



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



Кафедра биологии растений и химии

ХИМИЯ

**Теоретический раздел
Лекция
Углеводы**



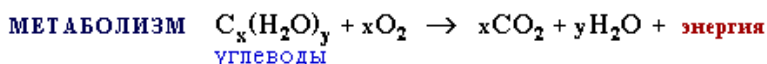
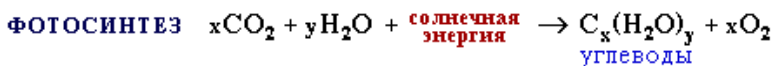
УГЛЕВОДЫ

1. Классификация. Распространение в природе и биологическая роль

Углеводы составляют до 80% сухого вещества растений и около 2 % сухого вещества животных. Следовательно, они принадлежат к наиболее распространенным природным органическим соединениям. Углеводы являются одной из главных составных частей пищевого рациона людей (до 650 г углеводов в день) и многих животных. Они образуются в растениях за счет фотосинтеза в зеленом листе.

Углеводы (сахара) – органические вещества, состав которых выражается формулой $C_x(H_2O)_y$, где x и $y > 3$. Углеводы содержатся в клетках растительных и животных организмов и по массе составляют основную часть органического вещества на Земле. Эти соединения образуются растениями в процессе фотосинтеза из углекислого газа и воды.

Животные организмы не способны синтезировать углеводы и получают их с растительной пищей. Фотосинтез можно рассматривать как процесс восстановления CO_2 с использованием солнечной энергии. Эта энергия освобождается в животных организмах в результате метаболизма углеводов, который заключается с химической точки зрения в их окислении.



Важнейшими органическими производными являются альдегидо- и кетопроизводные многоатомных спиртов, так называемые углеводы общей формулы $C_n(H_2O)_m$. Они являются теми кирпичиками, из которых построен весь растительный мир, и незаменимыми элементами многих биосистем животных и человека, в частности, нуклеиновых кислот. Они же являются основным источником физической и духовной энергии живого организма. Название углеводы происходит от того, что все альдегид- и кетоспирты, начиная от простейших, таких как глицерольный альдегид $HO-CH_2-OH$ и диоксиацетон $HO-CH_2-CO-CH_2OH$, и до самых сложных полисахаридов имеют состав $C_n(H_2O)_m$ или $C_n(H_2O)_{m-1}$, который показывает, что в структуре их молекул нет ника-



ких других сочетаний атомов, кроме углерода и воды. Из-за сладкого вкуса многих углеводов и присутствия среди них таких веществ, как обычный сахар $C_{12}H_{22}O_{11}$ они получили название сахаров. Целесообразно начать рассмотрение свойств альдегидо- и кетоспиртов с углеводов. Углеводы можно разделить на простые с общей формулой $C_n(H_2O)_m$ и сложные с составом $\{C_n(H_2O)_{m-1}\}_x$, где x изменяется от двух до десятков тысяч. Соединения состава $C_n(H_2O)_m$ носят название моносахаридов и по числу атомов углерода n в молекуле подразделяются на тетрозы $C_4H_8O_4$ (например, эритрозы), пентозы $C_5H_{10}O_5$ (например, рибозы), гексозы $C_6H_{12}O_6$ (например, глюкозы и фруктозы). Соединения состава $\{C_n(H_2O)_{m-1}\}_x$ с $x = 2$ носят название дисахаридов, $x = 3$ – трисахаридов, $x = 4-10$ – олигосахаров. Если x велико, то соединения являются полисахаридами. К их числу относятся энергетические углеводы (крахмал, гликоген) и структурные углеводы (целлюлоза), создающие устойчивую структуру растений.

Большинство углеводов, используемых в пищу, под действием ферментов пищеварительного тракта гидролизуются до глюкозы и фруктозы, которые поступают в клетки. По способности к гидролизу углеводы делятся на простые – моносахариды и сложные – олигосахариды и полисахариды. Моносахариды не гидролизуются с образованием более простых углеводов. Сложные углеводы гидролизуются до моносахаридов. В молекулах олигосахаридов содержится от 2 до 10 моносахаридных остатков, в полисахаридах – от 10 до 3000–5000.

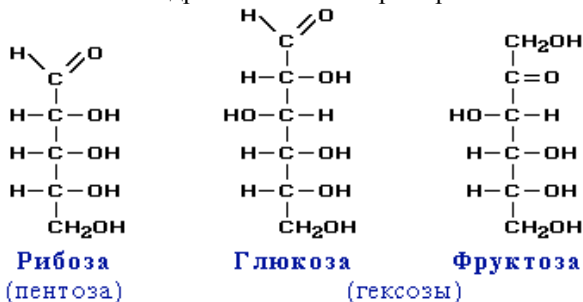
2. Моносахариды. Проекционные формулы Фишера. D и L-ряды. Таутомерия. Пирозная и фуранозная формы

Моносахариды – это простейшие сахаристые вещества, сладкие на вкус, растворимые в воде, оптически активные, которые подвергаются брожению и не подвергаются гидролизу. В зависимости от числа атомов кислорода, в большинстве случаев, равного числу углеродных атомов, моносахариды делятся на тетрозы, пентозы, гексозы, гептозы, октозы и т. д. По химическому строению моносахариды относятся к многоатомным оксиальдегидам или оксикетонам. Поэтому различают альдозы и кетозы.

В природе наиболее распространены моносахариды, в молекулах которых содержится пять углеродных атомов (пентозы) или шесть (гексозы). Моносахариды – гетерофункциональные соединения, в со-

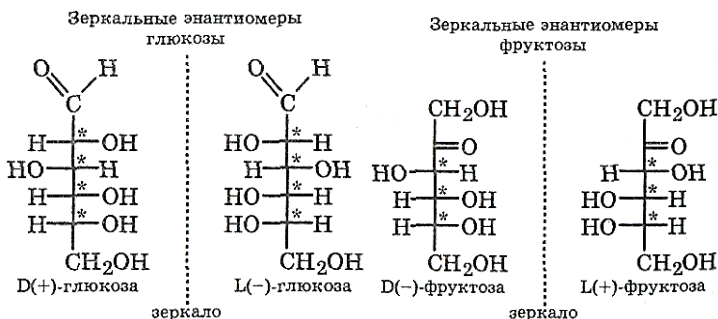


став их молекул входит одна карбонильная группа (альдегидная или кетонная) и несколько гидроксильных. Например:



Таким образом, моносахариды – это полигидроксиальдегиды (рибоза, глюкоза) или полигидроксикетоны (фруктоза).

