

РАЗДЕЛ 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Предмет органической химии

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

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

Основой (родоначальной структурой) всех органических соединений являются *углеводороды – сложные вещества, состоящие только из атомов углерода и водорода*. Путем замещения атомов водорода в углеводородах на другие атомы или группы атомов образуются различные классы органических соединений. Поэтому все органические вещества можно рассматривать как производные углеводородов, а органическую химию можно назвать *«химией углеводородов и их производных»*.

Причины выделения органической химии в самостоятельную науку следующие:

- 1) число известных органических соединений по данным CAS (*Chemical Abstracts Service* – химическая реферативная служба) превышает 50 миллионов, что намного больше числа соединений всех остальных элементов. В настоящее время известно более 700 тыс. неорганических соединений, тогда как 200-300 тыс. новых органических соединений получают ежегодно;
- 2) органические вещества в силу их многообразия имеют важное практическое и биологическое значение;
- 3) установлены существенные различия в свойствах и реакционной способности органических и неорганических соединений, что

Раздел 1

привело к развитию специфических методов исследования органических веществ.

Теория химического строения органических соединений

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);

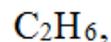
2) четырехвалентность атома углерода (немецкий химик Фридрих Кекуле);

3) способность атомов углерода соединяться между собой в цепи открытого и замкнутого строения (шотландский химик Арчибальд Скотт Купер).

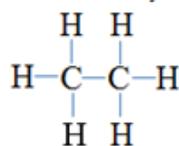
Основные положения теории строения следующие:

1. В молекуле веществ существует определенный порядок связей атомов, называемый химическим строением.
2. Строение молекулы вещества выражается определенной формулой, присущей данному веществу и отражающей как его строение, так и его свойства. Существуют разные способы написания молекулярных формул органических соединений:

общая, или брутто формула –

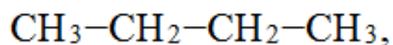


полная структурная формула –

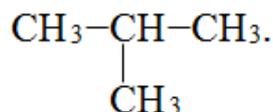


сокращенная структурная формула – $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_3$.

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



н-бутан



изобутан

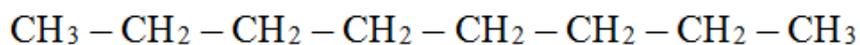
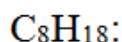
4. Химические свойства вещества зависят от его состава и строения, вследствие этого, изучая химические свойства вещества, можно установить его строение и, наоборот, зная строение вещества, можно определить его химические свойства.
5. Атомы в молекуле, связанные как непосредственно, так и через другие 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, которые были получены впоследствии. В дальнейшем эта теория получила развитие и дополнения.

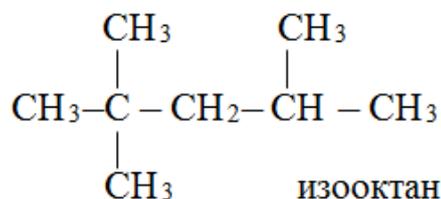
Виды изомерии органических соединений

1. Структурная изомерия:

а) изомерия углеродной цепи (скелета):

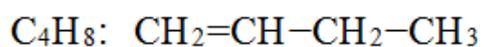


н-октан

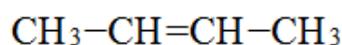


изооктан (2,2,4-триметилпентан)

