



Учреждение образования  
«Белорусская государственная  
орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени  
сельскохозяйственная академия»



**Кафедра биологии растений и химии**

# **ХИМИЯ**

**Теоретический раздел**

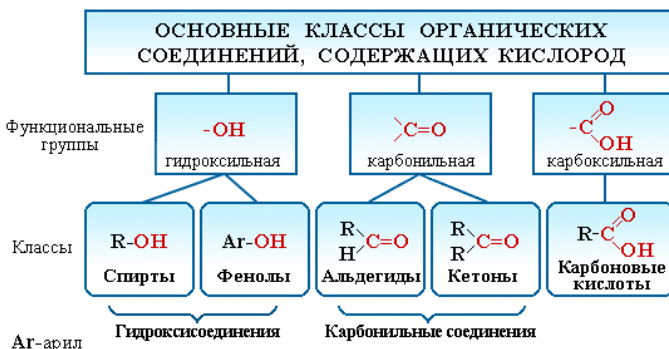
**Лекция**

**Общие закономерности строения и  
реакционной способности кислородсодержащих  
органических соединений**



## 1. Классификация кислородсодержащих органических соединений

Существует огромное число органических соединений, в состав которых наряду с углеродом и водородом входит кислород. Атом кислорода содержится в различных функциональных группах, определяющих принадлежность соединения к конкретному классу.



Соединения каждого класса образуют различные производные. Например, к производным спиртов относятся простые эфиры  $\text{ROR}'$ , к производным карбоновых кислот – сложные эфиры  $\text{RCOOR}'$ , амиды  $\text{RCONH}_2$ , ангидриды  $(\text{RCO})_2\text{O}$ , хлорангидриды  $\text{RCOCl}$  и т. д.

Кроме того, большую группу составляют гетерофункциональные соединения, содержащие различные функциональные группы:

- гидроксиальдегиды  $\text{HO-R-CHO}$ ;
- гидроксикетоны  $\text{HO-R-CO-R}'$ ;
- гидроксикислоты  $\text{HO-R-COOH}$  и т. п.

## 2. Спирты: свойства и получение

**Спирты** – соединения алифатического ряда, содержащие одну или несколько гидроксильных групп. Общая формула спиртов с одной гидроксигруппой –  $\text{R-OH}$ . Спирты классифицируют по различным структурным признакам.

По числу гидроксильных групп спирты подразделяются на одноатомные (одна группа  $\text{-OH}$ ), многоатомные (две и более групп  $\text{-OH}$ ).

Современное название многоатомных спиртов – полиолы (диолы, триолы и т. д.).

Примеры:

- двухатомный спирт –  $\text{HO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$  этиленгликоль (этандиол);
- трехатомный спирт –  $\text{HO-CH}_2\text{-CH(OH)-CH}_2\text{-OH}$  глицерин (пропантриол-1,2,3).



В зависимости от того, с каким атомом углерода (первичным, вторичным или третичным) связана гидроксигруппа, различают спирты:

первичные  $R-CH_2-OH$ ,

вторичные  $R_2CH-OH$ ,

третичные  $R_3C-OH$ .



В многоатомных спиртах различают первично-, вторично- и третичноспиртовые группы. Например, молекула трехатомного спирта глицерина содержит две первичноспиртовые ( $HO-CH_2-$ ) и одну вторичноспиртовую ( $-CH(OH)-$ ) группы.

По строению радикалов, связанных с атомом кислорода, спирты подразделяются следующим образом:

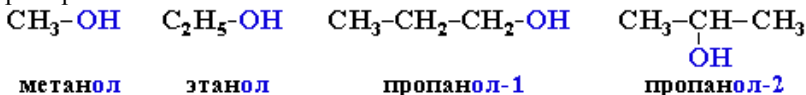
предельные, или алканола (например,  $CH_3CH_2-OH$ );

непредельные, или алкенола ( $CH_2=CH-CH_2-OH$ );

ароматические ( $C_6H_5CH_2-OH$ ).

