



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



Кафедра биологии растений и химии

ХИМИЯ

**Теоретический раздел
Лекция
Гетероциклические соединения**

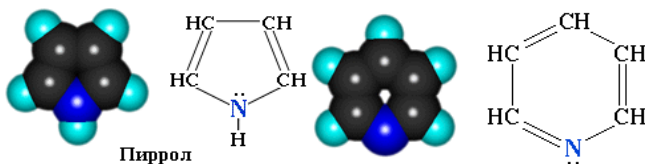


ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

Гетероциклические соединения – это органические вещества, содержащие в своих молекулах циклы, в образовании которых кроме атомов углерода участвуют атомы других элементов (гетеро-атомы).

Наиболее распространены гетероциклы, в состав которых входят атомы азота, кислорода или серы.

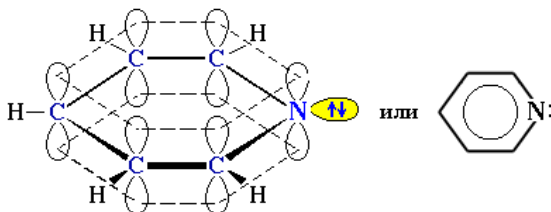
Примером кислородсодержащих гетероциклических соединений служат циклические формы моносахаридов (глюкозы, рибозы и т. п.). Некоторые азотсодержащие гетероциклы играют важную роль в природе.



Атом азота в гетероциклах связан с углеродными атомами, поэтому такие соединения можно рассматривать как циклические амины.

Пиридин C_5H_5N – шестичленный гетероцикл с одним атомом азота. Это бесцветная жидкость с неприятным запахом, температура кипения составляет $115^\circ C$. Хорошо растворяется в воде и органических жидкостях. Ядовит.

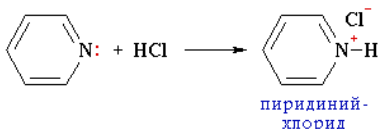
Электронное строение молекулы пиридина сходно со строением бензола. Атомы углерода и азота находятся в состоянии sp^2 -гибридизации. Все σ -связи C–C, C–H и C–N образованы гибридными орбиталями, углы между ними составляют примерно 120° . Поэтому цикл имеет плоское строение. Шесть электронов, находящихся на негибридных p -орбиталях, образуют π -электронную ароматическую систему.



Из трех гибридных орбиталей атома азота две образуют σ -связи C–N, а третья содержит неподеленную пару электронов, которые не

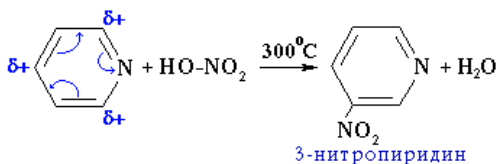


участвуют в π -электронной системе. Поэтому пиридин, подобно аминам, проявляет свойства основания. Его водный раствор окрашивает лакмус в синий цвет. При взаимодействии пиридина с сильными кислотами образуются соли пиридиния.

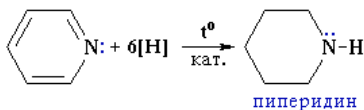


Наряду с основными свойствами пиридин проявляет свойства ароматического соединения. Однако его активность в реакциях электрофильного замещения ниже, чем у бензола. Это объясняется тем, что азот как более электроотрицательный элемент оттягивает электроны на себя и понижает плотность электронного облака в кольце, в особенности в положениях 2 и 4 (орто- и пара-положения).

Поэтому, например, реакция нитрования пиридина проходит в жестких условиях (при температуре 300°C) и с низким выходом. Ориентирующее влияние атома азота на вступление нового заместителя при электрофильном замещении в пиридине подобно влиянию нитрогруппы в нитробензоле: реакция идет в положение 3.

