



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



Кафедра биологии растений и химии

ХИМИЯ

**Теоретический раздел
Лекция
Понятие об алкалоидах.**



ПОНЯТИЕ ОБ АЛКАЛОИДАХ

1. Общая характеристика алкалоидов

Алкалоидами называют группу азотсодержащих органических соединений основного характера, имеющих обычно довольно сложный состав и часто обладающих сильным специфическим физиологическим действием. Название алкалоид происходит от двух слов: арабского «алкали» – щелочь и греческого «ейдос» – подобный.

В 1560 г. Жоан Никот (Joan Nicot), посланник португальского короля, привез семена табака во Францию и Англию. В честь Жоана Никота – одного из самых успешных торговцев табаком и его ярким пропагандистом, весь род Табак ботаниками назван – Nicotiana. В Россию привез табак из Голландии Пётр I. Активно насаждая в России европейскую культуру, моду и этикет, своим приказом он повелел всему дворянскому сословию «трубки табачные курить и по утрам кофей пить» и жестко подавлял сопротивление боярской знати.

Алкалоиды были открыты около 200 лет назад, после чего в медицине началась эра алкалоидов. Открытие алкалоидов для медицины означало то, что и открытие железа для мировой культуры. С открытием алкалоидов началась новая эпоха в медицине и химии. В течение XIX в. фармацевты и химики открыли ряд важнейших алкалоидов в давно известных растениях и изучили их свойства.

На современном этапе развития фитохимии работа по исследованию алкалоидов проводится по следующим основным направлениям.

1. Изучение алкалоидоносной флоры. На территории бывшего СНГ произрастает около 21 000 высших растений. Из них на содержание алкалоидов исследовано меньше половины.

2. Установление природы и строения ранее неизвестных алкалоидов. В настоящее время выделено около 10 000 различных алкалоидов и только примерно для 4 500 определена химическая структура.

3. Изучение фармакологической активности алкалоидов и создание новых лекарственных препаратов. Из большого числа алкалоидов с известной химической структурой применение в медицинской практике нашли около 85 соединений.

4. Разработка и освоение технологии производства новых алкалоидных препаратов.

5. Осуществление ресурсных исследований и решение проблемы культивирования растений.

6. Выращивание культур тканей, продуцирующих алкалоиды.



Внимание к алкалоидам приковано в связи с тем, что у этих соединений много лечебных свойств. Во-первых, у них слабее, чем у других лекарственных препаратов, выражено побочное действие. Во-вторых, действие алкалоидов проявляется быстро, что очень важно при ряде заболеваний (сердечно-сосудистых, спазматических и др.). В-третьих, у них отсутствует кумулятивный эффект.

2. Локализация алкалоидов в органах растений

В растениях алкалоиды находятся в виде солей органических и неорганических кислот в активно растущих тканях, эпидермальных и гиподермальных клетках, в обкладках сосудистых пучков и латексных ходах. Они растворены в клеточном соке, накапливаются в различных органах растений, причем разные части растения могут содержать различные алкалоиды. Обычно их концентрация в дикорастущих растениях невелика и составляет сотые и десятые доли процента. Растение, как правило, содержит не один, а несколько алкалоидов, например, катарантус розовый – более 60.

Сами алкалоиды нерастворимы в воде, а их соли растворимы и содержатся в клеточном соке. Поэтому алкалоиды появляются и накапливаются в растительных тканях с появлением и развитием вакуолей. Обычно алкалоиды накапливаются в активно растущих тканях, в обкладках сосудисто-волокнистых пучков, в млечниках. Часто алкалоиды синтезируются в одних тканях, а затем транспортируются и накапливаются в других. Пример: никотин образуется в корнях табака, а оттуда транспортируется в листья, где и накапливается.

3. Содержание и биологические функции алкалоидов в растениях

Содержание алкалоидов в растениях невелико и колеблется от тысячных долей до нескольких процентов. Весьма редко некоторые растения содержат около 10% алкалоидов, а иногда значительно больше. Например, в коре хинного дерева содержание алкалоидов достигает 15–20%. В лекарственном сырье общее содержание алкалоидов чаще всего колеблется в пределах 0,1–2%.

Алкалоиды у некоторых растений содержатся в значительном количестве во всех частях (красавка обыкновенная, красавка кавказская), но у большинства растений они преобладают или содержатся только в одном каком-либо органе.