Систематические названия даются по названию углеводорода с добавлением суффикса *-ол* и цифры, указывающей положение гидроксигруппы (если это необходимо).

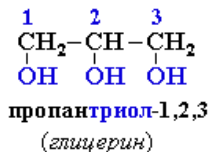
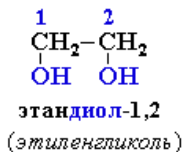
Например:



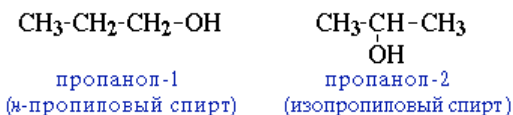
Нумерация ведется от ближайшего к  $OH$ -группе конца цепи. Цифра, отражающая местоположение  $OH$ -группы, в русском языке обычно ставится после суффикса *-ол*. Это разгружает словесную часть названия от цифр (например, 2-метилбутанол-1). В англоязычной литературе цифру ставят перед названием главной цепи: 2-метил-1-бутанол. Правила IUPAC разрешают учитывать особенности национально-го языка. По другому способу (радикально-функциональная номенклатура) названия спиртов производят от названий радикалов с добавлением слова «спирт». В соответствии с этим способом приведенные выше соединения называют: метиловый спирт, этиловый спирт, н-пропиловый спирт, изопропиловый спирт. В названиях многоатомных спиртов (полиолов) положение и число гидроксильных групп указывают



соответствующими цифрами и суффиксами *-диол* (две OH-группы), *-триол* (три OH-группы) и т. д. Например:



Для спиртов характерна структурная изомерия:  
изомерия положения OH-группы (начиная с C<sub>3</sub>):

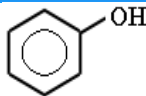


углеродного скелета (начиная с C<sub>4</sub>); например, формуле C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>OH соответствует 4 структурных изомера:

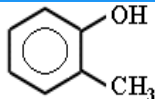


межклассовая изомерия с простыми эфирами (например, этиловый спирт CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>-OH и диметилвый эфир CH<sub>3</sub>-O-CH<sub>3</sub>).

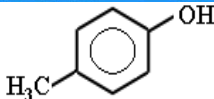
**Фенолы** – гидроксисоединения, в молекулах которых OH-группы связаны непосредственно с бензольным ядром.



Фенол



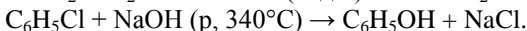
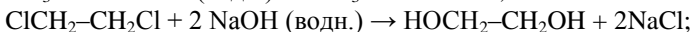
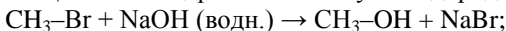
*орто*-Крезол  
(1-гидрокси-  
2-метилбензол)



*пара*-Крезол  
(1-гидрокси-  
4-метилбензол)

### Получение спиртов и фенолов

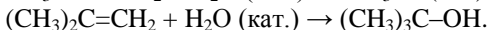
1. Щелочной гидролиз галогенуглеводородов:



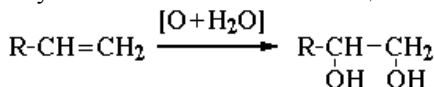
2. Гидратация алкенов:



Присоединение воды к несимметричным алкенам идет по правилу Марковникова с образованием вторичных и третичных спиртов:



3. Гликоли получают окислением алкенов щелочным раствором  $\text{KMnO}_4$ :



4. Кумольный способ получения фенола. Преимущества метода: безотходная технология (выход полезных продуктов более 99 %) и экономичность. В настоящее время кумольный способ используется как основной в мировом производстве фенола:



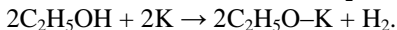
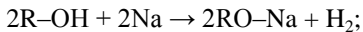
### Химические свойства спиртов и фенолов

Реакции по связи  $\text{O-H}$ . Легкость этих реакций и строение образующихся продуктов зависят от строения углеводородного радикала и взаимного влияния атомов. Реакционная способность одноатомных спиртов в реакциях по связи  $\text{O-H}$ :  $\text{CH}_3\text{OH} >$