Простая формула $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ изображает только одну из нескольких изомерных форм молекулы глюкозы. В молекуле глюкозы имеется 4 асимметрических атома углерода C^* , следовательно, этой формуле отвечает $2^4 = 16$ стереоизомеров. Абсолютная пространственная конфигурация глюкозы, находящейся в простой альдегидной форме, была установлена Э. Фишером еще в прошлом веке. Он предложил для записи оптических изомеров очень удобные проекционные формулы. Ниже приведена проекционная формула D-глюкозы.



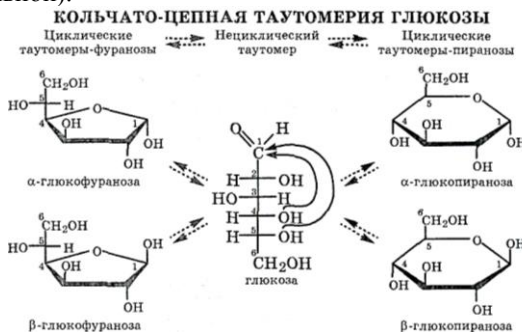
Моносахариды $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_m$, содержащие шестичленный цикл, называют пиранозами, пятичленный – фуранозами. В зависимости от расположения полуацетального гидроксильного различают α - и β -формы.



Изомерия моносахаридов определяется положением карбонильной группы, наличием асимметрических атомов углерода и существованием циклоцепной таутомерии. По современным воззрениям моносахариды в кристаллическом состоянии представляют собой внутренние циклические полуацетали многоатомных альдегидо-или кетонспиртов. В растворах циклические формы находятся в динамическом равновесии со своими нециклическими (оксикарбонильными) формами. У моносахаридов, имеющих циклическое строение, появляется новая гидроксильная группа из карбонильного кислорода, которая называется полуацетальным, или гликозидным гидроксилом. От остальных гидроксильных групп она отличается большей реакционной способностью.

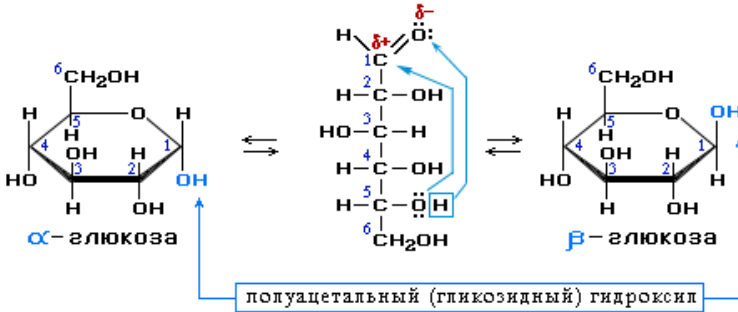
Однако не все свойства моносахаридов согласуются с таким строением. Так, моносахариды не участвуют в некоторых реакциях, типичных для карбонильной группы. Одна из гидроксигрупп отличается повышенной реакционной способностью и ее замещение на группу $-OR$ приводит к исчезновению свойств альдегида (или кетона). Это приводит к выводу, что моносахаридам, кроме приведенных формул, свойственна также иная структура, возникающая в результате внутримолекулярной реакции между карбонильной группой с одним из спиртовых гидроксидов.

Реакция присоединения спирта к альдегиду внутри одной молекулы сопровождается ее циклизацией, т. е. образованием циклического полуацетала. Известно, что наиболее устойчивыми являются пяти- и шестичленные циклы. Поэтому, как правило, происходит взаимодействие карбонильной группы с гидроксидом при 4-м или 5-м углеродном атоме (нумерация начинается с карбонильного углерода или ближайшего к нему конца цепи). Таким образом, в результате взаимодействия карбонильной группы с одной из гидроксильных моносахариды могут существовать в двух формах: линейной (оксо-форме) и циклической (полуацетальной).

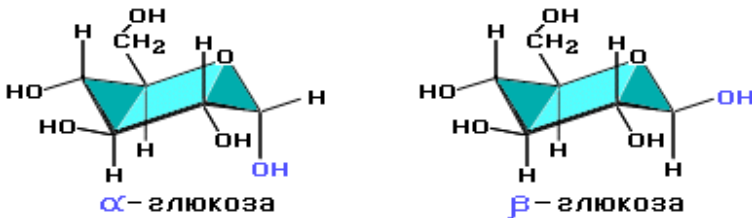




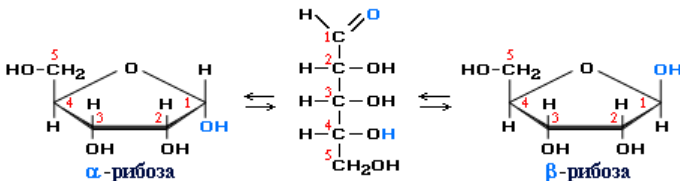
В растворах моносахаридов эти формы находятся в равновесии друг с другом. Например, в водном растворе глюкозы существуют следующие структуры:



Циклические α - и β -формы глюкозы представляют собой пространственные изомеры, отличающиеся положением полуацетального гидроксильного атома относительно плоскости кольца. В α -глюкозе этот гидроксил находится в цис-положении к гидроксильной группе при C₂, в β -глюкозе – в транс-положении. С учетом пространственного строения шестичленного цикла формулы этих изомеров имеют вид:



Аналогичные процессы происходят и в растворе рибозы:



В кристаллическом состоянии моносахариды имеют циклическое строение.



3. Химические свойства глюкозы

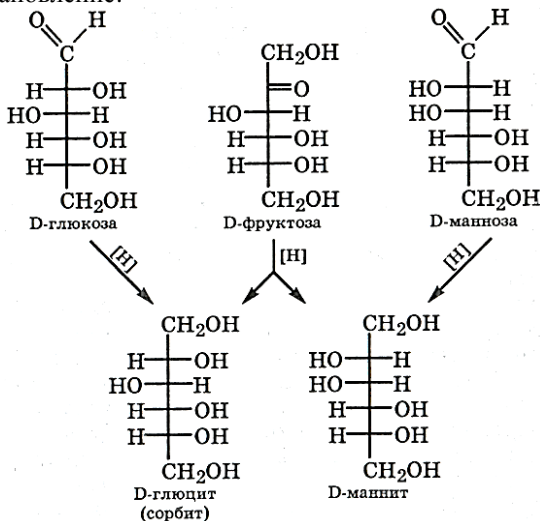
Наибольшее значение в жизненно важных структурах и процессах играют альдопентозы и особенно альдогексозы, например, глюкоза. Она входит в состав свекловичного (тростникового) сахара, крахмала, гликогена и целлюлозы. Основные химические реакции, доказывающие строение глюкозы, приведены на схеме.

