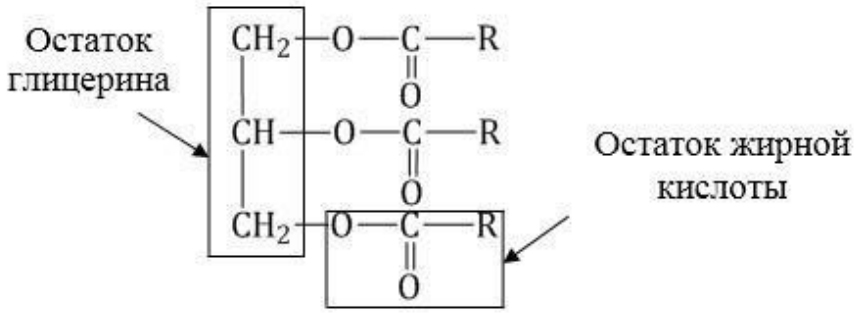
Лекция 8. Жиры. Углеводы.

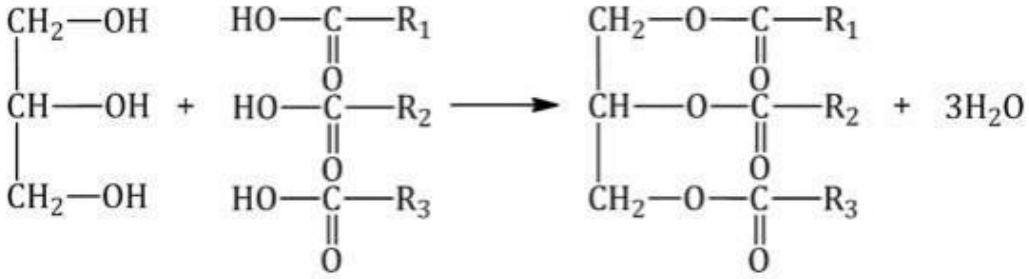
План лекции:

1. *Жиры. Классификация жиров. Номенклатура. Получение. Свойства жиров.*
2. *Углеводы, классификация, свойства.*

1. Жиры – это сложные эфиры, образованные глицерином и высшими одноосновными карбоновыми кислотами (жирными кислотами).



Жиры образуются при взаимодействии глицерина и высших карбоновых кислот:



Жирные кислоты

Название	Брутто-формула	Число атомов углерода	Структурная формула
Насыщенные кислоты			
Лауриновая	$C_{11}H_{23}COOH$	13	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$
Миристиновая	$C_{13}H_{27}COOH$	14	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$
Пальмитиновая	$C_{15}H_{31}COOH$	16	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$
Стеариновая	$C_{17}H_{35}COOH$	18	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$
Арахиновая	$C_{19}H_{39}COOH$	20	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$
Ненасыщенные кислоты			
Пальмитоолеиновая	$C_{15}H_{29}COOH$	16	$CH_3(CH_2)_5CH{=}CH(CH_2)_7COOH$
Олеиновая	$C_{17}H_{33}COOH$	18	$CH_3(CH_2)_7CH{=}CH(CH_2)_7COOH$
Линолевая	$C_{17}H_{31}COOH$	18	$CH_3(CH_2)_3(CH_2CH{=}CH)_2(CH_2)_7COOH$
Арахидоновая	$C_{19}H_{31}COOH$	20	$CH_3(CH_2)_4(CH{=}CHCH_2)_4(CH_2)_2COOH$

Классификация жиров

В основе **классификации жиров** лежит несколько признаков.

1. По происхождению

- животные (наземных животных, птиц, морских животных и рыб)
- растительные (из семян и мякоти плодов)

2. По агрегатному состоянию

- жидкие (подсолнечное, соевое и др.)
- твердые (бараний, говяжий, кокосовое масло и др.)
- полужидкие (свиной жир)

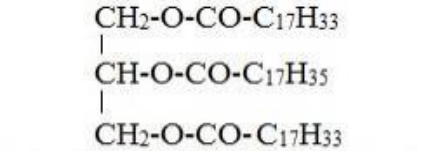
3. По химическому строению

- предельные (остатки насыщенных высших карбоновых кислот)
- непредельные (остатки ненасыщенных высших карбоновых кислот)
- смешанные (остатки насыщенных и ненасыщенных высших карбоновых кислот).

Номенклатура жиров

Существуют различные **способы составления названий жиров**.

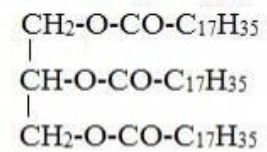
По систематической номенклатуре их называют триацилглицеринами. Для названия ацилов (остатков карбоновых кислот) используется суффикс «**-оил**». Например, 1,3-диоле**оил**-2-стеар**оил**глицерин:



1,3-диоле**оил**-2-стеар**оил**глицерин

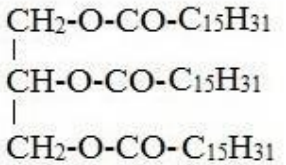
Согласно тривиальной номенклатуре, глицериды называют, добавляя окончание ***–ин*** к названию кислоты и приставку, показывающую, сколько гидроксильных групп в молекуле глицерина проэтерифицировано.

Например, ***тристеарин*** – это жир, представляющий собой сложный эфир, молекула которого состоит из остатка глицерина и трех остатков стеариновой кислоты:

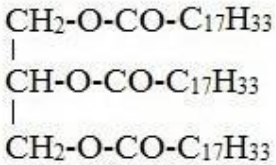


тристеарат глицерина (тристеарин)

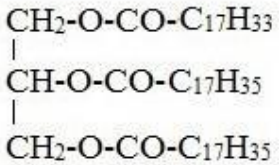
Примеры:



трипальмитат глицерина (трипальмитин)



триолеат глицерина (триолеин)



олеодистеарат глицерина (олеодистеарин)

Получение

Жиры получают реакцией этерификации − взаимодействие глицерина с высшими карбоновыми кислотами (реакция Бертло):



Свойства жиров

Физические свойства. По агрегатному состоянию при комнатной температуре жиры (смеси триглицеридов) – твердые, мазеобразные или жидкие вещества. Агрегатное состояние жиров определяется природой жирных кислот.