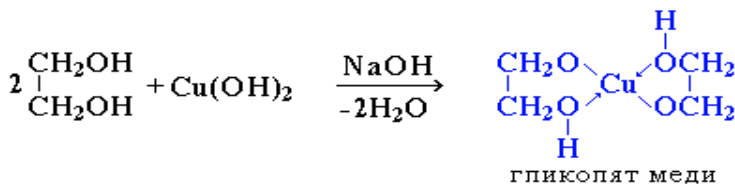


первичные > вторичные > третичные. К наиболее характерным реакциям гидроксисоединений, идущим с разрывом связи О–Н, относятся:

реакции замещения атома водорода на металл (кислотные свойства) – одноатомные спирты реагируют с активными металлами (Na, K, Mg, Al и др.), образуя соли – алкоголяты:



Многоатомные спирты с ОН-группами у соседних атомов углерода (этиленгликоль, глицерин и т. п.) являются более сильными кислотами, чем одноатомные спирты. Такие спирты, в отличие от одноатомных, взаимодействуют с раствором гидроксида меди(II) в присутствии щелочи, образуя комплексные соединения, окрашивающие раствор в ярко-синий цвет (качественная реакция):

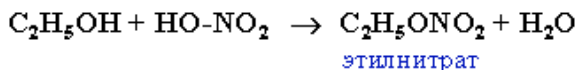
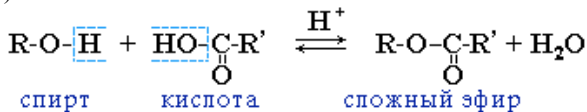


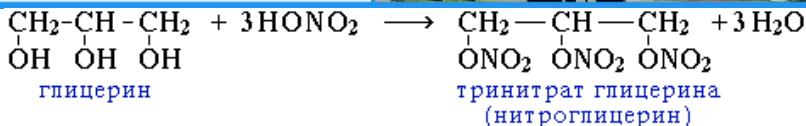
Фенолы являются более сильными кислотами, чем спирты и вода, так как за счет участия неподеленной электронной пары кислорода в сопряжении с π-электронной системой бензольного кольца полярность связи О–Н увеличивается.

Фенолы реагируют с гидроксидами щелочных и щелочноземельных металлов, образуя соли – феноляты:  $C_6H_5OH + NaOH \rightarrow C_6H_5ONa + H_2O$ .

Для обнаружения фенолов используется качественная реакция с хлоридом железа(III). Одноатомные фенолы дают устойчивое сине-фиолетовое окрашивание, что связано с образованием комплексных соединений железа.

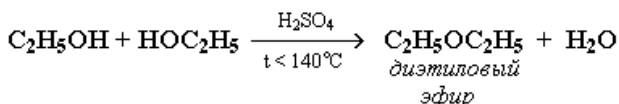
*Реакции замещения атома водорода на остаток кислоты (образование сложных эфиров).* Спирты вступают в реакции с минеральными и органическими кислотами, образуя сложные эфиры. Реакция обратима (обратный процесс – гидролиз сложных эфиров).



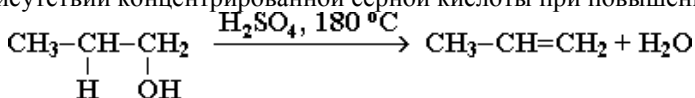


Реакционная способность одноатомных спиртов в этих реакциях убывает от первичных к третичным. Фенолы не образуют сложные эфиры в реакциях с кислотами.