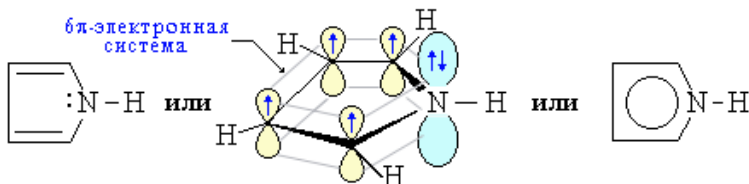


Как и бензол, пиридин может присоединять водород в присутствии катализатора с образованием насыщенного соединения пиперидина.



Пиперидин проявляет свойства вторичного амина (сильное основание).

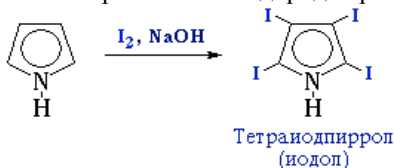
Пиррол $\text{C}_4\text{H}_4\text{NH}$ – пятичленный гетероцикл с одним атомом азота. Бесцветная жидкость с температурой кипения 130°C , плохо растворимая в воде, на воздухе быстро окисляется и темнеет. Электронное строение молекулы пиррола объясняет его свойства как слабой кислоты и ароматического соединения.



Атомы углерода и азота находятся в состоянии sp^2 -гибридизации. σ -связи С–С, С–Н и С–N образованы гибридными орбиталями. Цикл имеет плоское строение. На негибридной р-орбитали азота находится неподеленная пара электронов, которые вступают в сопряжение с четырьмя р-электронами атомов углерода.

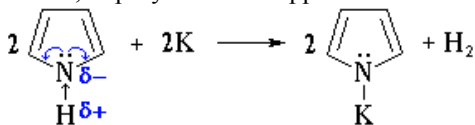
Таким образом, в циклической системе сопряжения находится шесть электронов, что определяет ароматические свойства пиррола. Пиррол значительно активнее бензола в реакциях электрофильного замещения, так как атом азота, предоставляя в систему сопряжения два электрона (+М-эффект), повышает электронную плотность в цикле.

Пример: замещение четырех атомов водорода при иодировании:



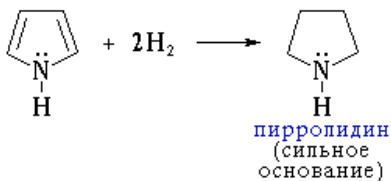
Устойчивость пиррола как ароматической структуры значительно меньше, чем бензола. Под действием сильных минеральных кислот электронная пара азота все же используется для солеобразования и свойства пиррола резко меняются: ароматичность исчезает (в системе сопряжения остается всего четыре электрона) и проявляются свойства диена, например, способность к полимеризации.

Связывание неподеленной электронной пары атома азота системой сопряжения приводит к резкому ослаблению основных и проявлению кислотных свойств. Как слабая кислота пиррол вступает в реакцию с металлическим калием, образуя соль – пиррол-калий:



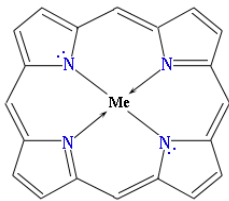


Пиррол может участвовать в реакциях присоединения: гидрирование приводит к образованию пирролидина:



Под действием сильных минеральных кислот пиррол вступает в реакции полимеризации.

Пиррол применяют для синтеза различных органических веществ. Пиррольные структуры содержатся в гемоглобине, хлорофилле, витамине В₁₂ и некоторых других природных соединениях. В состав молекул этих сложных веществ входит тетрапиррольный фрагмент (порфин) в виде комплекса с металлом:



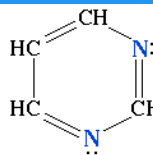
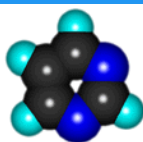
где Me – металл (Fe в гемоглобине, Mg в хлорофилле, Co в витамине В₁₂).

Пиримидин C₄H₄N₂ – шестичленный гетероцикл с двумя атомами азота. Проявляет свойства очень слабого основания, так как атомы азота в sp²-гибризованном состоянии довольно прочно удерживают неподеленную электронную пару.