Животные жиры (бараний, свиной, говяжий и т.п.), как правило, являются твердыми веществами с невысокой температурой плавления (исключение − рыбий жир). Они состоят главным образом из триглицеридов насыщенных (предельных) карбоновых кислот.

Растительные жиры − масла (подсолнечное, соевое, хлопковое и др.) − жидкости (исключение − кокосовое масло, масло какао-бобов). В состав триглицеридов масел входят остатки ненасыщенных (непредельных) карбоновых кислот.

Все жиры легче воды и практически не растворимы в воде, но при добавлении мыла или других поверхностно-активных веществ (эмульгаторов), они способны образовывать стойкие водные эмульсии. Жиры ограниченно растворимы в спирте и хорошо растворимы во многих неполярных и малополярных растворителях – эфире, бензоле, хлороформе, бензине.

Химические свойства жиров обусловлены наличием:

- сложных эфирных связей;
- двойных связей в углеводородных радикалах жирных кислот;
- наличием глицерина в составе жира.

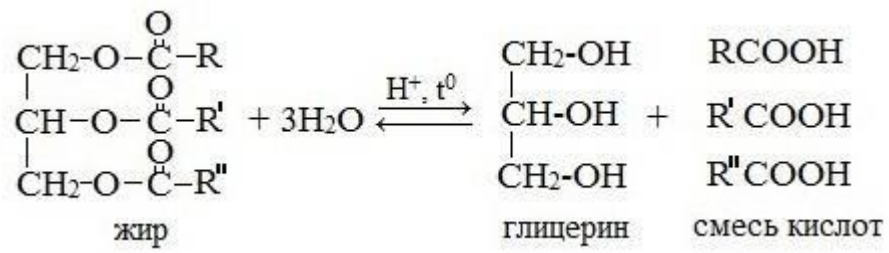
Гидролиз, или омыление

В зависимости от условий гидролиз бывает:

- кислотный (в присутствии кислоты в качестве катализатора);
- щелочной (под действием щелочей);
- водный (без катализатора, при высоких t^0 и Р);
- ферментативный (происходит в живых организмах).

1. Кислотный гидролиз

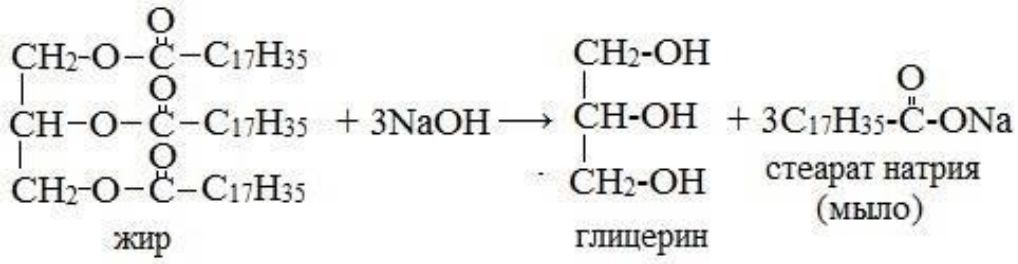
Жирам как сложным эфирам свойственна обратимая реакция гидролиза, катализируемая минеральными кислотами:



2. Щелочной гидролиз (реакция Шевреля)

При участии щелочей гидролиз жиров происходит необратимо — щелочи превращают образующиеся кислоты в соли и тем самым устраняют возможность

взаимодействия кислот с глицерином. Продуктами в этом случае являются **мыла** — соли высших карбоновых кислот и щелочных металлов:



Натриевые соли — твердые мыла, калиевые — жидкие. Реакция щелочного гидролиза жиров, и вообще всех сложных эфиров, называется также *омылением*.

3. Водный гидролиз

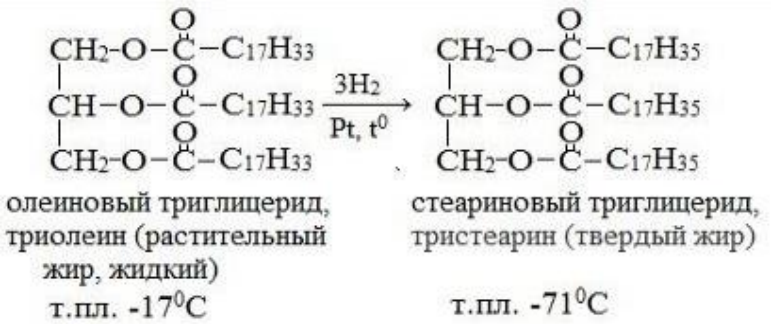
Промышленный метод гидролиза жиров заключается в обработке их водяным паром при температуре 200^0C под давлением.

4. Ферментативный гидролиз

В организмах человека и животных жиры, поступающие в составе пищи, подвергаются гидролитическому расщеплению с участием специальных ферментов – липаз.

Гидрогенизация (гидрирование) жидких жиров

Жидкие жиры превращают в твердые путем реакции гидрогенизации (каталитического гидрирования). При этом водород присоединяется по двойной связи, содержащейся в углеводородном радикале молекул масел:

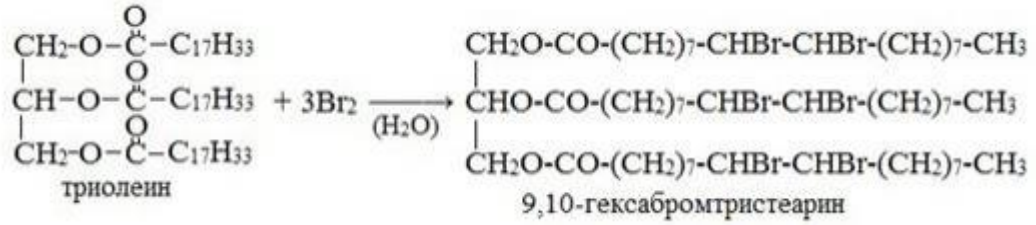


Продукт гидрогенизации масел — твердый жир (искусственное сало, *саломас – сало из масла*). *Маргарин* — пищевой жир, состоит из смеси гидрогенизированных масел (подсолнечного, кукурузного, хлопкого и др.), животных жиров, молока и вкусовых добавок (соли, сахара, витаминов и др.).