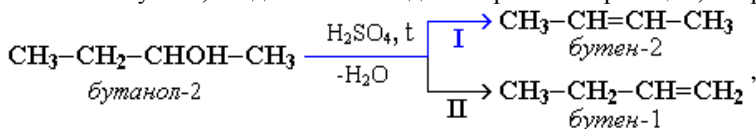
При межмолекулярной дегидратации спиртов также происходит нуклеофильное замещение: OH-группа в одной молекуле спирта замещается на группу OR другой молекулы:



*Реакции отщепления водорода при окислении и дегидрировании. Реакции дегидратации спиртов.* Отщепление воды от молекул спирта (дегидратация спиртов) в зависимости от условий происходит как внутримолекулярная или межмолекулярная реакция. Внутримолекулярная дегидратация спиртов с образованием алкенов идет в присутствии концентрированной серной кислоты при повышенной температуре:

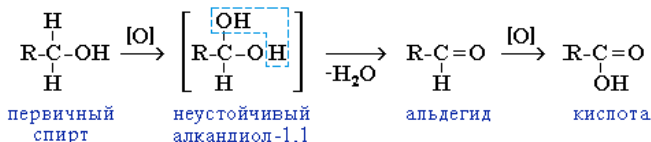


В тех случаях, когда возможны два направления реакции, например:

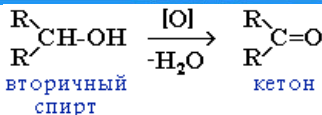


дегидратация идет преимущественно в направлении I, т. е. по правилу Зайцева – с образованием более замещенного алкена (водород отщепляется от менее гидрогенизированного атома углерода).

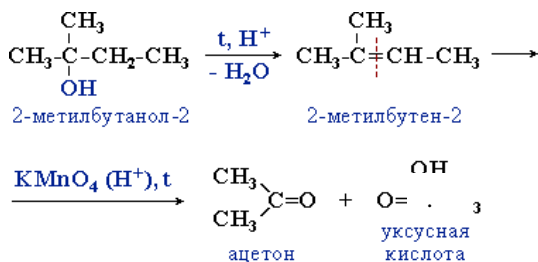
*Реакции окисления.* Окислители –  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{O}_2$  + катализатор. Легкость окисления спиртов уменьшается в ряду: первичные  $\geq$  вторичные  $\gg$  третичные. Первичные спирты при окислении образуют альдегиды, которые затем легко окисляются до карбоновых кислот:



При окислении вторичных спиртов образуются кетоны:

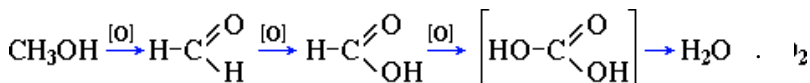


Третичные спирты более устойчивы к действию окислителей. Они окисляются только в жестких условиях (кислая среда, повышенная температура), что приводит к разрушению углеродного скелета молекулы и образованию смеси продуктов (карбоновых кислот и кетонов с меньшей молекулярной массой). Процесс идет через стадию дегидратации спирта с последующим деструктивным (жестким) окислением алкена. Например:



Предельное окисление гидроксисоединений до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  происходит при их сгорании, например:  $2\text{CH}_3\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ .

Полное окисление метанола идет по схеме:



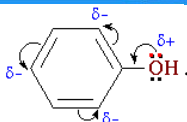
При сгорании спиртов выделяется большое количество тепла.



Благодаря высокой экзотермичности реакции горения этанола он считается перспективным и экологически чистым заменителем бензинового топлива в двигателях внутреннего сгорания. В лабораторной практике этанол применяется как горючее для спиртовок.

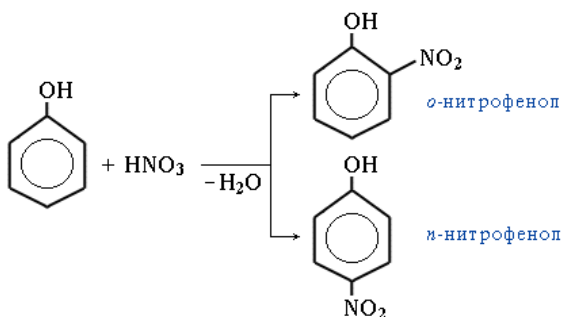
### 3. Фенол: свойства и получение

Взаимное влияние атомов в молекуле фенола проявляется не только в особенностях поведения гидроксигруппы, но и в большей реакционной способности бензольного ядра. Гидроксильная группа повышает электронную плотность в бензольном кольце, особенно в орто- и пара-положениях:

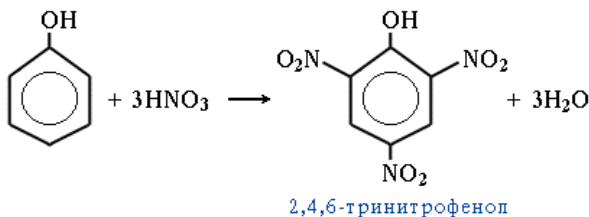


Поэтому фенол значительно активнее бензола вступает в реакции замещения в ароматическом кольце.