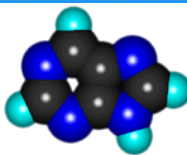
Для пиримидина, подобно пиридину, характерна π-электронная ароматическая система. Поэтому его цикл обладает повышенной устойчивостью.

Пурин C₅H₄N₄ – соединение, в молекуле которого сочетаются структуры шести- и пятичленного гетероциклов, содержащих по два атома азота.

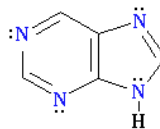
Проявляет амфотерные свойства. Слабые основные свойства связаны с атомами азота шестичленного (пиримидинового) цикла. Слабые кислотные свойства обусловлены группой N–H пятичленного цикла по аналогии с пирролом.



Пиримидин $C_4H_4N_2$

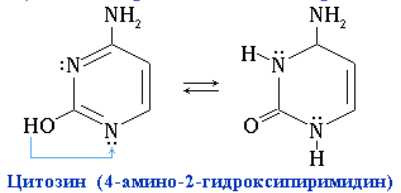
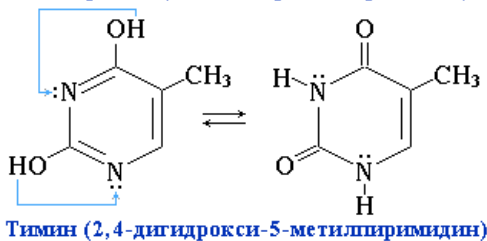
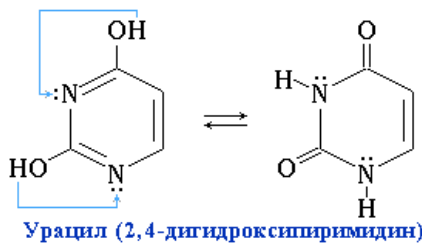


Пурин $C_5H_4N_4$



Эти соединения являются основой пиримидиновых и пуриновых оснований, входящих в состав природных высокомолекулярных веществ – нуклеиновых кислот.

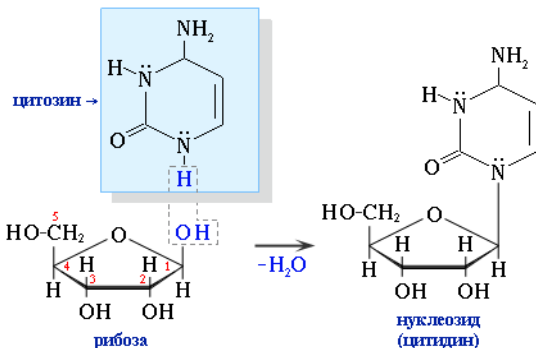
Пиримидиновые основания – производные пиримидина, входящие в состав нуклеиновых кислот: урацил, тимин, цитозин. Для оснований, содержащих группу –ОН, характерно подвижное равновесие структурных изомеров, обусловленное переносом протона от кислорода к азоту, и наоборот:





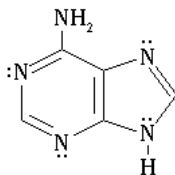
Подобное динамическое равновесие структурных изомеров называют «таутомерией». Данный частный случай относят к лактим-лактамной таутомерии.

Пиримидиновые основания входят в состав нуклеозидов – структурных компонентов нуклеиновых кислот. Нуклеозиды образуются за счет отщепления водорода от N–H-связи в молекуле азотистого основания и гидроксила при C₁ в молекуле углевода рибозы (или 2-деоксирибозы).



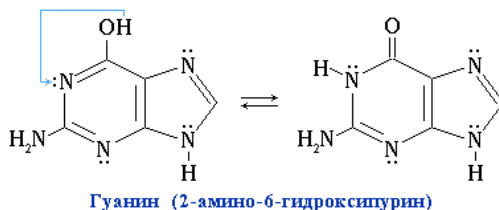
Здесь проявляются кислотные свойства амина (группа N–H в азотистом гетероцикле) и способность к нуклеофильному замещению полуацетального гидроксила (при C₁) в молекуле углевода.