В условиях процесса гидрогенизации масел (высокая температура, металлический катализатор) происходит изомеризация части кислотных остатков, содержащих *цис*-связи C=C, в более устойчивые *транс*-изомеры. Повышенное содержание в маргарине (особенно, в дешевых сортах) остатков *транс*-ненасыщенных кислот увеличивает опасность атеросклероза, сердечно-сосудистых и других заболеваний.

Присоединение галогенов жидкими жирами

Растительные масла обесцвечивают бромную воду:



Реакции окисления и полимеризации (для жидких ненасыщенных жиров)

Жиры, содержащие остатки ненасыщенных кислот (высыхающие масла), под действием кислорода воздуха окисляются и полимеризуются.

При длительном хранении жиры портятся (прогоркают). Под действием воздуха, света и микроорганизмов происходит частичный гидролиз жиров с образованием свободных жирных кислот и продуктов их превращения, обычно имеющих неприятный запах и вкус. Срок годности жиров увеличивается при низкой температуре и в присутствии консервантов (чаще всего поваренной соли).

3. Углеводы, синтез, классификация, свойства

Углеводы (сахара) — органические вещества, имеющие сходное строение и свойства, состав большинства которых отражает формула $C_x(H_2O)_y$,

где x, y ≥ 3.

Общеизвестные представители: глюкоза (*виноградный сахар*) $C_6H_{12}O_6$, сахароза (*тростниковый, свекловичный сахар*) $C_{12}H_{22}O_{11}$, мальтоза (солодовый сахар) $C_{12}H_{22}O_{11}$, лактоза (*молочный сахар*) $C_{12}H_{22}O_{11}$, крахмал и целлюлоза $(C_6H_{10}O_5)_n$.

Известны также соединения, относящиеся к углеводам, состав которых не соответствует общей формуле, например, сахар *рамноза* $C_6H_{12}O_5$

В то же время есть вещества, соответствующее общей формуле углеводов, но не проявляющие их свойства (например, природный шестиатомный спирт *инозит* $C_6H_{12}O_6$).

Углеводы объединяют разнообразные соединения – от низкомолекулярных, состоящих из некоторых атомов (x=3), до полимеров $[C_xH_2O_y]_n$ с молекулярной массой в несколько миллионов (n=10000).

Синтез углеводов

Образование в природе при фотосинтезе:



Классификация углеводов

Все углеводы подразделяются на две группы:

Простые — моносахариды (монозы).

Моносахариды не способны гидролизоваться с образованием более простых соединений. По числу атомов углерода в цепи различают триозы, тетрозы, пентозы, гексозы и гептозы, содержащие соответственно 3, 4, 5, 6 и 7 атомов углерода. В природе наиболее распространены гексозы и пентозы.

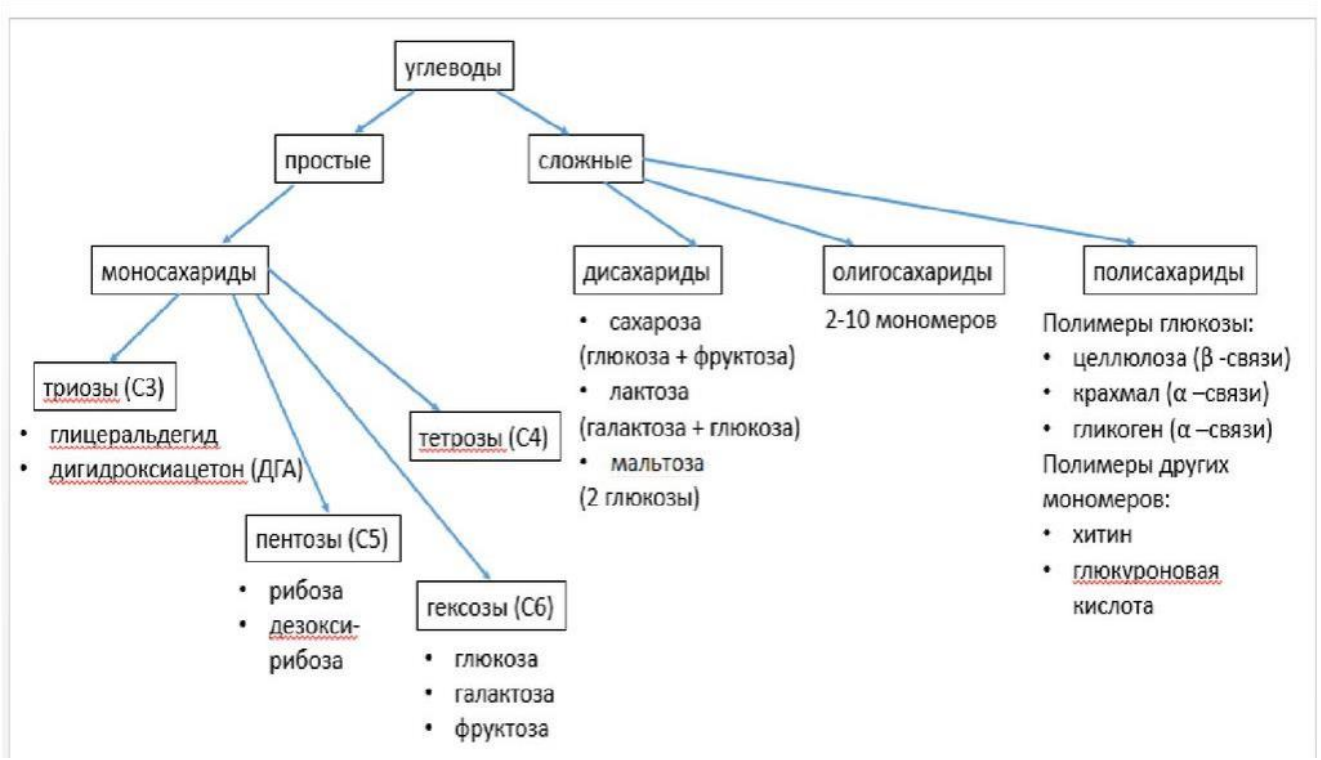
Сложные — полисахариды (полиозы).