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



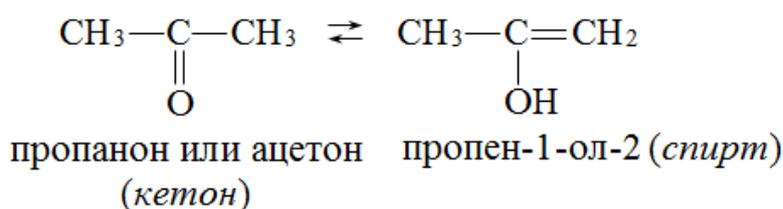
бутен-1



бутен-2

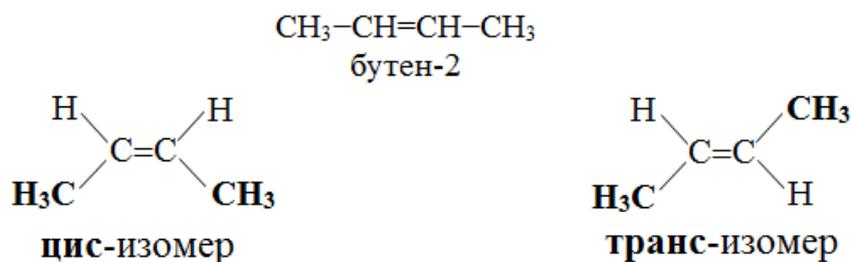
Раздел 1

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

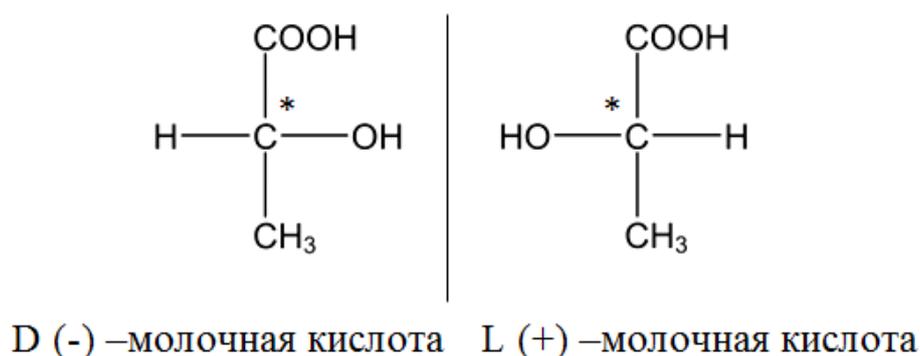


2. Пространственная, или стереоизомерия:

а) геометрическая (цис-, транс-) изомерия, обусловленная различным расположением фрагментов молекулы относительно 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:



Классификация органических соединений

Классификация органических соединений основана на следующих признаках:

I. **Строение углеродного скелета.**

II. **Тип связи в углеродном скелете.**

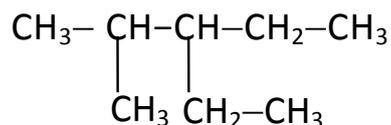
III. **Наличие функциональных групп.**

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

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



пентан

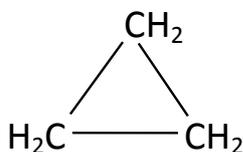


2-метил-3-этилпентан

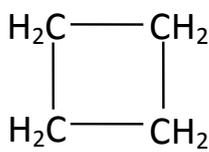
2. **Циклические, которые подразделяются на:**

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

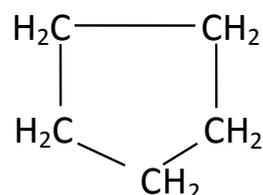
В свою очередь эти соединения делятся на **алициклические**:



циклопропан

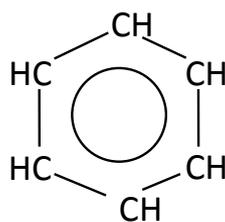


циклобутан



циклопентан

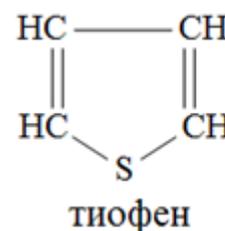
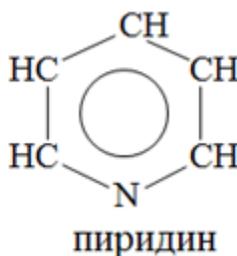
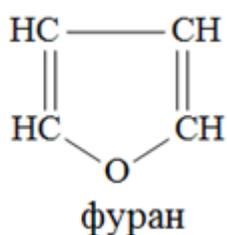
и **ароматические**:



бензол

Раздел 1

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

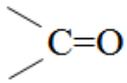
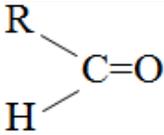
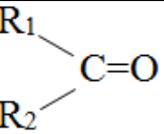
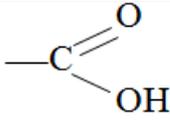
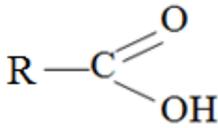
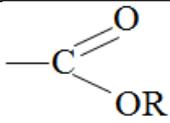
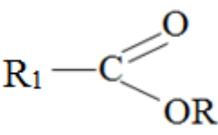


II. Органические соединения по **типу связи** в углеводородном радикале подразделяют на **предельные** (*насыщенные*), содержащие только σ -связи, и **непредельные** (*ненасыщенные*) – с *кратными* (т.е. двойными или тройными) связями, содержащие то или иное количество π -связей. В отдельную группу выделяют **ароматические** соединения, содержащие замкнутую сопряженную π -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.

Таблица 3 Классы органических соединений

Функциональная группа	Название класса	Общая формула класса
–	Углеводороды	$R^* - H$,
–Hal (–F, –Cl, –Br, –I) галоген	Галогенпроизводные углеводородов	$R-Hal$
<i>Кислородсодержащие соединения</i>		
–OH гидроксильная (гидроксил)	Спирты, фенолы	$R-OH$
–OR простая эфирная (алкокси)	Простые эфиры	R_1-OR
 карбонильная	Альдегиды	
	Кетоны	
 карбоксильная	Карбоновые кислоты	
 сложноэфирная (ацильная)	Сложные эфиры	
<i>Азотсодержащие соединения</i>		
–NO ₂ нитрогруппа	Нитросоединения	$R-NO_2$
–NH ₂ аминогруппа	Амины	$R-NH_2$

* R – углеводородный радикал предельного, непредельного, циклического или ароматического строения

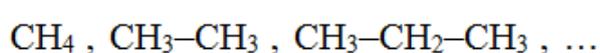
Раздел 1

Функциональная группа	Название класса	Общая формула класса
$-\text{C}\equiv\text{N}$ нитрильная группа	Нитрилы	$\text{R}-\text{C}\equiv\text{N}$
<i>Серосодержащие соединения</i>		
$-\text{SO}_3\text{H}$ сульфогруппа	Сульфокислоты	$\text{R}-\text{SO}_3\text{H}$
$-\text{SH}$ меркаптогруппа	Тиолы	$\text{R}-\text{SH}$

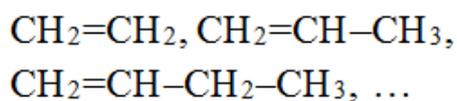
Представители указанных в табл. 3 классов играют важнейшую роль в биологических и технологических процессах.

В каждом классе органических соединений существуют гомологические ряды. **Гомологический ряд** образуют соединения, сходные по строению и свойствам, но отличающиеся количеством групп $-\text{CH}_2-$. Отдельные представители такого ряда называются «**гомологами**».

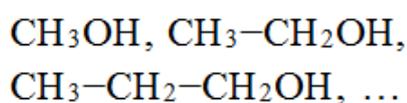
Примеры гомологических рядов:



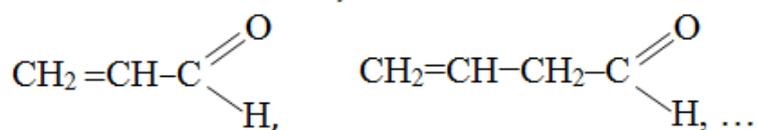
- предельные углеводороды (алканы);



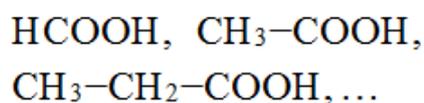
- непредельные углеводороды (алкены);



- предельные одноатомные спирты;



- непредельные альдегиды;



- предельные одноосновные карбоновые кислоты.