Пуриновые основания – производные пурина, входящие в состав нуклеиновых кислот: аденин, гуанин.



Аденин (6-аминопурин)

Гуанин существует в виде двух структурных изомеров:





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

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Мерой полярности связи является *электрический момент диполя* – ЭДМ- μ , представляющий собой произведение длины диполя l на абсолютный эффективный заряд g : $\mu = g \cdot l$. Электрический момент диполя обычно выражают в дебаях (D): $1D = 3,33 \cdot 10^{-30}$ Кл·м.)

Некоторые характеристики простейших связей

Связь	Энергия, кДж/моль	Длина, нм	Полярность μ		Поляризуемость $a \cdot 10^{-24}, \text{см}^3$
			$10^{30} \cdot \text{Кл} \cdot \text{м}$	D	
C–C	339	0,154	0	0	1,3
C=C	611	0,133	0	0	4,2
C≡C	833	0,120	0	0	6,2
H–C	414	0,109	1,33	0,4	1,7
C–N	305	0,147	4,00	1,2	1,5
C=N	595	0,127	4,34	1,3	3,8
C≡N	888	0,115	13,36	4,0	4,8
C–O	368	0,143	5,34	1,6	1,5
C=O	724	0,121	10,68	3,2	3,3
C–F	427	0,140	7,68	2,3	1,7
C–Cl	326	0,176	7,68	2,3	6,5
C–Br	272	0,191	7,34	2,2	9,6
C–I	238	0,212	6,68	2,0	14,6
H–O	460	0,096	5,01	1,5	1,9
H–N	389	0,101	4,34	1,3	1,8
N–N	160	0,147			
N≡N	946	0,110			
N=O	678	0,115			

Приложение 2

Номенклатура органических соединений

В настоящее время международный союз теоретической и прикладной химии (ИЮПАК) рекомендовал для использования номенклатуру, получившую название *номенклатура ИЮПАК*.

Таблица 1. Названия предельных углеводородов

Формула углеводорода	Название	Формула углеводорода	Название
C_5H_{12}	Пентан	$C_{11}H_{24}$	Ундекан
C_6H_{14}	Гексан	$C_{12}H_{26}$	Додекан
C_7H_{16}	Гептан	$C_{13}H_{28}$	Тридекан
C_8H_{18}	Октан	$C_{14}H_{30}$	Тетрадекан
C_9H_{20}	Нонан
$C_{10}H_{22}$	Декан	$C_{20}H_{42}$	Эйкозан



Таблица 2. Названия важнейших заместителей

Заместитель	Название	Заместитель	Название
CH_3-	метил	CH_3	
CH_3-CH_2-	этил	$\begin{array}{c} \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_2- \end{array}$	неопентил
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	н-пропил	$\begin{array}{c} \\ \text{CH}_3 \\ \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C}- \end{array}$	трет-пентил
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_3 \end{array}$	изопропил (пропил-2)	$\text{CH}_2=$	метилен
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2- \\ \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	н-бутил втор-бутил	$\text{CH}\equiv$	метин
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	изобутил (2-метил-пропил-1)	$\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2$	этилиден
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{C}- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	трет-бутил	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	этилен
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-$	н-пентил	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	триметилен
$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CHCH}_2\text{CH}_2- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	изопентил	$\text{CH}_2=\text{CH}-$	винил
C_6H_5-	фенил	$\text{HC}\equiv\text{C}-$	этинил
$\text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_4-$	толил (п-изомер)	$\text{CH}_2=\text{C}-$	изопропенил
$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-$	бензил	$\begin{array}{c} \\ \text{CH}_3 \end{array}$	
$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}=\text{CH}-$	стирил	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}-$	1-бутенил
$(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{CH}-$	бензгидрил (дифенил-метил)	$\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_2-$	2-бутенил
$(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{C}-$	тритил	$\text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}_2-$	метилаллил (металлил)
$\text{CH}_2=\text{C}=\text{CH}_2$	винилиден	$\begin{array}{c} \\ \text{CH}_3 \end{array}$	
$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-$	аллил	$\text{CH}_3-\text{C}=\text{O}$	ацетил
$\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-$	пропенил	$\begin{array}{c} \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	бензоил
$\text{CH}_3-\text{CO}-\text{CH}_2-$	ацетонил	$-\text{O}-\text{CH}_2-\text{O}-$	метилендиоксид
$\text{CH}_3-\text{O}-$	метокси		
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{O}-$	этокси		