Полисахариды подразделяют на:

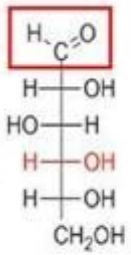
Низкомолекулярные – сахароподобные, или олиго-сахариды, или полисахориды первого порядка.

Высокомолекулярные, или ***несахароподобные,*** или ***полисахариды*** второго порядка.

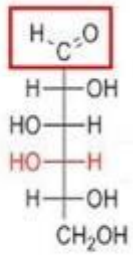
При гидролизе полисахаридов в качестве конечных продуктов образуются моносахариды. У несахароподобных полисахаридов молекулярная масса велика, в их состав входят остатки сотен и тысяч моносахаридов, конкретное число которых химической формулой не определяется.



По наличию альдегидной и кетонной группы, углеводы делятся на альдозы

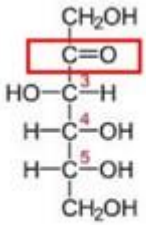


D-глюкоза



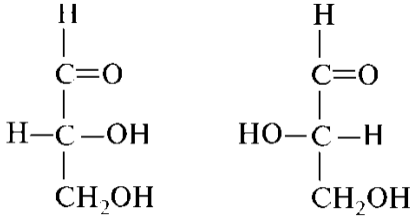
D-галактоза

и кетозы:



D- фруктоза

Оптические свойства. Моносахариды − оптически активные соединения, так как в их молекулах имеются асимметрические или хиральные атомы углерода, связанные с четырьмя различными заместителями. Таких атомов углерода может быть (за исключением производного трисахарида – дегидро-оксиацетона) один или несколько. Простейшим моносахаридом, проявляющим оптическую активность, является глицеральдегид. В его молекуле находится один асимметрический углеродный атом, а сам моносахарид существует в двух формах:



D-Глицеральдегид *L*-Глицеральдегид

D-форма изомера, если в его молекуле гидроксильная группа у асимметрического углеродного атома, максимально удаленного от альдегидной или кетонной группы, занимает то же положение, что и в молекуле *D*-глицеральдегида; если же она занимает то же положение, что и в молекуле *L*-глицеральдегида, то такую форму обозначают как *L*-изомер.

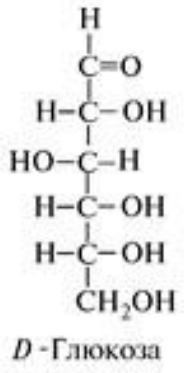
Практически все моносахариды, встречающиеся в природе, принадлежат к *D*-ряду.

Структура моносахаридов

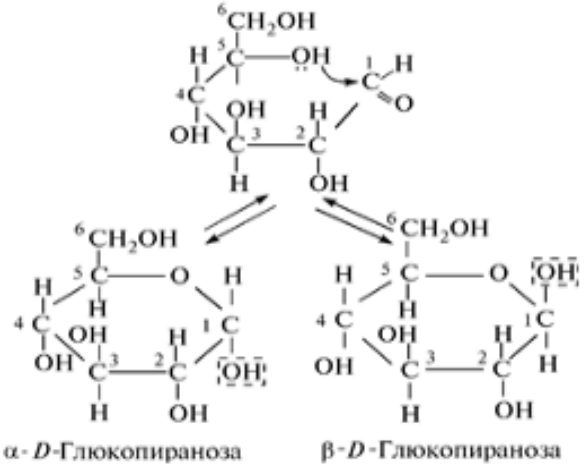
В природных условиях пентозы и гексозы находятся в алифатической и в циклической или полуацетальной форме.

Структурные формулы альдогексоз

D-Глюкоза может образовывать две циклические формы – пиранозную и фуранозную. Формирование пиранозного кольца в молекуле *D*-глюкозы обусловлено протеканием реакции между альдегидной и гидроксильной группами, приводящей к образованию полуацеталя.