У одних растений наибольшее количество алкалоидов накапливается

– в листьях: чай китайский (камелия китайская), белена черная, секуринег полукустарниковая;

– в плодах и семенах: дурман индийский, мордовник шароголовый, мордовник обыкновенный, чилибуха;

– в подземных органах: раувольфия змеиная, безвременник великолепный, скополия карниолийская;

– в коре: цинхона красносочковая, цинхона Ледгера (хинное дерево).

Большинство растений содержат несколько алкалоидов 20–50.

Чаще всего у одного растения количественно преобладает 1 или 2–3 алкалоида, содержание же других значительно меньше. Алкалоиды одного растения имеют довольно близкое строение и образуют группу «родственных» алкалоидов.

Биологические функции алкалоидов еще окончательно не выяснены. Есть данные об участии алкалоидов в окислительно-восстановительных реакциях: они способны образовывать перекиси, восстанавливающиеся с высвобождением активированного кислорода, который, в свою очередь, используется растением для фотосинтеза. Несомненна защитная функция алкалоидов.

В последнее время все больше предпочтение отдается их активной роли в обмене веществ как своеобразных стимуляторов и регуляторов биохимических процессов. Об этом свидетельствуют следующие факты. Поскольку алкалоиды в своей структуре обязательно содержат азот, то алкалоиды считаются «той формой, через которую идет превращение азотистых соединений в растениях, и в виде которой обезвреживаются или сохраняются азотистые продукты обмена веществ».

В настоящее время сложилось мнение, что

1) алкалоиды – азотистые вещества участвуют в азотистом обмене растений следующим образом:

а) они могут выполнять роль запасной формы азота, накапливаясь при усиленном азотном питании;

б) могут служить транспортной формой азота, т.к. часто алкалоиды синтезируются в корнях, а затем транспортируются в листья;

в) синтез алкалоидов в корнях может быть одним из механизмов обезвреживания аммиака;

г) алкалоиды могут служить резервом аминокислот, которые образуются при их распаде.

2) алкалоиды регулируют рН клеточного сока, так как связывают органические кислоты с образованием солей.



3) алкалоиды, являясь хелатообразователями, участвуют в поддержании ионного баланса в растении.

4) алкалоидам приписывают важную роль в устойчивости растений к патогенным грибам. Например, алкалоидные виды люпина более устойчивы к фузариозу и мучнистой росе, чем безалкалоидные.

5) алкалоиды влияют на различные реакции и процессы метаболизма. Например, обнаружено, что алкалоиды ингибируют синтез белка, хлорофилла, ферментов гликолиза, глиоксилатного цикла и др.

Известны многочисленные примеры, в которых алкалоиды, в качестве детергентов, как и большинство вторичных метаболитов, защищают растительный организм от уничтожения насекомыми.

4. Классификация алкалоидов

В основу современной классификации алкалоидов положена классификация, предложенная акад. А.П. Ореховым, который разделил алкалоиды на группы в зависимости от строения основного углеродно-азотного цикла или положения азота в молекуле алкалоида.

Исследование путей биогенеза алкалоидов методом меченых атомов показали, что в большинстве случаев предшественниками алкалоидов являются аминокислоты. Это дало основание Р. Хегнауэру разделить все алкалоиды на три группы: истинные алкалоиды, протоалкалоиды и псевдоалкалоиды.

Истинные алкалоиды – это самая большая и разнообразная группа алкалоидов. Они образуются из аминокислот и содержат азот в гетероцикле. Внутри группы алкалоиды делят по природе основного гетероцикла на производные – пирролидина, пиперидина, пиридина, индола, хинолина и др. (1. Образуются из аминокислот. 2. Содержат азот в гетероцикле).

Протоалкалоиды образуются из аминокислот, содержат азот в не в гетероцикле, а в боковой цепи – эфедрин, капсаицин, колхицин. Эти алкалоиды представляют собой немногочисленную группу растительных оснований, но ее представители достаточно известны благодаря своим практически полезным свойствам (1. Образуются из аминокислот. 2. Содержат азот в не в гетероцикле, а в боковой цепи).