Циклическая форма строения легко объясняет ряд особенностей моносахаридов, а именно: неспособность образовывать дисульфитные соединения с дисульфитом натрия и давать характерную окраску с фуксинсернистой кислотой, образование метилгликозидов и явление мураотации.

Химические свойства моносахаридов обуславливаются наличием карбонильной группы (окисление, восстановление, присоединение и замещение), спиртовых групп (образование сахаратов, простых и сложных эфиров, дегидратация) и гликозидного гидроксила в полуацетальной форме (образование сложных сахаров и гликозидов).

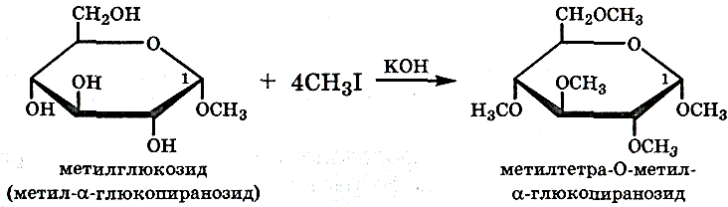
Реакция восстановления глюкозы с HI указывает на наличие 6С-атомов, реакции окисления $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$ и присоединения HCN на присутствие альдегидной группы, реакции с диметилсульфатом $(\text{CH}_3)_2\text{SO}_4$ и уксусным ангидридом на наличие 5ОН-групп. Из этих реакций следует, что глюкоза – пятиатомный альдегидоспирт с нормальным строением углеродной цепи.

1. Восстановление:

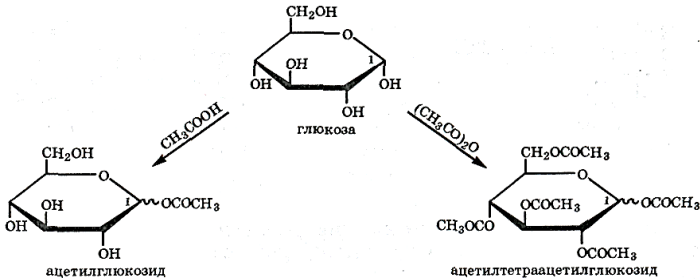




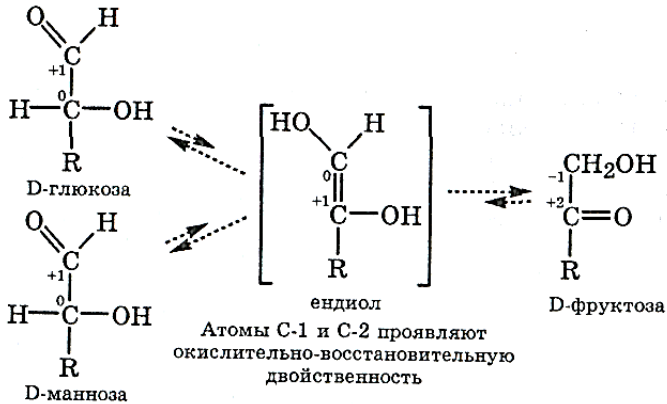
2. Алкилирование (метилирование):

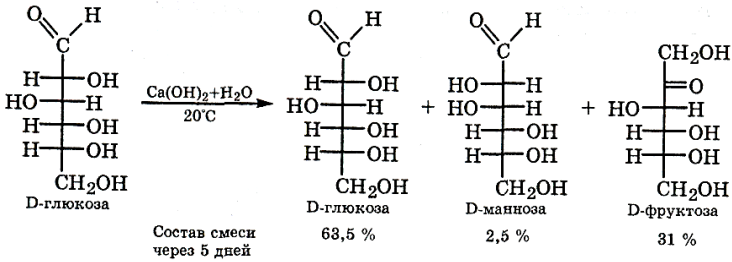


3. Ацилирование:



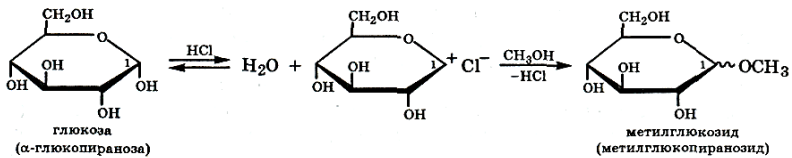
4. Эпимеризация в щелочной среде:



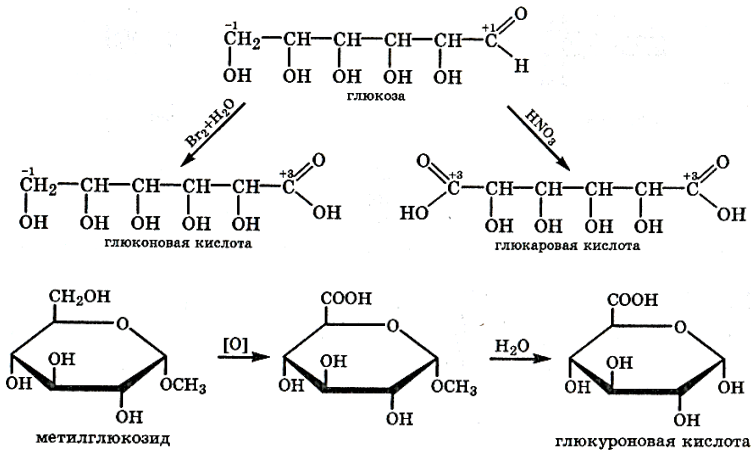


При действии щелочи альдозы могут превращаться в кетозы. Так, глюкоза с известковой водой через 5 суток дает смесь глюкозы (63%), фруктозы (31%) и маннозы (6%):

5. Образование гликозидов:

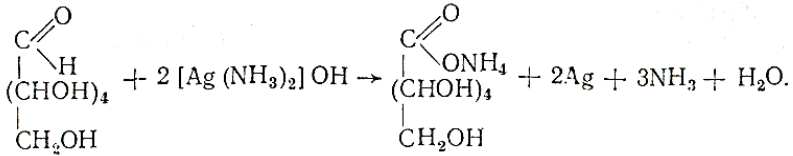


6. Окисление глюкозы:

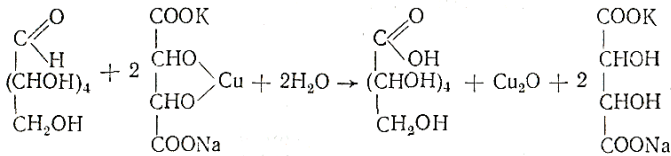




Образование серебряного зеркала:

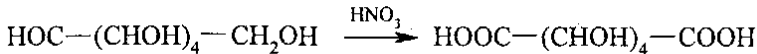


Реакция глюкозы с фелинговой жидкостью протекает весьма сложно, но сводится к окислению глюкозы и образованию оксида меди(I). Реактив Фелинга, так же как и аммиачный раствор оксида серебра, служит для обнаружения карбонильной группы в сахарах:

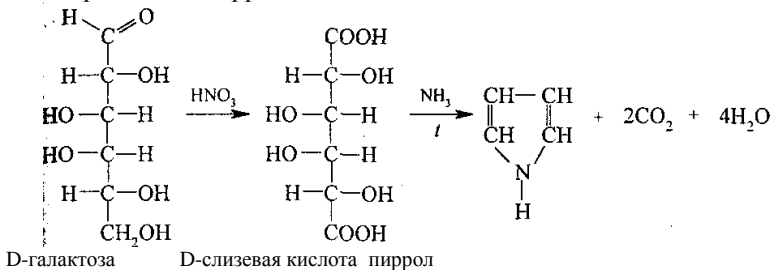


Качественную реакцию с фелинговой жидкостью можно применять и при количественных определениях содержания углеводов.

Окисление хлорной или бромной водой воздействует преимущественно на альдегидную группу, которая окисляется до COOH . Окисление HNO_3 (конц.) воздействует еще и на первичную спиртовую группу CH_2OH и образуется сахарная кислота:



D-Галактоза при окислении азотной кислотой образует слизевую кислоту, широко используемую в синтезе пятичленного ароматического гетероцикла – пиррола:

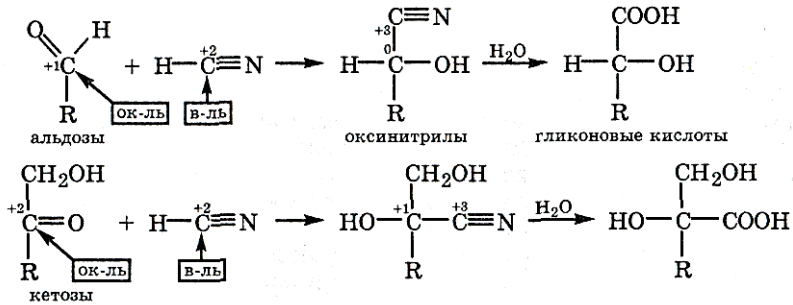


D-галактоза

D-слизевая кислота пиррол

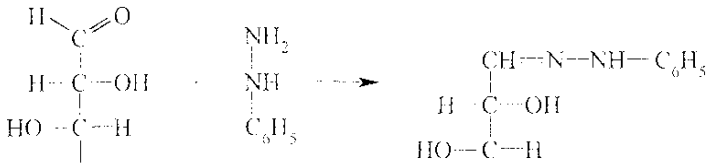


7. Взаимодействие с HCN:



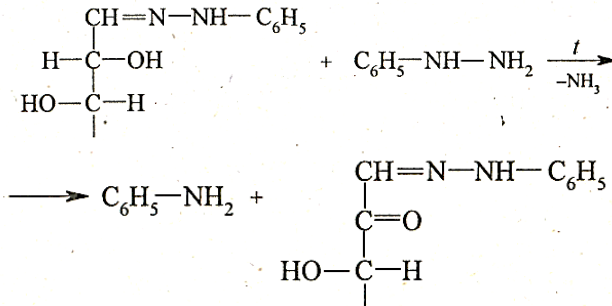
8. Взаимодействие с фенилгидразином.

Альдегидспирты (альдозы) при нагревании с фенилгидразином образуют фенилгидразоны. Реакция идет со сдвигом равновесия изомерных форм глюкозы в сторону открытой альдегидной формы, которая и реагирует:

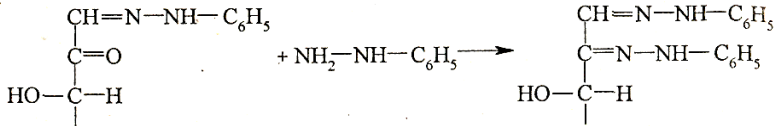


фенилгидразон D-глюкозы

При избытке фенилгидразина происходит дегидрирование соседней группировки:



Затем кетогруппа реагирует со вторым фенилгидразином и образуются желтые кристаллические вещества – озоны:

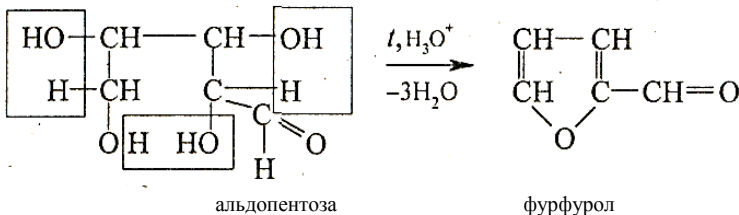


озазон глюкозы

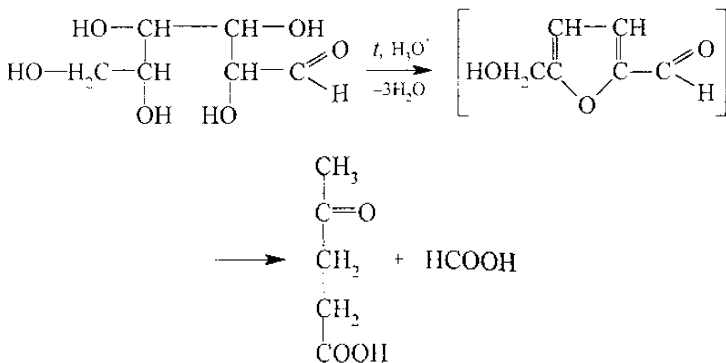
Озазоны имеют четкие температуры плавления и это позволяет использовать их для идентификации сахаров.