Наиболее важные представители гомологических рядов углеводородов приведены в приложении.

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.

В 1892 г. на Международном химическом конгрессе в Женеве была принята «Женевская номенклатура», фундаментом которой явилась теория строения органических соединений А. М. Бутлерова. Это был первый вариант так называемой *заместительной* номенклатуры, согласно которой молекулы органического соединения рассматриваются как продукты замещения атомов водорода в молекулах углеводов на другие атомы или группы атомов – заместители. Принципы заместительной номенклатуры получили развитие и в «Льежской номенклатуре», принятой в 1930 г.

Среди вариантов современных систематических номенклатур, рекомендуемых Международной комиссией по номенклатуре IUPAC^{1*} (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 – это функциональная группа, связанная с родоначальной структурой. 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 4 эти группы приведены в порядке его убывания. Название старшей ха-

^{1*} 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*»

рактической группы, связанной с главной углеродной цепью, обозначается с помощью суффикса. Для всех других характеристических групп употребляются только соответствующие префиксы (приставки) в названиях.

Таблица 4

Префиксы и суффиксы для обозначения некоторых характеристических групп

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

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

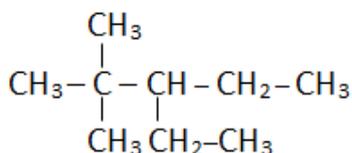
В качестве главной цепи, как правило, выбирают наиболее сложную и длинную углеводородную цепь. Нумерацию атомов углерода в главной цепи начинают с того конца цепи, ближе к которому расположена старшая группа. Если данных возможностей оказывае-

ся несколько, то нумерацию проводят таким образом, чтобы либо кратная связь, либо другой заместитель, имеющийся в молекуле, получили наименьший номер.

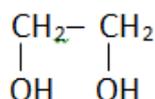
В общем случае названия молекул органических соединений в рамках номенклатуры ИЮПАК выражают при помощи сложных слов-названий, включающих следующие фрагменты:

- 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.;
- б) локанты – цифры или буквы, указывающие порядок соединения составных частей формулы;
- 7) разделительные знаки – дефисы, запятые, скобки.

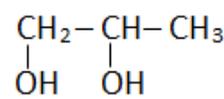
Примеры составления систематических названий некоторых органических соединений:



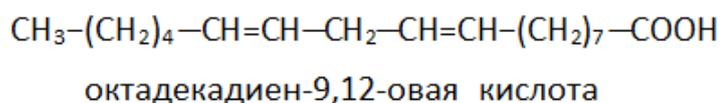
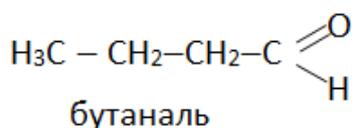
2, 2-диметил-3-этилпентан

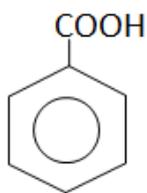


этандиол-1,2

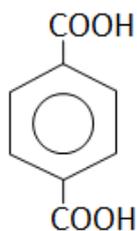


пропандиол-1, 2





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.).

Типы реакций в органической химии

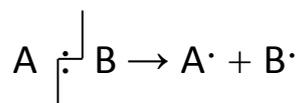
Химические реакции - это процессы, при которых происходит перераспределение электронной плотности, образующей химическую связь. Все химические превращения могут осуществляться в строго определенных условиях (температура, давление, катализатор, растворитель) и в значительной мере зависят от механизма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

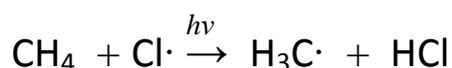
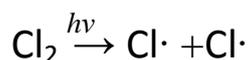
По способу разрыва валентных связей реакции разделяют на две большие группы:

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



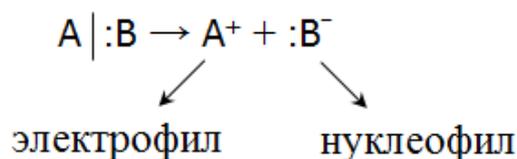
Частица с неспаренным электроном называется **свободным радикалом**.