Псевдоалкалоиды (терпеноиды) – соединения, похожие на алкалоиды, биогенетическими предшественниками которых не являются аминокислоты. В построении псевдоалкалоидов принимают участие терпеноиды с числом углеродных атомов 10, 15, 20 и 30. (1. Азот включается на последних этапах синтеза, образуются из ацетил-*CoA*. 2. Азот в



гетероцикле или в боковой цепи). Это сложные соединения, молекулы которых построены из многих конденсированных колец. Они содержатся у растений всего нескольких семейств. Многие терпеноидные алкалоиды токсичны. Используются псевдоалкалоиды мало. Встречаются эти алкалоиды у кубышки желтой, актинидии, дельфиниума, аконита, буксуса.

Пример псевдоалкалоида: соланидин – агликон гликоалкалоидасоланина, который содержится в растении картофеля и других пасленовых.

Никотин – сильно ядовитое вещество. Весьма токсичный алкалоид, содержание которого в листьях табака (*Nicotiana tabacum* L.) доходит до 8 %. Он действует на центральную и периферическую нервную систему. При отравлении никотином смерть наступает от паралича дыхания.

Кониин выделен из семян болиголова крапчатого (*Conium maculatum* L.). Кониин парализует окончания двигательных и чувствительных осязательных нервов, участвующих в иннервации кожи.

Анабазин впервые был выделен не из табака, а из среднеазиатского растения анабазиса (*Anabasis aphylla* L.).

Атропин содержится в растениях семейства пасленовых (Solanaceae), белладонне (*Atropa belladonna* Z.), белене (*Hyoscyamus niger* L.), дурмане (*Datura stramonium* L.).

Природные источники теофиллина – листья чая *Camelia sinensis* (4%), теобромина – бобы какао *Theobroma cacao* (1–2%), кофеина – зерна *Coffea arabica* L. (2%).

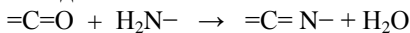
Кофеин имеет самую высокую степень метилирования и соответственно может быть получен путем метилирования ксантина, теофиллина и теобромина метилиодидом CH_3I .

5. Биосинтез алкалоидов

Биосинтез алкалоидов требует формирования N-гетероциклической системы путем включения алифатически связанного азота аминокислот. На первоначальных этапах осуществляются реакции, характерные для обмена аминокислот – декарбоксилирование (ферменты – декарбоксилазы), окислительное дезаминирование (аминоксидазы) и переаминирование (аминотрансферазы). В результате образуются основные реагенты в биосинтезе алкалоидов – амины (при декарбоксилировании аминокислот, Таблица 2) и альдегиды (при окислительном дезаминировании аминокислот). Процессы циклизации и конденсации, в

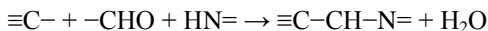


результате которых образуются C–N–, C=N–, C–C–связи базовой структуры гетероциклов, осуществляются с помощью трех групп реакций, первая из которых связана с образованием шиффовых оснований, причем соединения с карбонильными и аминогруппами реагируют иногда спонтанно:



Альдегид Первичный амин Шиффово основание

Вторая реакция – альдольной конденсации, названа реакцией Манниха, которая, как правило, приводит к образованию шиффова основания и циклизации молекулы. Она включает вещество, способное образовывать карбанион за счет отщепления кислотного водорода, карбонильное соединение (обычно альдегид) и амин (первичный или вторичный):



Карбанион Альдегид Амин

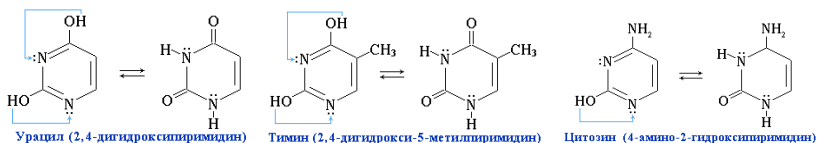
Впервые в 1917 г. Т.Робинсон постулировал, что алкалоиды могут синтезироваться в результате конденсации Манниха из аминов и альдегидов; в последующем это было доказано с использованием изотопных меток.