9. Нагревание.

Пентозы при нагревании с минеральными кислотами отщепляют воду и образуют фурфурол:



Альдогексозы при этом образуют левулиновую и муравьиную кислоты:



4-оксиметилфурфурол (левулиновая кислота)

Фурфурол с флороглюцином и соляной кислотой дает вишнево-красное окрашивание. Эта реакция является качественной на альдопентозы и на образуемые ими полисахариды – пентозаны $(\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_4)_x$. Пентозаны на 25 % составляют основу лиственных деревьев, входят в



состав сена (15 %), растительных камедей (вишневый клей, гуммиарабик) и др.

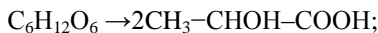
10. Реакции брожения.

Глюкоза как восстановитель переводит уксусный альдегид в этанол:



Если к бродильной жидкости добавить NaHSO_3 , то уксусный альдегид выпадает в виде гидросульфитного соединения, на который ферменты дрожжей не действуют и этанол не образуется. Сбраживанию подвергаются D-глюкоза, D-манноза, D-фруктоза и D-галактоза. На другие гексозы, в том числе L-изомеры перечисленных D-гексоз, а также на пентозы дрожжи не действуют. Другие виды ферментативно-го брожения имеют свои специфические схемы:

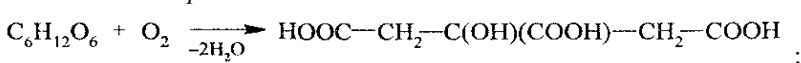
молочно-кислое брожение



масляно-кислое брожение



лимонно-кислое брожение



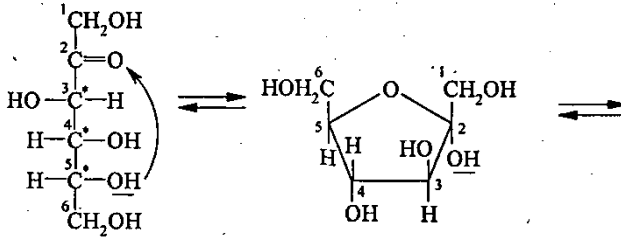
ацетонбутанольное брожение



Общим для всех этих видов брожения является то, что все они протекают как ферментативные процессы с участием биокатализаторов: оксигеназ (окислительных ферментов), гидрогеназ (восстановительных ферментов), декарбоксилаз (ферментов декарбоксилирования) и т. д. Специфичность протекания реакций разложения одних и тех же гексоз до тех или иных продуктов определяется природой ферментов, которые имеют различную пространственную структуру белка, разные реакционные центры (металлические или неметаллические, комплексные или простые и т. д.), пространственное экранирование реакционных центров и каналы в структуре белка для движения реагентов.

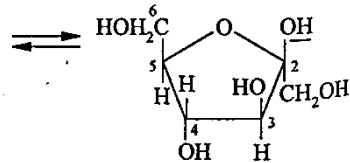
4. Фруктоза как представитель кетоз

Строение и свойства, отличие от глюкозы. Структурная изомерия (положения карбонильной группы).

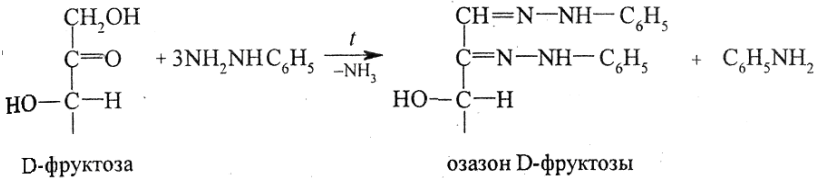


D-фруктоза (открытая форма)

α-D-фруктоза



β-D-фруктоза



D-фруктоза

озазон D-фруктозы

5. Олигосахариды (дисахариды).

Восстанавливающие дисахариды: мальтоза, лактоза, целлобиоза.

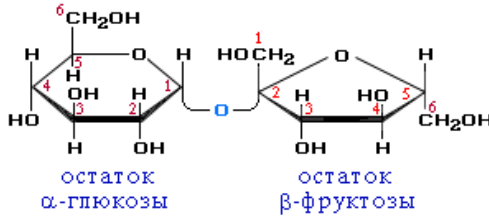
Их образование, строение.

Невосстанавливающие дисахариды (сахароза).

Образование и строение. Гидролиз

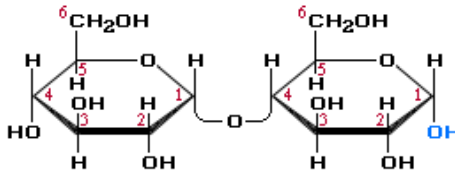
Дисахариды – это углеводы, молекулы которых состоят из двух остатков моносахаридов, соединенных друг с другом за счет взаимодействия гидроксильных групп (двух полуацетальных или одной полуацетальной и одной спиртовой). Примером наиболее распространенных в природе дисахаридов является сахароза (свекловичный или тростниковый сахар).

Молекула сахарозы состоит из остатков глюкозы и фруктозы, соединенных друг с другом за счет взаимодействия полуацетальных гидроксильных групп.