D -Глюкоза



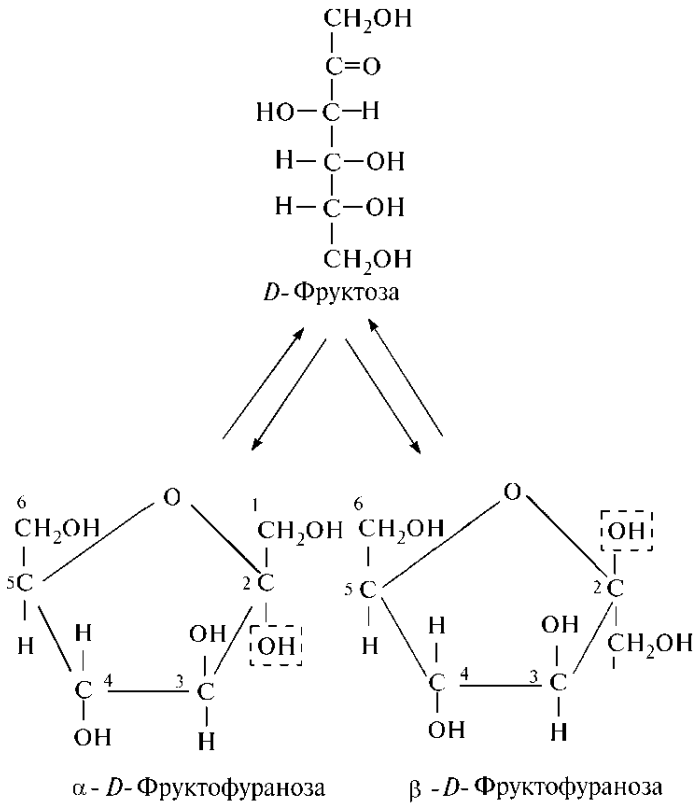
α-*D*-Глюкопираноза β-*D*-Глюкопираноза

Ациклическая и циклическая формы глюкопиранозы

Альдогексозы могут существовать в виде циклических соединений с пятичленным кольцом, образуя фуранозные циклы. Однако шестичленное альдопиранозное кольцо более устойчиво, чем альдофуранозное, поэтому в растворах альдогексоз преобладает альдопиранозная форма.

Структурные формулы кетогексоз

В молекуле кетогексоз гидроксильная группа пятого углеродного атома взаимодействует с карбонильной группой у второго углеродного атома, образуя пятичленное фуранозное кольцо с полуацетальной связью.

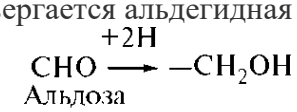


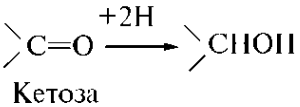
Ациклическая и циклическая формы фруктофуранозы

D-Фруктоза образует две фуранозные формы (α-*D*- и β-*D*-фруктофуранозы), из которых чаще встречается β-*D*-фруктофураноза.

Восстановление моносахаридов

При восстановлении моносахаридов образуются соответствующие многоатомные спирты, так как восстановлению подвергается альдегидная или кетонная группа:



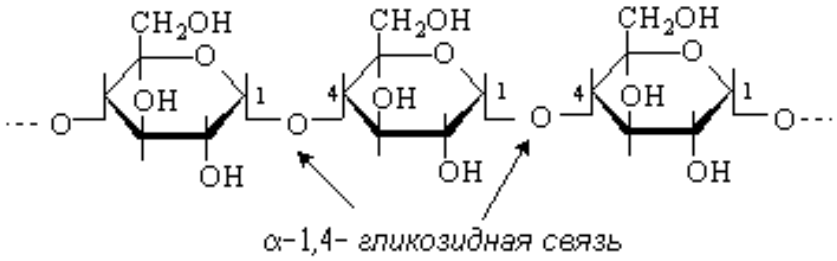


В растениях наиболее часто встречаются сорбит, который образуется при восстановлении глюкозы или фруктозы, маннит — при восстановлении маннозы и рибит — при восстановлении рибозы. Сорбит содержится в ягодах рябины, в соке вишен, слив, яблок и груш.

Взаимодействие моносахаридов со спиртами

Сахара, являясь производными спиртов, могут взаимодействовать со спиртами с образованием простых эфиров типа R—O—R_1 с выделением воды.

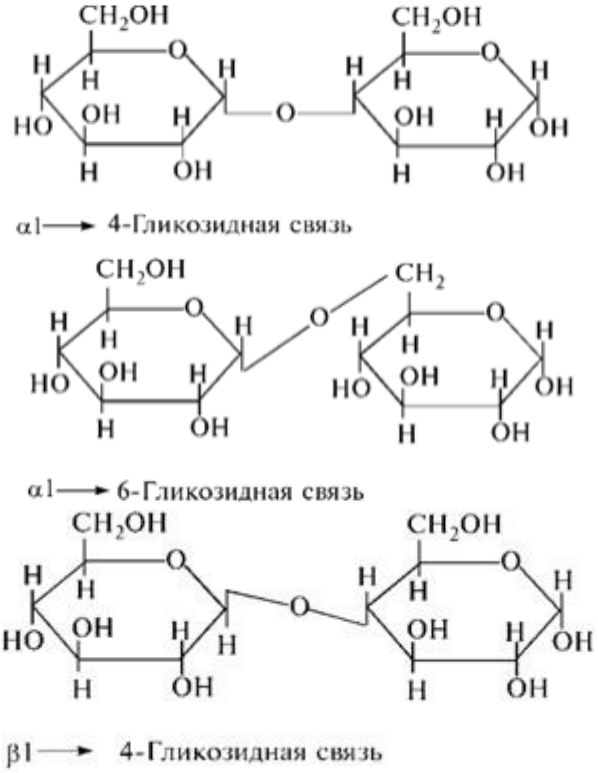
Если реакция проходит только с участием гликозидного гидрооксила, то образовавшаяся структура носит название *гликозида.* В этом случае вновь образовавшаяся связь называется *гликозидной.*



Образование гликозидов

Значение гликозидной связи

Гликозидная связь имеет очень важное биологическое значение. С помощью этой связи осуществляется ковалентное связывание моносахаридов в составе олиго- и полисахаридов. Ниже показано образование гликозидной связи между молекулами α- и β-глюкозы в дисахаридах.



Гликозидная связь в дисахаридах.

Окисление моносахаридов

Моносахариды легко окисляются, причем в зависимости от условий окисления образуют различные продукты:

$$-\overset{1}{C}HO \xrightarrow{+1/2\ O_2} -COOH;$$

$$-\overset{6}{C}H_2OH \xrightarrow{-2H} -CHO \xrightarrow{+1/2\ O_2} -COOH.$$

Действие слабых окислителей

При действии слабых окислителей – щелочных растворов некоторых металлов окисляется альдегидная группа (гликозидный гидроксил), в результате чего образуются альдоновые кислоты. Из глюкозы в результате реакции образуется глюконовая кислота (глюконат).

