (более 1г в 100г воды), **M** – мало растворится (от 0,1 до 1г в 100г воды),  
**H** – не растворится (менее 1г в 100г воды), (-) – разлагается в воде или не существует

## Константы диссоциации ( $K_d$ ) слабых электролитов при 25°C

(в скобках указана степень диссоциации).

Электролит	Формула	$K_d$
Азотистая кислота	$\text{HNO}_2$	$4,3 \cdot 10^{-4}$
Борная кислота	$\text{H}_3\text{BO}_3$	$5,8 \cdot 10^{-10}$ (I)
Гидроксид аммония	$\text{NH}_4\text{OH}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$
Кремневая кислота	$\text{H}_2\text{SiO}_3$	$2,2 \cdot 10^{-10}$ (I) $1,6 \cdot 10^{-12}$ (II)
Муравьиная кислота	$\text{HCOOH}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Сернистая кислота	$\text{H}_2\text{SO}_3$	$1,5 \cdot 10^{-2}$ (I) $1,0 \cdot 10^{-7}$ (II)
Сероводородная кислота	$\text{H}_2\text{S}$	$9,5 \cdot 10^{-8}$ (I) $1,0 \cdot 10^{-14}$ (II)
Угольная кислота	$\text{H}_2\text{CO}_3$	$4,3 \cdot 10^{-7}$ (I) $4,7 \cdot 10^{-11}$ (II)
Уксусная кислота	$\text{CH}_3\text{COOH}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Фосфорная кислота	$\text{H}_3\text{PO}_4$	$7,1 \cdot 10^{-3}$ (I) $6,2 \cdot 10^{-8}$ (II) $5,0 \cdot 10^{-10}$ (III)
Фтороводородная кислота	$\text{HF}$	$6,6 \cdot 10^{-4}$
Хлорноватистая кислота	$\text{HOCl}$	$3,9 \cdot 10^{-8}$
Циановодородная кислота	$\text{HCN}$	$5,0 \cdot 10^{-10}$

### Использованная литература

1. Пищевые добавки энциклопедия / Автор-составитель Л. А. Сарафанова / Второе издание, исправленное и дополненное Санкт-Петербург, ГИОРД, 2004,

2. Хомченко Г. П. Неорганическая химия: учебник для студентов сельско-хозяйственных вузов / Г. П. Хомченко, И. К. Цитович . – СПб.: Гранит, 2009. – 464 с.

3. Неорганическая химия : биогенные и абиогенные элементы : учеб. пособие для студентов вузов / под ред. В. В. Егорова. – СПб. : Лань, 2009. – 314 с.

4. Перегончая, О.В. Общая химия : учебное пособие / О.В. Перегончая. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет, 2013. – 162 с.  
<URL:<http://catalog.vsau.ru/elib/books/b86649.pdf>>

5. Неорганическая химия: лабораторный практикум [сост.: С. А. Соколова, О. В. Перегончая, О. В. Дьяконова, С. В. Ткаченко]. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет, 2017. – 92 с.

Базы данных и интернет-источники информации

<http://www.xumuk.ru/encyklopedia>

<http://ru.wikipedia.org/wiki>

<http://chemistry.vsau.ru>

# СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ I. Неорганическая химия ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ СТЕХИОМЕТРИИ **Ошибка! Закладка не определена.**

§ 1.1 Основные стехиометрические понятия **Ошибка! Закладка не определена.**

§ 1.2 Основные стехиометрические законы **Ошибка! Закладка не определена.**

2 СТРОЕНИЕ АТОМА. ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН И ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ. ХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

§ 2.1 Строение атома..... **Ошибка! Закладка не определена.**

§ 2.2 Периодический закон и периодическая система химических элементов ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

§ 2.3 Химическая связь ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

§ 2.4. Представление о комплексных соединениях **Ошибка! Закладка не определена.**

3 ОБЩИЕ СВОЙСТВА НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ **Ошибка! Закладка не определена.**

§ 3.1 Простые вещества ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

§ 3.2 Оксиды ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

§ 3.3 Основания ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

§ 3.4 Кислоты..... **Ошибка! Закладка не определена.**

§ 3.5 Амфотерные гидроксиды или амфолиты **Ошибка! Закладка не определена.**

§ 3.6 Соли ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

РАЗДЕЛ II. Органическая химия..... 1

ПРИЛОЖЕНИЯ ..... 16

Таблица 1 Порядковые номера, атомные массы и названия элементов Периодической системы (без лантаноидов и актиноидов)..... 108

Таблица 2. Электроотрицательность элементов по Полингу..... 110

Таблица 4. Электрохимический ряд напряжений металлов..... 113

Константы диссоциации ( $K_d$ ) слабых электролитов при 25°C ..... 115  
(в скобках указана степень диссоциации). ..... 115

использованная литература ..... 115

1. ПИЩЕВЫЕ ДОБАВКИ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ..... 115