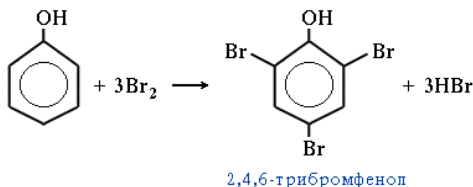
*Нитрование.* Под действием 20%-ной азотной кислоты  $\text{HNO}_3$  фенол легко превращается в смесь орто- и пара-нитрофенолов:



При использовании концентрированной  $\text{HNO}_3$  образуется 2,4,6-тринитрофенол (пикриновая кислота):



*Галогенирование.* Фенол легко при комнатной температуре взаимодействует с бромной водой с образованием белого осадка 2,4,6-tribромфенола (качественная реакция на фенол):





#### 4. Альдегиды: свойства и получение

Систематические названия альдегидов строят по названию соответствующего углеводорода с добавлением суффикса *-аль*. Нумерацию цепи начинают с карбонильного атома углерода. Тривиальные названия производят от тривиальных названий тех кислот, в которые альдегиды превращаются при окислении:

$\text{H}_2\text{C}=\text{O}$  метаналь, муравьиный альдегид (формальдегид);

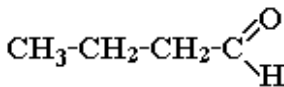
$\text{CH}_3\text{CH}=\text{O}$  этаналь, уксусный альдегид (ацетальдегид).

Систематические названия кетонов несложного строения производят от названий радикалов (в порядке увеличения) с добавлением слова *кетон* (радикально-функциональная номенклатура ИЮПАК).

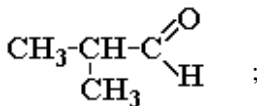
В более общем случае название кетона строится по названию соответствующего углеводорода и суффикса *-он*; нумерацию цепи начинают от конца цепи, ближайшего к карбонильной группе (заместительная номенклатура ИЮПАК). Примеры:  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$  – диметилкетон, пропанон (ацетон);  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COCH}_3$  – метилпропилкетон, пентанон-2.

Для альдегидов и кетонов характерна структурная изомерия.

Изомерия альдегидов: изомерия углеродного скелета, начиная с  $\text{C}_4$ :

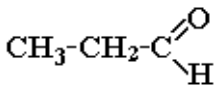


бутаналь

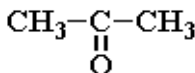


2-метилпропаналь

межклассовая изомерия с кетонами, начиная с  $\text{C}_3$ :



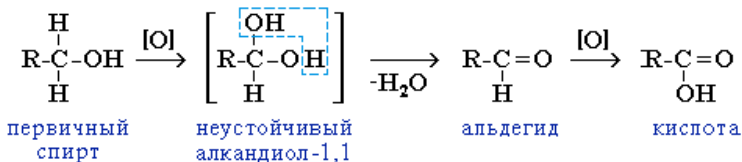
пропаналь



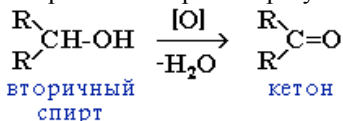
пропанон  
(ацетон)

#### *Получение альдегидов и кетонов*

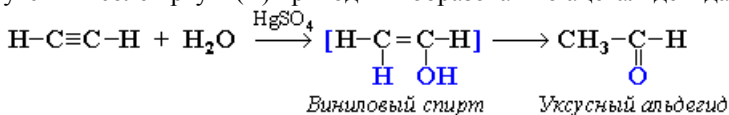
*Окисление спиртов.* Первичные спирты при окислении образуют альдегиды, которые затем легко окисляются до карбоновых кислот:



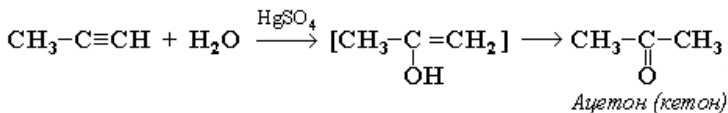
При окислении вторичных спиртов образуются кетоны:



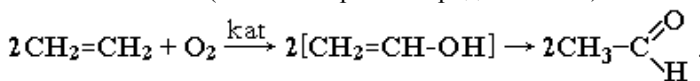
Гидратация алкинов (реакция Кучерова). Присоединение воды к ацетилену в присутствии солей ртути(II) приводит к образованию ацетальдегида:



Кетоны получают при гидратации других гомологов ряда алкинов:



Окисление алкенов (катализаторы – хлориды Pd и Cu):



Этот способ более перспективен, чем гидратация алкинов, при которой используются токсичные ртутные катализаторы.

### Химические свойства альдегидов на примере формальдегида

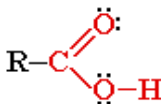
1. Восстановление:  $\text{HCOH} + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$  метанол.
2. Присоединение HCN:  $\text{HCOH} + \text{HCN} \rightarrow \text{NC}-\text{CH}_2\text{OH}$  оксинитрил.
3. Присоединение гидросульфита натрия:  
 $\text{HCOH} + \text{NaHSO}_3 \rightarrow \text{NaO}_3\text{S}-\text{CH}_2\text{OH}$ .
4. Присоединение спиртов:  
 $\text{HCOH} + 2\text{HOCH}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{H}_3\text{C}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_3$  диметилацеталь.



5. Тримеризация:  $3\text{HCOH} \rightarrow \text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$  триоксиметилен.
6. Окисление – реакция «серебряного зеркала»:  
 $\text{HCOH} + \text{Ag}_2\text{O} \rightarrow \text{HCOOH} + 2\text{Ag}$ .
7. С гидроксиламином:  $\text{HCOH} + \text{HONH}_2 \rightarrow \text{H}-\text{CH}=\text{N}-\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$  оксим.
8. С гидразином:  $\text{HCOH} + \text{NH}_2-\text{NH}_2 \rightarrow \text{H}-\text{CH}=\text{N}-\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{O}$  гидразон.
9. С пятихлористым фосфором:  $\text{HCOH} + \text{PCl}_5 \rightarrow \text{H}-\text{CHCl}_2 + \text{POCl}_3$ .

## 5. Карбоновые кислоты: свойства и получение

**Карбоновые кислоты** – органические соединения, содержащие одну или несколько карбоксильных групп – COOH. Карбоксильная группа содержит две функциональные группы – карбонил  $>\text{C}=\text{O}$  и гидроксил  $-\text{OH}$ , непосредственно связанные друг с другом:

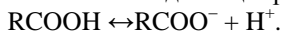


Систематические названия кислот даются по названию соответствующего углеводорода с добавлением суффикса *-овая* и слова *кислота*. Часто используются также тривиальные названия.

- HCOOH – метановая, муравьиная;
- CH<sub>3</sub>COOH – этановая, уксусная;
- C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>COOH – пропановая, пропионовая;
- C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>COOH – бутановая, масляная;
- C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>COOH – пентановая, валерьяновая;
- C<sub>5</sub>H<sub>11</sub>COOH – гексановая, капроновая;
- C<sub>15</sub>H<sub>31</sub>COOH – пальмитиновая;
- C<sub>17</sub>H<sub>35</sub>COOH – стеариновая.

Кислотные свойства карбоновых кислот обусловлены смещением электронной плотности к карбонильному кислороду и вызванной этим дополнительной (по сравнению со спиртами) поляризации связи O–H.