Сахара, имеющие свободный гликозидный гидроксил, называются *восстанавливающими.*

Они способны восстанавливать щелочные растворы оксидов металлов до оксидов с меньшей степенью окисления или до металлов. Это свойство положено в основу

количественного определения сахаров по методу Бертрана, основанному на способности редуцирующих сахаров восстанавливать ион двухвалентной меди до одновалентной:

$$Cu^{2} e^{-} \square Cu$$

Действие сильных окислителей

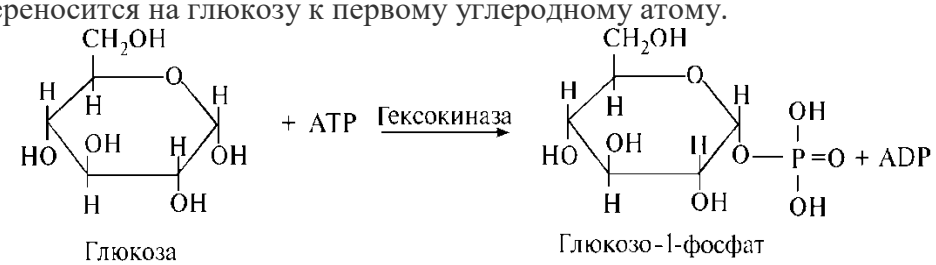
При наиболее энергичном окислении альдоз, например, концентрированной азотной кислотой, окисляется не только гликозидный гидроксил, но и первичная спиртовая группа с образованием двухосновных кислот. Из глюкозы при этом образуется сахарная кислота, из галактозы — слизевая. Если у моносахаридов окисляется только первичная спиртовая группа, то образуются уроновые кислоты.

Кислоты − продукты окисления моносахаридов, часто присутствующие в растениях, являются промежуточными метаболитами при синтезе многих органических соединений. Например, из глюкуроновой кислоты образуются пентозы, последняя же является исходным соединением для образования в растениях аскорбиновой кислоты; галактуроновая кислота и ее метоксилированные производные являются мономерами пектиновых веществ.

Взаимодействие моносахаридов с кислотами

Моносахариды, являясь производными спиртов, могут взаимодействовать с кислотами с образованием сложных эфиров. Наиболее важные производные − фосфорные эфиры сахаров – сахарофосфаты.

Донор фосфорной кислоты −АТР, в молекуле которой расщепляется высокоэнергетическая связь. Под действием фермента гексокиназа остаток фосфорной кислоты переносится на глюкозу к первому углеродному атому.



Образование фосфорного эфира глюкозы

Глюкозо-1-фосфат и другие фосфорные эфиры содержат по одному остатку фосфорной кислоты, взятой от АТР, следовательно, фосфорные эфиры получили и какую-то часть химической энергии от АТР. Фосфорные эфиры углеводов отличаются запасом энергии и большей лабильностью, способностью вступать в биохимические реакции. В виде фосфорных эфиров сахара участвуют в биохимических реакциях. Среди этих реакций можно выделить мутацию, эпимеризацию, перенос двух- и трехуглеродных остатков и др.

Распространение углеводов в растениях

Моносахариды

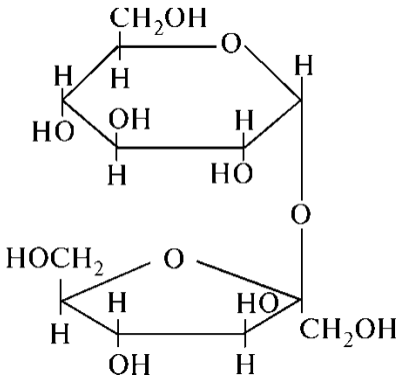
Глюкоза $C_6H_{12}O_6$ (моноза, гексоза, альдоза, виноградный сахар) — самая распространенная из моноз как в растительном, так и в животном мире. Содержится в свободном виде во всех зеленых частях растений, в семенах, различных фруктах и ягодах. В больших количествах глюкоза содержится в винограде — отсюда происходит ее название — виноградный сахар. Особенно велика биологическая роль глюкозы в образовании полисахаридов — крахмала, целлюлозы, построенных из остатков *D*-глюкозы. Глюкоза входит в состав тростникового сахара, гликозидов, таннина и других дубильных веществ. Глюкоза хорошо сбраживается дрожжами.

Фруктоза $C_6H_{12}O_6$ (моноза, гексоза, кетоза, левулеза, плодовый сахар) содержится во всех зеленых растениях, в нектаре цветов. Особенно ее много в плодах, поэтому ее второе название — плодовый сахар. Фруктоза гораздо слаще других сахаров. Она входит в состав сахарозы и высокомолекулярных полисахаридов, таких, например, как инулин. Как и глюкоза, фруктоза хорошо сбраживается дрожжами.

Свойства дисахаридов

Сахароза $C_{12}H_{22}O_{11}$ (дисахарид) чрезвычайно широко распространена в растениях, особенно много ее в корнеплодах свеклы (от 14 до 20 % сухой массы), а также в стеблях сахарного тростника (массовая доля сахарозы от 14 до 25 %).

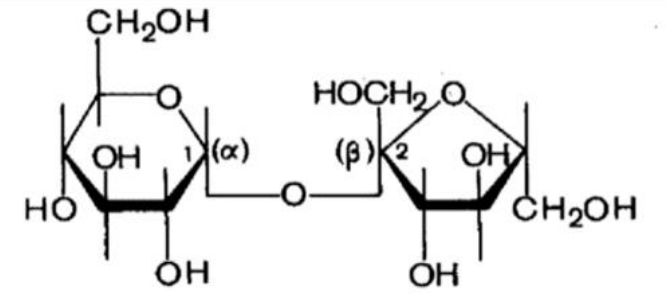
Сахароза состоит из α-*D*-глюкопиранозы и β-*D*-фруктофуранозы, соединенных α1 □ β2 связью за счет гликозидных гидроксилов:



α-Глюкопираноза

β-Фруктофураноза

Или



Сахароза

Сахароза не содержит свободного гликозидного гидроксила, является невосстанавливающим сахаром, потому относительно химически инертна, за исключением ее чрезвычайной чувствительности к кислотному гидролизу. Поэтому сахароза является транспортным сахаром, в виде которого углерод и энергия транспортируются по растению. Именно в виде сахарозы углеводы перемещаются из мест синтеза (листья) к месту, где они откладываются в запас (плоды, корнеплоды, семена, стебли). По проводящим пучкам растений сахароза движется со скоростью 20…30 см/ч. Сахароза очень хорошо растворяется в воде и обладает сладким вкусом. С повышением температуры ее растворимость увеличивается. В абсолютном спирте сахароза нерастворима, а в водном спирте она растворяется лучше. При нагревании до 190…200 °С и выше происходит дегидратация сахарозы с образованием различных окрашенных полимерных продуктов — карамелей. Эти продукты под названием «колер» используются в коньячном производстве для придания окраски коньякам.

Гидролиз сахарозы

При нагревании растворов сахарозы в кислой среде или под действием фермента β-фруктофуранозидазы она гидролизуется, образуя смесь равных количеств глюкозы и фруктозы, которая называется *инвертным сахаром*.

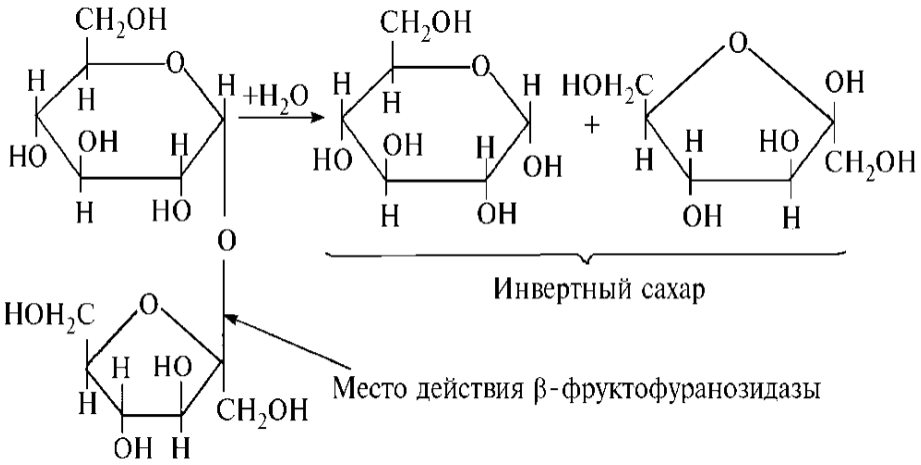
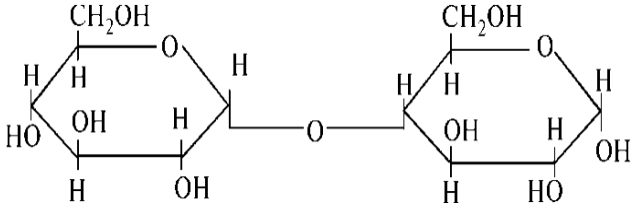


Схема образования инвертного сахара из сахарозы.

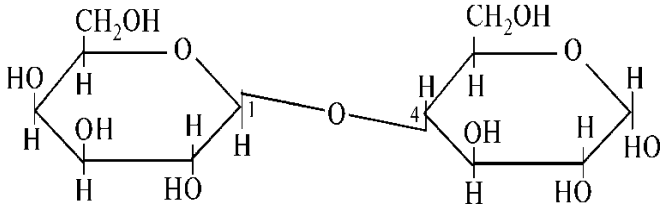
Фермент β-фруктофуранозидаза широко распространен в природе, особенно активен он в дрожжах. Фермент находит применение в кондитерской промышленности, так как образующийся под его воздействием инвертный сахар препятствует кристаллизации сахарозы в кондитерских изделиях. Инвертный сахар слаще сахарозы благодаря наличию свободной фруктозы. Это позволяет, применяя инвертный сахар, экономить сахарозу. Кислотный гидролиз сахарозы происходит также при варке варенья и приготовлении джема, но ферментативный гидролиз проходит легче, чем кислотный.

Мальтоза $C_{12}H_{22}O_{11}$ состоит из двух остатков α-*D*-глюкопиранозы, соединенных гликозидной связью α1 □ 4.



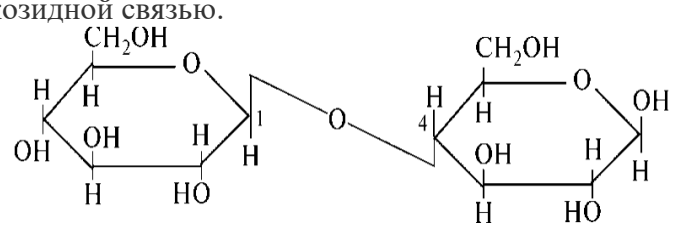
Мальтоза в свободном состоянии в растениях содержится в небольшом количестве, но появляется при прорастании, так как она образуется при гидролитическом расщеплении крахмала. В нормальном зерне и муке она отсутствует. Наличие ее в муке говорит о том, что эта мука получена из проросшего зерна. Большое количество мальтозы содержится в солоде, который применяется в пивоварении, поэтому мальтозу называют также солодовым сахаром. Под действием фермента α-глюкозидазы (мальтазы) мальтоза подвергается гидролизу до *D*-глюкозы. Мальтоза сбраживается дрожжами.

Лактоза $C_{12}H_{22}O_{11}$ построена из β-*D*-галактопиранозы и *D*-глюкопиранозы, соединенных между собой β1 □ 4гликозидной связью. В растениях она встречается редко.



В большом количестве (4…5 %) лактоза содержится в молоке, поэтому ее называют молочным сахаром. Это восстанавливающий сахар со слабым сладким вкусом. Сбраживается лактозными дрожжами до молочной кислоты.