В третьей группе реакций происходит окислительное сочетание фенольных колец (Лукнер, 1979; Гудвин, Мерсер, 1986). Далее следует модификация базовой структуры - при этом у алкалоидов особую роль играет метилирование в отличие от изопреноидов, для которых более характерно гликозилирование с образованием гликозидов. Классическим примером служат псевдо- или гликоалкалоиды, которые были отнесены к данному классу вторичных метаболитов без знания терпеноидной природы происхождения углеродного скелета. Метилирование алкалоидов часто происходит на стадии ациклического соединения, направляя циклизацию; донором метильной группировки, как правило, выступает метионин. Первым в молекуле метилируется кислород с образованием метоксильной группы (–OCH₃), затем азот (=N–CH₃). Метильные группы переносятся с помощью ферментов метилтрансфераз, донором метильных групп выступает S-аденозилметионин. Кроме стабилизации молекулы алкалоидов, метилирование уменьшает их токсичность, увеличивает разнообразие модифицированных форм. Установлено, что при введении в растения экзогенных алкалоидов быстрее распадаются неметилированные аналоги. Распад алкалоидов может происходить до CO₂ с выделением энергии, но чаще всего - до образования аминокислот, из которых они синтезируются. Интересно, что к катаболизму алкалоидов способны даже безалкалоидные виды (Красильникова и др., 2004).



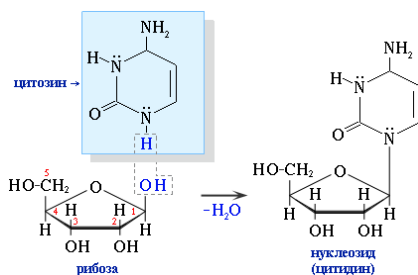
6. Нуклеиновые кислоты.

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-лактаминной 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-дезоксирибозы).



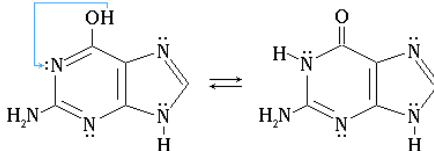
Здесь проявляются кислотные свойства свойства амина (группа N–H в азотистом гетероцикле) и способность к нуклеофильному замещению полуацетального гидроксила (при C₁) в молекуле углевода.

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





Гуанин существует в виде двух структурных изомеров:



Гуанин (2-амино-6-гидроксиуриин)

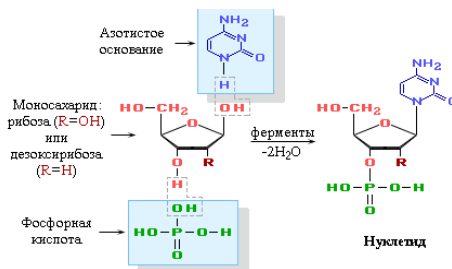
Образование нуклеозидов происходит, как и в случае пиримидиновых оснований, по связи N–H.

Нуклеиновые кислоты – это биополимеры, макромолекулы которых состоят из многократно повторяющихся звеньев – нуклеотидов. Поэтому их называют также полинуклеотидами.

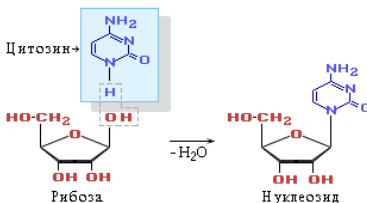
В состав нуклеотида – структурного звена нуклеиновых кислот – входят три составные части:

- азотистое основание – пиримидиновое или пуриновое;
- моносахарид – рибоза или 2-дезоксирибоза;
- остаток фосфорной кислоты.

Нуклеотид – фосфорный эфир нуклеозида.



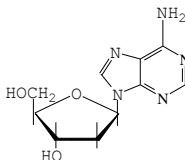
В состав нуклеозида входят два компонента: моносахарид (рибоза или дезоксирибоза) и азотистое основание.



Выдающийся немецкий химик Эмиль Фишер синтезировал 2,6,8-триоксипуриин (*мочевую кислоту*) исходя из барбитуровой кислоты. Из мочевой кислоты Фишер получил аденин, гуанин и ксантин. Аденин и гуанин являются обычными компонентами нуклеиновых кислот.

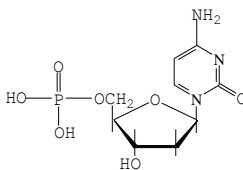


Нуклеозидом называется *N*-гликозид, агликон которого представляет собой, как правило, производное пиримидина или пурина. В зависимости от того, какой сахар – рибоза или дезоксирибоза – входит в их состав, нуклеозиды подразделяются на *рибозиды* и *дезоксирибозиды*.