В водном растворе карбоновые кислоты диссоциируют на ионы:



Растворимость в воде и высокие температуры кипения кислот обусловлены образованием межмолекулярных водородных связей. С увеличением молекулярной массы растворимость кислот в воде уменьшается.

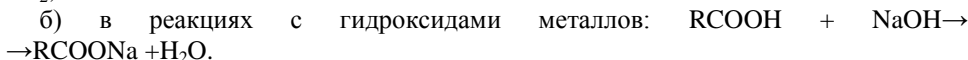
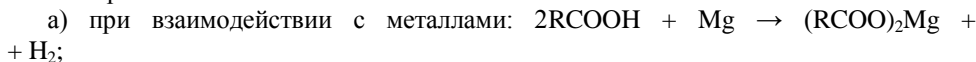
### *Химические свойства карбоновых кислот*

Карбоновые кислоты проявляют высокую реакционную способность. Они вступают в реакции с различными веществами и образуют разнообразные соединения,

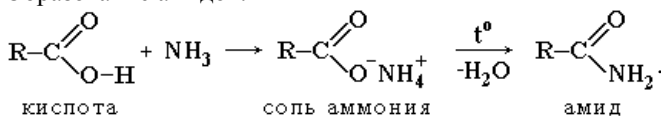


среди которых большое значение имеют функциональные производные, т. е. соединения, полученные в результате реакций по карбоксильной группе.

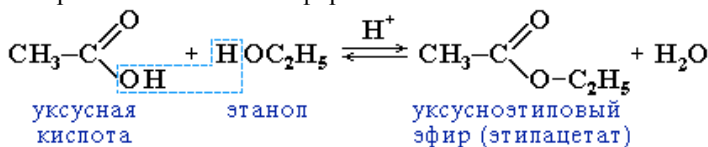
1. Образование солей:



2. Образование амидов:

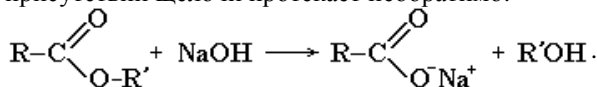


3. Образование сложных эфиров R'-COOR":



Реакция образования сложного эфира из кислоты и спирта называется реакцией этерификации (от лат. *ether* – эфир). Катализаторами являются минеральные кислоты. 3.

4. Обратный процесс – расщепление сложного эфира при действии воды с образованием карбоновой кислоты и спирта – называют *гидролизом сложного эфира*. Гидролиз в присутствии щелочи протекает необратимо:



Эта реакция называется омылением сложного эфира.



## ЛИТЕРАТУРА

### Основная

1. Ахметов, Н. С. Общая и неорганическая химия: учебник для вузов / Н. С. Ахметов. – М.: Высш. шк., 2006. – 743 с.
2. Барковский, Е. В. Аналитическая химия: учеб. пособие / Е. В. Барковский. – Минск: Высш. шк., 2004. – 351 с.
3. Введение в химию биогенных элементов и химический анализ: учеб. пособие / Е. В. Барковский [и др.]. – М.: Высш. шк., 1997. – 126 с.
4. Биохимия. Краткий курс с упражнениями и задачами / под ред. Е. С. Северина, А. Я. Николаева. – М.: ГЭОТАР-МЕД, 2001. – 448 с.
5. Биохимия животных: учебник для студ. зооинженер. и ветеринар. ф-тов с.-х. вузов / А. В. Четчин; под ред. А. В. Четчина. – М.: Высш. шк., 1982. – 511 с.
6. Грандберг, И. И. Органическая химия: учебник для студентов вузов, обучающихся по агрономическим специальностям / И. И. Грандберг. – 6-е изд., стер. – М.: Дрофа, 2004. – 672 с.
7. Жеребцов, Н. А. Биохимия: учебник / Н. А. Жеребцов, Т. Н. Попова, В. Г. Артюхов. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2002. – 696 с.
8. Князев, Д. А. Неорганическая химия / Д. А. Князев, С. Н. Смартыгин. – М.: Высш. шк., 1990. – 425 с.
9. Кононский, А. И. Биохимия животных: учебник для вузов / А. И. Кононский. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1980. – 432 с.
10. Практикум по общей и биоорганической химии: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / под ред. В. А. Попкова. – 3-е изд. – М.: Издат. центр «Академия», 2008. – 240 с.
11. Тюкавкина, Н. А. Биоорганическая химия: учебник / Н. А. Тюкавкина, Ю. И. Бауков. – М.: Дрофа, 2005. – 542 с.
12. Химия. Лабораторный практикум: учеб. пособие / А. Р. Цыганов [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 320 с.
13. Химия. Общая химия с основами аналитической: учеб.-метод. пособие / А. Р. Цыганов [и др.]. – Горки: БГСХА, 2012. – 204 с.
14. Хомченко, Г. П. Неорганическая химия / Г. П. Хомченко, И. К. Цитович. – М.: Высш. шк., 1990. – 574 с.
15. Цыганов, А. Р. Биохимия. Практикум: учеб. пособие / А. Р. Цыганов, И. В. Сучкова, И. В. Ковалева. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – 150 с.
16. Цыганов, А. Р. Сборник задач и упражнений по химии: учеб. пособие / А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 234 с.