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



Реакции радикального замещения часто носят цепной характер.

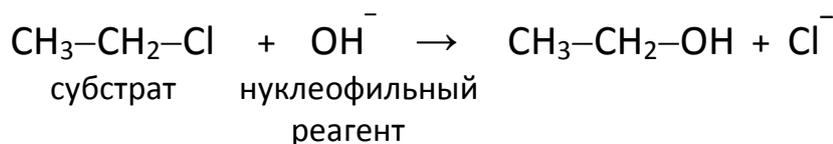
б) **Гетеролитические** (ионные) реакции - разрыв ковалентной связи происходит так, что оба связывающих электрона остаются у одного из первоначально связанных атомов:



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

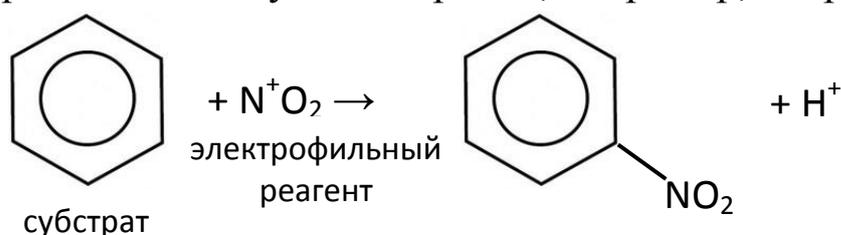
Гетеролитические реакции различают по виду действующей частицы (реагента). **Нуклеофил** - это частица, имеющая свободную пару электронов на внешнем энергетическом уровне, за счет которой она способна образовывать новую ковалентную связь: I^- , $\ddot{\text{O}}\text{H}^-$, $\ddot{\text{N}}\text{H}_3$, CN^- , $\text{H}_2\ddot{\text{O}}$, RO^- , RCOO^- , $\text{C}_2\text{H}_5\ddot{\text{O}}\text{H}$. Реакции с участием таких частиц называются нуклеофильными.

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

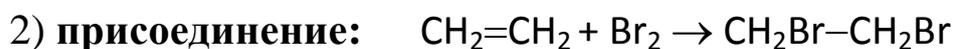


Электрофил – частица с электронным дефицитом, имеющая не-

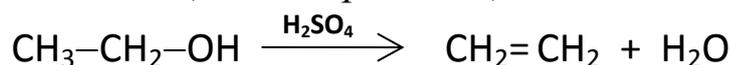
заполненный валентный электронный уровень: H^+ , $\overset{+}{\text{N}}\text{O}_2$, $\overset{+}{\text{S}}\text{O}_3\text{H}$, $\text{R}-\overset{+}{\text{C}}=\text{O}$, AlCl_3 , BF_3 . Электрофил предоставляет вакантные орбитали для образования связи. Реакции с реагентами такого типа называют электрофильными. Реакции электрофильного замещения характерны для ароматических углеводородов, например, нитрование бензола.



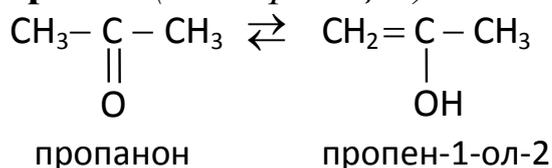
Кроме того, в органической химии реакции часто классифицируют так же, как и в неорганической химии – по структурному признаку. В органической химии все структурные изменения рассматривают относительно атома (или атомов) углерода. Наиболее часто встречаются следующие типы превращений:



3) **отщепление (элиминирование):**



4) **перегруппировка (изомеризация):**



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

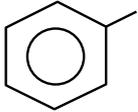
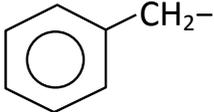
✎ Контрольные вопросы и задания

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.