Целлобиоза $C_{12}H_{22}O_{11}$ состоит из двух остатков β-*D*-глюкопиранозы, соединенных между собой β1 □ 4гликозидной связью.



Она служит структурным компонентом полисахарида целлюлозы и образуется из нее при гидролизе под действием фермента целлюлазы. Этот фермент продуцируется рядом микроорганизмов, а также он активен в прорастающих семенах.

Свойства полисахаридов

Крахмал $(C_6H_{10}O_5)_n$ является важнейшим представителем полисахаридов в растениях. Этот запасной полисахарид используется растениями как энергетический материал. Крахмал в животном организме не синтезируется, аналогичным запасным углеводом у животных является гликоген.

Крахмал в больших количествах содержится в эндосперме злаков − 65…85 % его массы, в картофеле − до 20 %.

Крахмал не является химически индивидуальным веществом. В его состав кроме полисахаридов входят минеральные вещества, в основном представленные фосфорной кислотой, липиды и высокомолекулярные жирные кислоты − пальмитиновая, стеариновая и некоторые другие соединения, адсорбированные углеводной полисахаридной структурой крахмала.

В клетках эндосперма крахмал находится в виде крахмальных зерен, форма и размер которых характерны для данного вида растения. Форма крахмальных зерен дает возможность легко распознать крахмалы различных растений под микроскопом, что используется для обнаружения примеси одного крахмала в другом, например при добавлении кукурузной, овсяной или картофельной муки к пшеничной.

В запасающих тканях различных органов − клубнях, луковицах более крупные крахмальные зерна откладываются в запас в амилопластах как вторичный (запасной) крахмал. Крахмальные зерна имеют слоистую структуру.

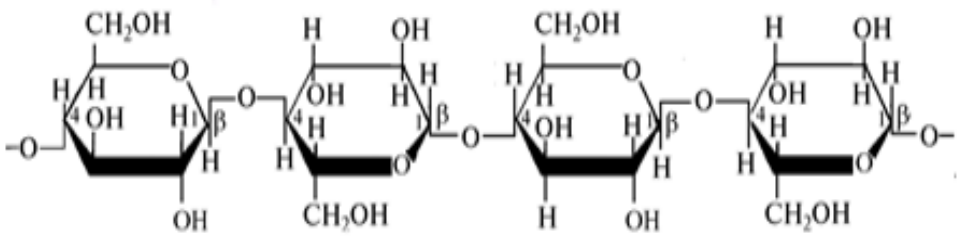
Углеводная часть крахмала состоит из двух полисахаридов:

1. Амилозы;

2. Амилопектина.

Целлюлоза $(C_6H_{10}O_5)$ – полисахарид второго порядка, является основным компонентом клеточных стенок. Целлюлоза состоит из остатков β-*D*-глюкозы, соединенных между собой β1 □ 4гликозидной связью (рис. 9, *а*). Среди других полисахаридов, из которых состоит клеточная стенка растений, он относится к микрофибриллярным полисахаридам, так как в клеточных стенках молекулы целлюлозы соединены в структурные единицы, получившие название микрофибрилл. Последняя состоит из пучка молекул целлюлозы, расположенных по ее длине параллельно друг другу.

Строение целлюлозы



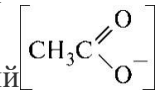
Строение целлюлозы (соединение молекул глюкозы)

Распространение целлюлозы

Содержание целлюлозы в растениях колеблется в широких пределах: в волокнах хлопчатника 90 %, древесине 50, листьях табака 10, семенах злаковых культур 3…5, подсолнечника 2, ягодах винограда 1 %.

В среднем на одну молекулу целлюлозы приходится около 8000 остатков глюкозы. Гидроксилы у атомов углерода C_2, C_3 и C_6 не замещены. Повторяющееся звено в молекуле целлюлозы — остаток дисахарида целлобиозы.

Свойства целлюлозы

Целлюлоза не растворяется в воде, но в ней набухает. Свободные гидроксильные группы способны замещаться на радикалы − метильный —CH_3 или ацетальный  образованием простой или сложноэфирной связи. Это свойство играет большую роль при изучении строения целлюлозы, а также находит применение в промышленности при производстве искусственного волокна, лаков, искусственной кожи и взрывчатых веществ. У большинства животных и человека целлюлоза не переваривается в желудочно-кишечном тракте, так как в их организме не вырабатывается целлюлаза — фермент, гидролизующийβ1 □ 4 гликозидную связь. Этот фермент синтезируется различного рода микроорганизмами, вызывающими гниение древесины. Целлюлозу хорошо переваривают термиты, потому что в их кишечнике живут симбиотические микроорганизмы, вырабатывающие целлюлазу.

В кормовые рационы крупного рогатого скота включают целлюлозу (в составе соломы и других компонентов), так как в их желудке находятся микроорганизмы, синтезирующие фермент целлюлазу.

Контрольные вопросы:

1. Почему жиры относятся к эфирам?
2. Какие углеводы являются простыми и какие - сложными?
3. Дайте характеристику простым и сложным углеводам.

Рекомендуемая литература:

1. Москва, В. В. Органическая химия: базовые принципы: учебник для вузов / В. В. Москва. — 2-е изд. — Москва: Издательство Юрайт, 2026. — 143 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-09419-0. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/585896/p.28

2. Гаршин, А. П. Органическая химия: учебное пособие для вузов / А. П. Гаршин. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2026. — 189 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-20434-6. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/584325/p.3

3. Каминский, В. А. Органическая химия: учебник для вузов / В. А. Каминский. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2026. — 583 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-20926-6. — Текст: электронный — URL: https://urait.ru/bcode/590051/p.528.

4. Слабко, О. Ю. Органическая химия. Лабораторный практикум: учебное пособие для вузов / О. Ю. Слабко. — Санкт-Петербург: Лань, 2026. — 100 с. — ISBN 978-5-507-53553-8. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/508910.