### Дополнительная

1. Алешин, В. А. Практикум по неорганической химии / В. А. Алешин. – М.: Издат. центр «Академия», 2004. – 384 с.
2. Березов, Т. Т. Биологическая химия: учебник / Т. Т. Березов, Б. Ф. Коровкин. – М.: Медицина, 1998. – 704 с.
3. Белясова, Н. А. Биохимия и молекулярная биология: учеб. пособие / Н. А. Белясова. – Минск: Книжный дом, 2004. – 416 с.
4. Введение в лабораторный практикум по неорганической химии: учеб. пособие / В. В. Свиридов [и др.]. – Минск: Высш. шк., 2003. – 96 с.
5. Зайцев, С. Ю. Биохимия животных / С. Ю. Зайцев. – СПб.: Изд-во «Лань», 2004. – 382 с.
6. Кудряшов, Л. С. Физико-химические и биохимические основы производства мяса и мясных продуктов / Л. С. Кудряшов. – М.: ДеЛи принт, 2008. – 160 с.
7. Ленский, А. С. Введение в биоорганическую и биофизическую химию / А. С. Ленский. – М.: Высш. шк., 1989.
8. Метревели, Т. В. Биохимия животных / Т. В. Метревели. – СПб.: Изд-во «Лань», 2004. – 295 с.
9. Микробиологический анализ мяса, птицы и яйцепродуктов / под ред. Дж. К. Мида; пер. с англ. И. С. Горожанкиной. – М.: Профессия, 2009. – 384 с.
10. Николаев, А. Я. Биологическая химия: учебник / А. Я. Николаев. – М.: Мед. информ. агентство, 2004. – 566 с.



11. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: учебник для вузов / Ю. А. Ершов [и др.]. – 6-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2007. – 560 с.

12. Слесарев, В. И. Химия: основы химии живого: учебник для вузов / В. И. Слесарев. – СПб.: Химиздат, 2001. – 784 с.

13. Угай, Я. А. Общая и неорганическая химия: учебник для вузов / Я. А. Угай. – 4-е изд. – М.: Высш. шк., 2004. – 440 с.

14. Хазипов, Н. З. Биохимия животных: учебник / Н. З. Хазипов, А. Н. Аскарова. – Казань: КГАВМ, 2003. – 312 с.

#### *Справочники*

1. Кольман, Я. Наглядная биохимия/Я.Кольман, К.-Г. Рем; пер. с нем. – М.:Мир, 2000. – 469 с.

2. Лидин, Р. А. Химические свойства неорганических веществ / под ред. Р. А. Лидина. – 5-е изд., стер. – М.: КолосС, 2008. – 480 с.



Учреждение образования  
«Белорусская государственная  
орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени  
сельскохозяйственная академия»



Составители  
**Поддубная** Ольга Владимировна  
**Ковалева** Ирина Владимировна