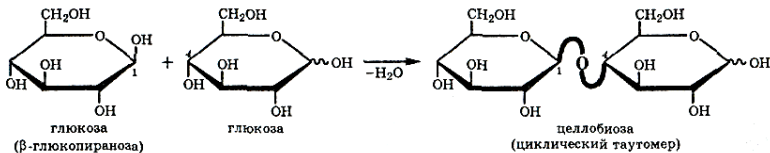
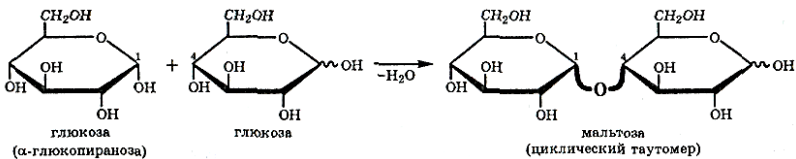


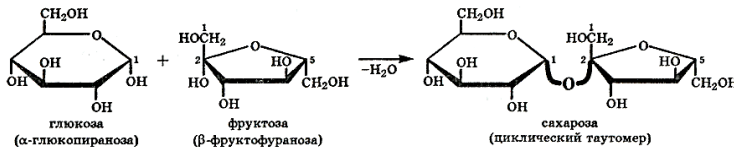
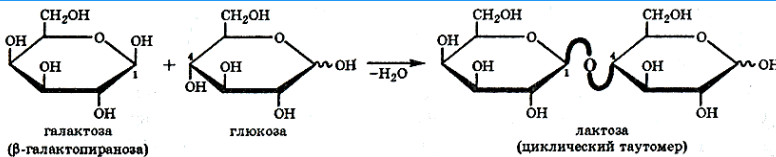
Сахароза, находясь в растворе, не вступает в реакцию «серебряного зеркала», так как не способна образовывать открытую форму. Подобные дисахариды называют невосстанавливающими, т. е. не способными окисляться.

Существуют дисахариды, в молекулах которых имеется свободный полуацетальный гидроксил, в водных растворах таких сахаров существуют равновесие между открытой и циклической формами молекул. Такие дисахариды легко окисляются, т. е. являются восстанавливающими, например, мальтоза.

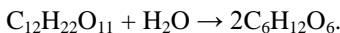


Синтез дисахаридов

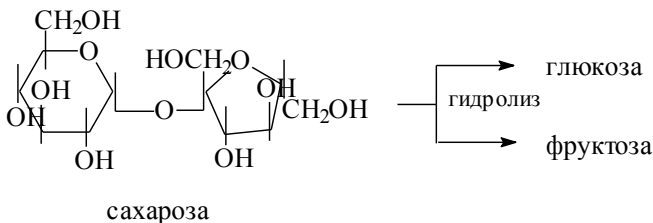




Для дисахаридов характерна реакция гидролиза, в результате которой образуются две молекулы моносахаридов:



Сахарозу называют также **тростниковым** ли **свекловичным сахаром**. Сахароза отличается от других дисахаридов тем, что содержит фруктофуранозное кольцо и гликозидная связь соединяет аномерные центры обоих сахаров в молекуле сахарозы.



Поскольку в образовании ацетяля участвуют оба аномерных атома углерода, сахароза не относится к восстанавливающим сахарам. Она не реагирует ни с реактивом Толленса, ни с раствором Бенедикта.

По типу дисахаридов построены молекулы других олигосахаридов и полисахаридов.

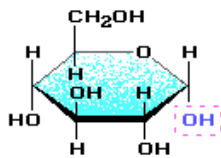
6. Полисахариды

Полисахариды – это природные высокомолекулярные углеводы, макромолекулы которых состоят из остатков моносахаридов. Основ-

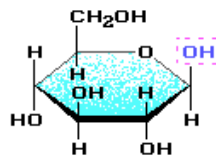


ные представители – крахмал и целлюлоза – построены из остатков одного моносахарида – глюкозы. Крахмал и целлюлоза имеют одинаковую молекулярную формулу: $(C_6H_{10}O_5)_n$, но совершенно различные свойства. Это объясняется особенностями их пространственного строения.

Крахмал состоит из остатков α -глюкозы, а целлюлоза – из β -глюкозы, которые являются пространственными изомерами и отличаются лишь положением одной гидроксильной группы (выделена цветом):

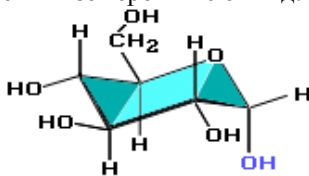


α -глюкоза

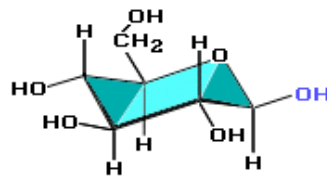


β -глюкоза

С учетом пространственного строения шестичленного цикла формулы этих изомеров имеют вид:



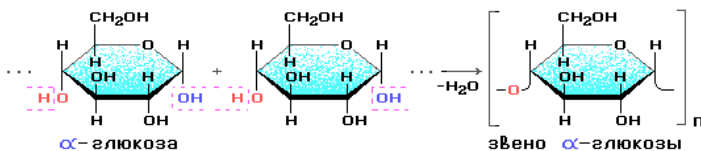
α -глюкоза



β -глюкоза

Крахмал

Крахмалом называется смесь двух полисахаридов, построенных из остатков циклической α -глюкозы.



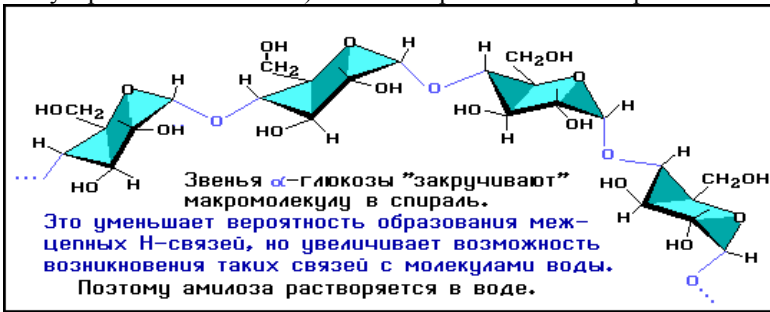
В его состав входят:

амилоза (внутренняя часть крахмального зерна) – 10–20 %;

амилопектин (оболочка крахмального зерна) – 80–90 %.

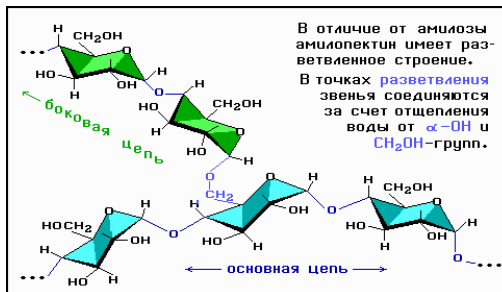


Цепь амилозы включает 200–1000 остатков α -глюкозы (средняя молекулярная масса 160 000) и имеет неразветвленное строение.