Приложение 1

Таблица 1

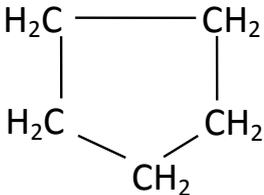
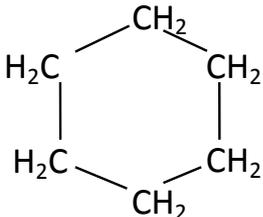
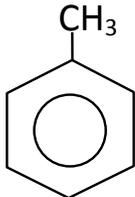
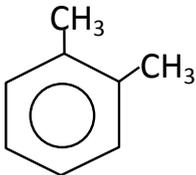
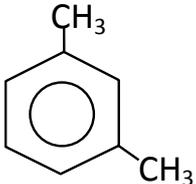
Названия важнейших радикалов

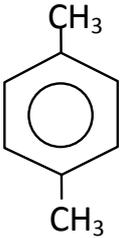
Радикал	Название
CH_3-	метил
CH_3-CH_2-	этил
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	пропил
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \\ \phantom{\text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_3} \end{array}$	изопропил
$\text{CH}_2=\text{CH}-$	винил
	фенил
	бензил

Важнейшие углеводороды

Формула	Название по номенклатуре ИЮПАК (тривиальное)
Углеводороды	
<i>а) предельные ациклические:</i>	
C_nH_{2n+2}	Алканы
CH_4	метан
CH_3-CH_3	этан
$CH_3-CH_2-CH_3$	пропан
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$	бутан
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	пентан
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	гексан
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	гептан
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	октан
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	нонан
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	декан
<i>б) непредельные ациклические:</i>	
C_nH_{2n}	Алкены
$CH_2=CH_2$	этен (этилен)
$CH_2=CH-CH_3$	пропен
$CH_2=CH-CH_2-CH_3$	бутен-1
$CH_3-CH=CH-CH_3$	бутен-2

Формула	Название
C_nH_{2n-2}	Алкины
$CH \equiv CH$	этин (ацетилен)
$CH \equiv C - CH_3$	пропин
$CH \equiv C - CH_2 - CH_3$	бутин-1
$CH_3 - C \equiv C - CH_3$	бутин-2
C_nH_{2n-2}	Алкадиены
$CH_2 = CH - CH = CH_2$	бутадиен-1,3 (дивинил)
$ \begin{array}{c} CH_2 = C - CH = CH_2 \\ \\ CH_3 \end{array} $	2-метилбутадиен-1,3 (изопрен)
<i>в) предельные циклические:</i>	
C_nH_{2n}	Циклоалканы
$ \begin{array}{c} CH_2 \\ / \quad \backslash \\ H_2C \text{ --- } CH_2 \end{array} $	циклопропан
$ \begin{array}{cc} H_2C & \text{---} & CH_2 \\ & & \\ H_2C & \text{---} & CH_2 \end{array} $	циклобутан

Формула	Название
	циклопентан
	циклогексан
г) ароматические:	
C_nH_{2n-6}	Арены
	бензол
	толуол (метилбензол)
	1,2-диметилбензол (орто-ксилол)
	1,3-диметилбензол (мета-ксилол)

Формула	Название
 <p>The image shows the chemical structure of 1,4-dimethylbenzene. It consists of a central benzene ring, represented as a hexagon with an inscribed circle. Two methyl groups, labeled 'CH₃', are attached to the ring at the 1 and 4 positions, which are opposite each other (para-substitution).</p>	<p>1,4-диметилбензол (пара-ксилол)</p>