Простейшие спирты можно называть по соответствующему радикалу: метиловый спирт CH_3OH , изопропиловый спирт $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$ (но не изопропанол), трет-бутиловый спирт $(\text{CH}_3)_3\text{COH}$.



За некоторыми спиртами сохраняются тривиальные названия:

Аллиловый спирт	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2\text{OH}$;
Бензиловый спирт	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2\text{OH}$;
Фенилэтиловый спирт	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{OH}$;
Этиленгликоль	$\text{HOCH}_2-\text{CH}_2\text{OH}$;
Пропиленгликоль	$\text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2\text{OH}$;
Глицерин (глицерол)	$\text{CH}_2(\text{OH})-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2(\text{OH})$.

Для альдегидов допускаются тривиальные названия, если соответствующая кислота имеет тривиальное название:

Формальдегид	CH_2O ;
Ацетальдегид	CH_3-CHO ;
Пропиональдегид	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CHO}$;
Бутиральдегид	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CHO}$;
Изобутиральдегид	$(\text{CH}_3)_2\text{CH}-\text{CHO}$;
Валеральдегид	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{CHO}$;
Изовалеральдегид	$(\text{CH}_3)_2\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CHO}$;
Акролеин (акриальдегид)	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CHO}$;
Кронональдегид	$\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CHO}$;
Бензальдегид	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CHO}$.

Имеются исключения, например глиоксаль $\text{O}=\text{CH}-\text{CH}=\text{O}$.

Для некоторых кетонов допускаются тривиальные названия:

ацетон	$\text{CH}_3-\text{CO}-\text{CH}_3$;
окись мезитила	$(\text{CH}_3)_2\text{C}=\text{CH}-\text{CO}-\text{CH}_3$;
диацетил	$\text{CH}_3-\text{CO}-\text{CO}-\text{CH}_3$;
бензил (или дибензоил)	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CO}-\text{CO}-\text{C}_6\text{H}_5$.

Сохраняются тривиальные названия заместителей:

ацетонил $\text{CH}_3-\text{CO}-\text{CH}_2-$, фенацил $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CO}-\text{CH}_2-$.

Таблица 3. Названия некоторых кислот и их радикалов

Название кислоты		Название радикала	Формула радикала
тривиальное	систематическое		
1	2	3	4
Предельные алифатические монокарбоновые кислоты			
Метановая	Муравьиная	Формил	$\text{HCO}-$
Этановая	Уксусная	Ацетил	$\text{CH}_3-\text{CO}-$
Пропановая	Пропионовая	Пропионил	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CO}-$
Бутановая	Масляная	Бутирил	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_2-\text{CO}-$
2-Метилпропановая	Изомасляная	Изобутирил	$(\text{CH}_3)_2\text{CH}-\text{CO}-$
Пentanовая	Валериановая	Валерил	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3-\text{CO}-$
3-Метилбутановая	Изовалериановая	Изовалерил	$(\text{CH}_3)_2\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CO}-$
Гептановая*	Энантовая	Энантоил	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5-\text{CO}-$
Октадекановая	Стеариновая	Стеароил	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}-\text{CO}-$
Гексадекановая	Пальмитинов.	Пальмитоил	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}-\text{CO}-$
1	2	3	4
Предельные алифатические дикарбоновые кислоты			
Этандиовая	Щавелевая	Оксалил	$-\text{OC}-\text{OC}-$
Пропандиовая	Малоновая	Малонил	$-\text{OC}-\text{CH}_2-\text{CO}-$
Бутандиовая	Янтарная	Сукцинил	$-\text{OC}-(\text{CH}_2)_2-\text{CO}-$