Макромолекула амилозы представляет собой спираль, каждый виток которой состоит из шести звеньев α -глюкозы. При взаимодействии амилозы с иодом в водном растворе молекулы иода входят во внутренний канал спирали, образуя так называемое соединение включения. Это соединение имеет характерный синий цвет. Данная реакция используется в аналитических целях для обнаружения как крахмала, так и иода (иодкрахмальная проба).

Амилопектин состоит из разветвленных макромолекул, молекулярная масса которых достигает 1–6 млн.



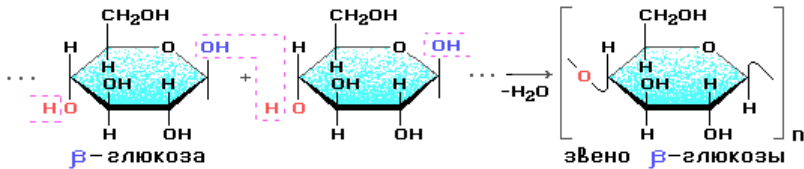
Подобно амилопектину построен гликоген (животный крахмал). Полисахарид **гликоген** снабжает организм животных глюкозой при повышенных физических нагрузках, а также в промежутках между приемами пищи. Он запасается преимущественно в печени и скелетной мускулатуре. Гликоген очень напоминает амилопектин, но в гли-



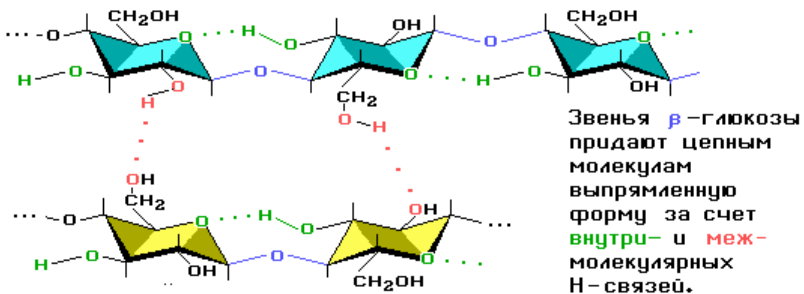
когене степень разветвления значительно выше. Гликоген можно рассматривать как структурный и функциональный аналог растительного крахмала у животных.

Целлюлоза (клетчатка) – наиболее распространенный растительный полисахарид. Этот биополимер обладает большой механической прочностью и выполняет роль опорного материала растений, образуя стенку растительных клеток. Используется в производстве волокон и бумаги.

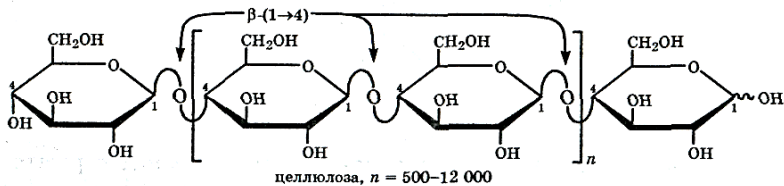
В большом количестве целлюлоза содержится в древесине и хлопке. Цепи целлюлозы построены из остатков β -глюкозы и имеют линейное строение.



Молекулярная масса целлюлозы – от 400 тыс. до 2 млн. Целлюлоза относится к наиболее жесткоцепным полимерам.



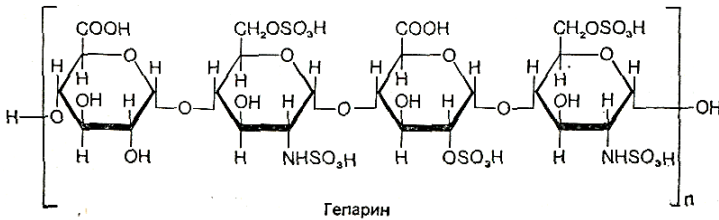
Поэтому целлюлоза имеет волокнистую структуру и нерастворима.





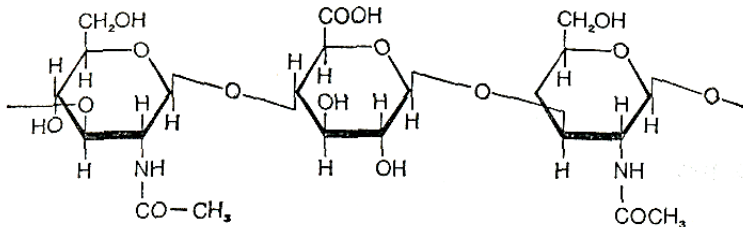
Мукополисахариды относятся к высокомолекулярным гетерополисахаридам, образующим комплексные соединения с белками. Они являются основными компонентами слизей (слюны, кишечного сока, суставов). Основными представителями этой группы углеводов являются гепарин, гиалуроновая и хондроитинсерная кислоты.

Гепарин является представителем гетерополисахаридов. Это полимер с молекулярной массой 20 000, состоящий из остатков глюкуроновой кислоты, α -D-глюкозамина и сеоной кислоты:



Гепарин препятствует свертыванию крови и поэтому широко используется в качестве антикоагулянта при переливании крови, а также для профилактики и лечения тромбозов.

Гиалуроновая кислота – гетерополисахарид, молекула которого образована остатками N-ацетил- β -D-глюкозамина и β -D-глюкуроновой и уксусной кислот. Глюкозамин соединен с кислотой (3-(1,4)-связью). Структура гиалуроновой кислоты имеет вид



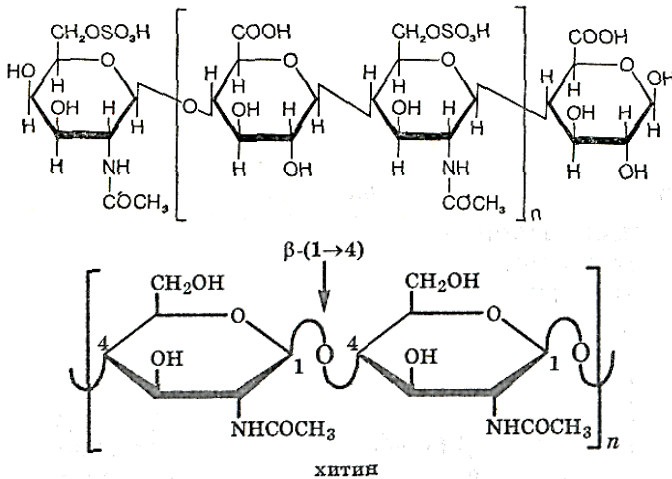
Молекулярная масса гиалуроновой кислоты – от 270 до 500 тыс. Благодаря ионизации карбоксильных групп гиалуроновая кислота взаимодействует с молекулами воды, различными ионами, образует высокомолекулярные комплексы с белками, растворы ее обладают большой вязкостью. Гиалуроновая кислота обнаружена в синовиальной жидкости, сухожилиях, в стекловидном теле глаза, пупочном канатике,



злокачественных опухолях. В организме человека и животных гиалуроновая кислота играет большую роль в процессах проницаемости клеточных мембран, оплодотворения и в формировании защитных свойств организма от инфекции.