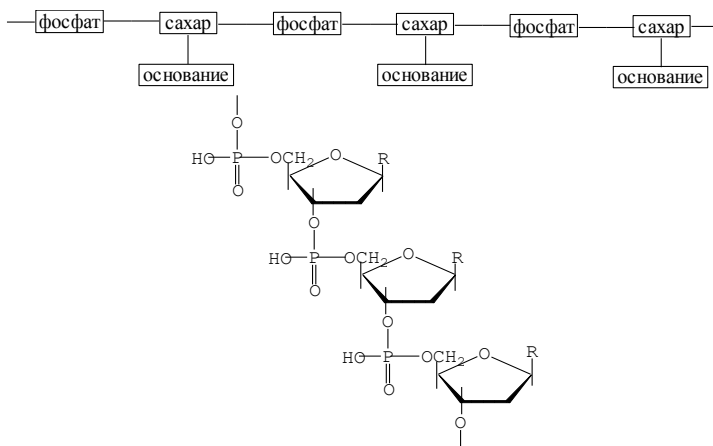
адениндезоксирибозид

Нуклеотид – соединение, построенное из молекулы сахара, азотистого основания и фосфорной кислоты.



цитозиндезоксирибонуклеотид

Общая схема строения ДНК



Строение цепей ДНК. *R*-азотистое основание

Число нуклеотидных единиц в ДНК может составлять от 3000 до 10000000. Последовательность азотистых оснований не установлена.



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 \equiv 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 \equiv 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 \equiv 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 ₅ H ₁₂ | Пентан | C ₁₁ H ₂₄ | Ундекан |
| C ₆ H ₁₄ | Гексан | C ₁₂ H ₂₆ | Додекан |
| C ₇ H ₁₆ | Гептан | C ₁₃ H ₂₈ | Тридекан |
| C ₈ H ₁₈ | Октан | C ₁₄ H ₃₀ | Тетрадекан |
| C ₉ H 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 | $\begin{array}{c} \\ \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ | |
| $\text{CH}_3-\underset{\begin{array}{c} \\ \text{CH}_3 \end{array}}{\text{CH}}-\text{CH}_3$ | изопропил (пропил-2) | CH_3 | |
| $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2- \end{array}$ | н-бутил | $\begin{array}{c} \\ \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ | трет-пентил |
| $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}- \end{array}$ | втор-бутил | $\begin{array}{c} \\ \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C}- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ | |
| CH_3 | | | |
| $\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ | изобутил (2-метил-пропил-1) | $\text{CH}_2=$ | метилен |
| | | $\text{CH}\equiv$ | метин |
| | | $\text{CH}_3-\text{CH}=$ | этилиден |
| | | $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ | этилен |
| | | $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ | триметилен |
| | | $\text{CH}_2=\text{CH}-$ | винил |
| | | $\text{HC}\equiv\text{C}-$ | этинил |
| | | $\text{CH}_2=\text{C}-$ | изопропенил |
| | | $\begin{array}{c} \\ \text{CH}_3 \end{array}$ | |
| $\text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-$ | н-пентил | | |
| $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2- \end{array}$ | изопентил | $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}-$ | 1-бутенил |
| $\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CHCH}_2\text{CH}_2- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ | | $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_2-$ | 2-бутенил |
| C_6H_5- | фенил | $\text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}_2-$ | |
| $\text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_4-$ | толил (п-изомер) | $\begin{array}{c} \\ \text{CH}_3 \end{array}$ | метилаллил (металлил) |
| $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-$ | бензил | | |
| $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}=\text{CH}-$ | стирил | $\text{CH}_3-\text{C}=\text{O}$ | ацетил |
| $(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{CH}-$ | бензгидрил (дифенил-метил) | $\begin{array}{c} \\ \text{C}_6\text{H}_5-\text{C}=\text{O} \\ \end{array}$ | бензоил |
| $(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{C}-$ | тритил | $-\text{O}-\text{CH}_2-\text{O}-$ | метилендиокси |
| $\text{CH}_2=\text{C}=\text{CH}_2-$ | винилиден | | |
| $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-$ | аллил | | |
| $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-$ | пропенил | | |
| $\text{CH}_3-\text{CO}-\text{CH}_2-$ | ацетонил | | |
| $\text{CH}_3-\text{O}-$ | 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 (акриральдегид) | $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CHO}$; |
| 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 | Олеоил | $\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CH}_3$ $\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}-$ |
| 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-Бензолдикарбоновая | 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 $-\text{COOH}$ | карбокси- | -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