Пентандиовая	Глутаровая	Глутарил	$-\text{OC}-(\text{CH}_2)_3-\text{CO}-$
Гександиовая	Адипиновая	Адипиол	$-\text{OC}-(\text{CH}_2)_4-\text{CO}-$
Непредельные алифатические кислоты			
Пропеновая	Акриловая	Акрилоил	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CO}-$
Пропиновая	Пропиоловая	Пропиолоил	$\text{CH}\equiv\text{C}-\text{CO}-$
2-Метилпропеновая	Метакриловая	Метакрилоил	$\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CO}-$
транс-Бутен-2-овая	Кротоновая	Кротоноил	$\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCO}-$
цис-Бутен-2-овая	Изокротоновая	Изокротоноил	— " —
цис-Октадецен-9-овая	Олеиновая	Олеил	$\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CH}_3$ $\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}-$
цис-Бутен-2-диовая	Малеиновая	Малеолил	$-\text{OC}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CO}-$
транс-Бутен-2-диовая	Фумаровая	Фумароил	— " —
Карбоциклические кислоты			
Бензолкарбоновая	Бензойная	Бензоил	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CO}-$
Метилбензол- карбоновая	Толуиловая (о-, м-, п-)	Толуил (о-, м-, п-)	$\text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CO}-$
1,2-Бензолди- карбоновая	Фталевая	Фталоил	
1,4-Бензолдикрбоновая	Терефталевая	Терефталоил	$-\text{OC}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CO}-$
транс-3-Фенилпропеновая	Коричная	Циннамоил	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}=\text{CH}-\text{CO}-$

Таблица 4. Старшинство основных функций,
обозначаемых суффиксами (по убывающему старшинству)

№п/п	Класс	Префикс	Суффикс
1	Катионы	онио-	-оний (но –карбений $^+\text{CH}_3$)
2	Карбоновые кислоты $-\text{COOH}$	карбокци-	-овая кислота (карбоновая кислота)
3	Нитрилы $-\text{C}\equiv\text{N}$	циано-	-нитрил (карбонитрил)
4	Альдегиды $-\text{CHO}$	формил-	аль- (карбальдегид)
5	Кетоны $>\text{C}=\text{O}$	оксо-	-он
6	Спирты $-\text{OH}$	гидрокси-	-ол
7	Тиолы $-\text{SH}$	меркапто-	-тиол
8	Амины	амино-	-амин
9	Двойная связь (=)	—	-ен
10	Тройная связь (\equiv)	—	-ин
11	Группы всегда вы- ступающие в каче- стве заместителей	$-\text{Br}$, $-\text{I}$, $-\text{Cl}$, $-\text{F}$, $-\text{NO}$, $-\text{NO}_2$, $-\text{O}-\text{R}$, $-\text{S}-\text{R}$, $-\text{N}_3$, $-\text{S}-\text{S}-\text{R}$, $-\text{SO}_2\text{R}$, $-\text{O}-\text{S}-\text{R}$, $-\text{OON}$.	



ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Ахметов, Н. С. Общая и неорганическая химия: Учебник для вузов/ Н. С. Ахметов. – М.: Высш. шк., 2006. – 743. .
2. Барковский, Е. В. Аналитическая химия: Учеб. пособие/ Е. В. Барковский. – Мн.: Высш. шк., 2004. – 351 с.
3. Барковский, Е. В. Введение в химию биогенных элементов и химический анализ: Учеб. пос./ Е. В. Барковский, С. В. Ткачев и др. – М.: Высш. шк., 1997. –126 с.
4. Болдырев, А. И. Физическая и коллоидная химия. – М.: Высш. шк., 1983.
5. Гольбрайх, З. Е. Сборник задач и упражнений по химии: Учеб. пособие/ З. Е. Гольбрайх.–М.:ОО «Издательство Астрель»,2004.–383с
6. Грандберг, И.И. Органическая химия: Учеб. для студ. вузов обучающихся на агрономических специальностях/ И. И. Грандберг. – М.: Дрофа, 2004. –672 с.
7. Князев Д. А. Неорганическая химия: Учебник для вузов/ Д. А. Князев, С. Н. Смаыгин. – М.: Высш. шк., 1990. – 430 с.
8. Руководство к изучению курса “Общая и неорганическая химия”: Пособие для студентов нехимических специальностей / И. Е. Шиманович [и др.]; под ред. И.Е. Шимановича. – 3-е изд. – Минск: РИВШ, 2008. – 112 с.
9. Химия. Курс лекций: учебно-методическое пособие / О. В. Поддубная [и др.]. – Горки : БГСХА, 2024. – 383 с.
10. Химия. Лабораторный практикум: учеб. пособие/А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная, И. В. Ковалева, Т. В. Булак.–Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 320 с.
11. Угай Я. А. Общая и неорганическая химия: Учебник для вузов/ Я. А. Угай. 4-е изд. – М.: Высш. шк., 2004. – 440 с.
12. Химия: учебно-методический комплекс: Учебно-методическое пособие / О. В. Поддубная, И.В. Ковалева и др. – Горки: БГСХА, 2011. – 452 с. ISBN 978-985-467-359-2
13. Хмельницкий, Р. А. Физическая и коллоидная химия: Учебник для вузов/ Р. А. Хмельницкий. – М.: Высш. шк., 1988.
14. Цитович, Н. К. Курс аналитической химии: Учебник для вузов/ Н. К. Цитович. – М.: Высш. шк., 1987. – 403 с.
15. Цыганов, А. Р. Сборник задач и упражнений по химии: Учеб. пособие / А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 236 с.
16. Щербина, А.Э. Органическая химия. Задачи и упражнения: Учеб. пособие / А.Э. Щербина, Л.Г. Матусевич, И.В. Сенько. – Минск : Новое знание, 2007. – 304 с.

Дополнительная

1. Белясова, Н.А. Биохимия и молекулярная биология: Учеб. пособие/ Н.А. Белясова. – Минск: Книжный дом, 2004. – 416 с.
2. Введение в лабораторный практикум по неорганической химии: Учеб. пособие / В.В. Свиридов, Г.А.Попкович и др. – Мн : Выш. шк., 2003. – 96 с.
3. Дорохова, Е. Н. Аналитическая химия. Физико-химические методы анализа: Учебник для почвенно-агрохимических специальностей / Е. Н. Дорохова, Г. В. Прохорова. – М.: Высш. шк., 1991. – 354 с.
4. Жарский, И. М. Теоретические основы химии: сборник задач: Учеб. пособие. – Минск.: Аверсев, 2004. – 397 с.
5. Практикум по общей и биоорганической химии: Учеб. пособие для студ. высш. уч. завед. под ред. В. А. Попкова. – 3-е изд. – М.: Изд. центр «Академия», 2008. – 240 с.
6. Слесарев, В. И. Химия: основы химии живого: Учебник для вузов / В. И. Слесарев. – СПб: Химиздат, 2001. – 784 с.
7. Степин, Б. Д. Неорганическая химия: Учебник для вузов/ Б. Д. Степин, А.А. Цветков. – М.: Высш. шк., 1994. – 608 с.

Справочники:

1. Краткий химический справочник. – М.: Химия, 1977.
2. Кольман, Я. Наглядная биохимия: Пер. с нем/ Я.Кольман, К.Г. Рем. – М.: Мир, 2000. – 469 с.
3. 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