Хондроитинсерная кислота – высокомолекулярный гетерополисахарид (молекулярная масса 40 000–50 000). При его гидролизе образуется N-ацетилгалактозамин, глюкуроновая, уксусная и серная кислоты. В процессе синтеза хондроитинсерной кислоты N-ацетилгалактозамин может соединяться с глюкуроновой кислотой β -1,3 или β -1,4-гликозидными связями.

В зависимости от структуры и составных компонентов хондроитин-сульфаты могут находиться в трех формах – А, В и С. Структурное отличие хондроитинсульфатов А и С определяется положением сульфатных остатков. В хондроитинсульфате А-сульфатная группа соединена сложноэфирной связью с С-4 N-ацетилгалактозамина, а в хондроитинсульфате С она соединена с С-6. В молекуле хондроитинсульфата β -глюкуроновая кислота замещена ее изомером – идуроновой кислотой.





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 $a \cdot 10^{-24}$, см ³
			10^{30} . Кл · 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 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		
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	n-пропил	$\text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_2-$	неопентил
$\text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_3$ 	изопропил (пропил-2)		
CH_3		CH_3	
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	n-бутил		трет-пентил
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-$ 	втор-бутил	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C}-$	
CH_3			
$\text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-$ 	изобутил (2-метил-пропил-1)	CH_3	
CH_3		$\text{CH}_2=$	метилен
CH_3		$\text{CH}\equiv$	метин
$\text{CH}_3-\text{C}-$	трет-бутил	$\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2$	этилен
CH_3		$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	этилен
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-$	n-пентил	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	триметилен
$\text{CH}_3\text{CHCH}_2\text{CH}_2-$ 	изопентил	$\text{CH}_2=\text{CH}-$	винил
CH_3		$\text{HC}\equiv\text{C}-$	этинил
C_6H_5-	фенил	$\text{CH}_2=\text{C}-$	изопропенил
$\text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_4-$	толил (n-изомер)		
$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-$	бензил	$\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_2-$	1-бутенил
$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}=\text{CH}-$	стирил	$\text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}_2-$	2-бутенил
$(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{CH}-$	бензгидрил (дифенил-метил)		метилаллил (металлил)
$(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{C}-$	тритил	CH_3	
$\text{CH}_2=\text{C}=\text{CH}_2$	винилиден	$\text{CH}_3-\text{C}=\text{O}$	ацетил
$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-$	аллил		
$\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-$	пропенил	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{C}=\text{O}$	бензоил
$\text{CH}_3-\text{CO}-\text{CH}_2-$	ацетонил		
$\text{CH}_3-\text{O}-$	метокси	$-\text{O}-\text{CH}_2-\text{O}-$	метилендиокси
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{O}-$	этоксид		



Простейшие спирты можно называть по соответствующему радикалу: метильный 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 Пропандиовая Бутандиовая Пентандиовая Гександиовая	Щавелевая Малоновая Янтарная Глутаровая Адипиновая	Оксалил Малонил Сукцинил Глутарил Адипоил	$-\text{OC}-\text{OC}-$ $-\text{OC}-\text{CH}_2-\text{CO}-$ $-\text{OC}-(\text{CH}_2)_2-\text{CO}-$ $-\text{OC}-(\text{CH}_2)_3-\text{CO}-$ $-\text{OC}-(\text{CH}_2)_4-\text{CO}-$
Непредельные алифатические кислоты			
Пропеновая Пропиновая 2-Метилпропеновая транс-Бутен-2-овая цис-Бутен-2-овая цис-Октадецен-9-овая	Акриловая Пропиоловая Метакриловая Кротоновая Изокротоновая Олеиновая	Акрилоил Пропиолоил Метакрилоил Кротоноил Изокротоноил Олеоил	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CO}-$ $\text{CH}\equiv\text{C}-\text{CO}-$ $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CO}-$ $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCO}-$ — " — $\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CH}_3$ \parallel $\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}-$
цис-Бутен-2-диовая транс-Бутен-2-диовая	Малеиновая Фумаровая	Малеолил Фумароил	$-\text{OC}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CO}-$ — " —
Карбоциклические кислоты			
Бензолкарбоновая Метилбензол- карбоновая 1,2-Бензолди- карбоновая 1,4-Бензолдикарбоновая транс-3-Фенилпропеновая	Бензойная Толуиловая (о-, м-, п-) Фталевая Терефталевая Коричная	Бензоил Толуил (о-, м-, п-) Фталоил Терефталоил Циннамоил	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CO}-$ $\text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CO}-$  $-\text{OC}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CO}-$ $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}=\text{CH}-\text{CO}-$

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 $-\text{OH}$	гидрокци-	-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.:ООО «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. Смарыгин. – 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. Лабораторный практикум: учеб. пособие/А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная, И. В. Ковалева, Т. В. Булак.–Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 320 с.
10. Угай Я. А. Общая и неорганическая химия: Учебник для вузов/ Я. А. Угай. 4-е изд. – М.: Высш. шк., 2004. – 440 с.
11. 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
12. Хмельницкий, Р. А. Физическая и коллоидная химия: Учебник для вузов/ Р. А. Хмельницкий. – М.: Высш. шк., 1988.
13. Цитович, Н. К. Курс аналитической химии: Учебник для вузов/ Н. К. Цитович. – М.: Высш. шк., 1987. – 403 с.
14. Цыганов, А. Р. Сборник задач и упражнений по химии: Учеб. пособие / А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 236 с.
15. 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 : Высш. 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. учеб. заведений / 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.



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



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.

Составители

Поддубная Ольга Владимировна
Ковалева Ирина Владимировна
Мохова Елена Владимировна
Шагитова Марина Николаевна