

# Углеводы и липиды

## Углеводы.

Углеводы, или сахараиды – органические вещества, в состав которых входят углерод, кислород, водород. Химический состав углеводов характеризуется их общей формулой  $C_m(H_2O)_n$ , где  $m \geq n$ . Углеводы составляют около 1% массы животных клетках, а в клетках печени и мышц – до 5%. Наиболее богаты углеводами растительные клетки (до 90%). Количество атомов водорода в молекулах углеводов, как правило, в два раза больше количества атомов кислорода (то есть как в молекуле воды). Отсюда и название – углеводы. Различают две группы углеводов: простые и сложные.

### Простые углеводы.

Простые углеводы называют *моносахаридами*, так как они не гидролизуются при переваривании, в отличие от сложных, которые при гидролизе распадаются с образованием моносахаридов. Общая формула простых сахаров –  $(CH_2O)_n$ , где  $n \geq 3$ . В зависимости от числа атомов углерода в молекуле моносахаридов различают: триозы (3C), тетрозы (4C), пентозы (5C), гексозы (6C), гептозы (7C). В природе наиболее широко распространены пентозы и гексозы.

Важнейшие моносахариды: из пентоз – рибоза ( $C_5H_{10}O_5$ ) и дезоксирибоза ( $C_5H_{10}O_4$ ), входящие в состав нуклеотидов ДНК, РНК и АТФ. Дезоксирибоза отличается от рибозы тем, что при втором атоме углерода имеет атом водорода, а не гидроксильную группу как у рибозы.

Из гексоз наиболее распространены глюкоза, фруктоза и галактоза (общая формула  $C_6H_{12}O_6$ ). *Глюкоза (виноградный сахар)* – это первичный источник энергии для клеток. Входит в состав сложных углеводов. Обязательный компонент крови. Снижение ее количества приводит к немедленному нарушению жизнедеятельности нервных и мышечных клеток. Находясь в клетках, регулирует осмотическое давление.

*Фруктоза* в свободном виде встречается в плодах. Особенно много ее в меде, фруктах. Значительно слаще глюкозы и других сахаров. Входит в состав олиго- и полисахаридов, участвует в поддержании тургора растительных клеток.

*Галактоза* – также пространственный изомер глюкозы. Вместе с глюкозой образуют важнейший дисахарид молока – *лактозу*, называемую *молочным сахаром*. Легко превращается в глюкозу.

Молекулы моносахаридов могут иметь вид прямолинейных цепочек или циклических структур (рис. ). Для пентоз и гексоз – наиболее характерна именно циклическая структура, линейные молекулы встречаются очень редко. Молекулы дисахаридов и полисахаридов также образованы циклическими формами моносахаридов.

Моносахариды могут быть представлены в форме  $\alpha$ - и  $\beta$ -изомеров (рис. ). Гидроксильная группа при первом атоме углерода может располагаться как под плоскостью цикла ( $\alpha$ -изомер), так и над ней ( $\beta$ -изомер),  $\alpha$ -изомеры образуют молекулы крахмала и гликогена,  $\beta$ -изомеры – целлюлозы.

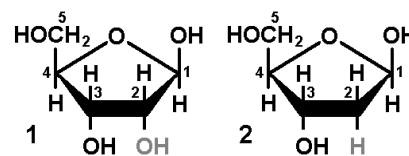


Рис. . Пентозы:

1 — рибоза; 2 — дезоксирибоза.

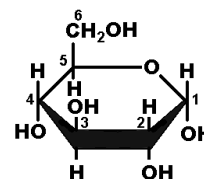
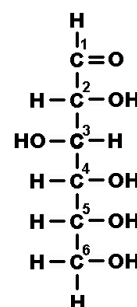


Рис. . Линейная и циклическая структура молекулы глюкозы.

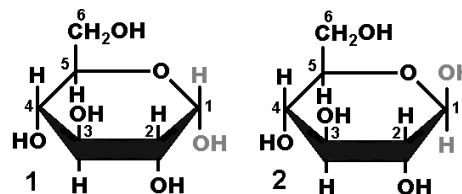


Рис. . Изомеры глюкозы:

1 —  $\alpha$ -изомер; 2 —  $\beta$ -изомер.

Свойства моносахаридов: низкая молекулярная масса, сладкий вкус, легко растворяются в воде, кристаллизуются, относятся к редуцирующим (восстанавливающим) сахарам.

### Сложные углеводы.

Сложными называют углеводы, молекулы которых при гидролизе распадаются с образованием моносахаридов. Их состав выражается общей формулой  $C_m(H_2O)_n$ , где  $m > n$ . Сложные углеводы делятся на *олигосахариды* и *полисахариды*.

**Олигосахариды.** Олигосахаридами называют сложные углеводы, содержащие от 2 до 10 моносахаридных остатков. В зависимости от количества остатков моносахаридов, входящих в молекулы олигосахаридов, различают дисахариды, трисахариды, тетрасахариды и т.д. Наиболее широко распространены в природе дисахариды.

*Дисахариды* – олигосахариды, молекулы которых образованы двумя остатками моносахаридов. Дисахариды образуются в результате конденсации двух моносахаридов (чаще всего гексоз) (рис. ). Связь, возникающую между двумя моносахаридами, называют *гликозидной*. Обычно она образуется между 1-м и 4-м углеродными атомами соседних моносахаридных единиц – *1,4-гликозидная связь*.

Важнейшие дисахариды – мальтоза, лактоза, сахароза.

*Мальтоза (солодовый сахар)* состоит из двух остатков  $\alpha$ -глюкозы. Дисахарид хорошо растворим в воде. Образуется в результате реакции конденсации двух молекул  $\alpha$ -глюкозы или ферментом *мальтаза* при гидролизе крахмала.

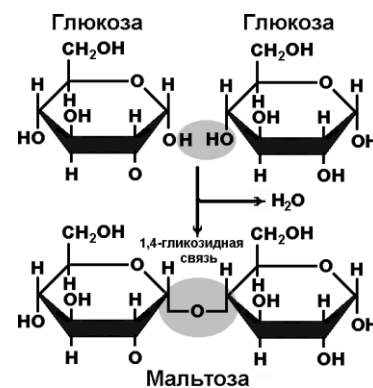


Рис. . Образование дисахарида.

*Сахароза (тростниковый, свекловичный сахар)* состоит из остатков  $\alpha$ -глюкозы и фруктозы. Легко растворим в воде. Широко распространен в растениях. *Углеводы, образовавшиеся в процессе фотосинтеза, в виде сахарозы оттекают из листьев.* Сахароза легко превращается в крахмал и гликоген. Играет огромную роль в питании животных и человека. В основном сахарозу получают из сахарной свеклы и сахарного тростника.

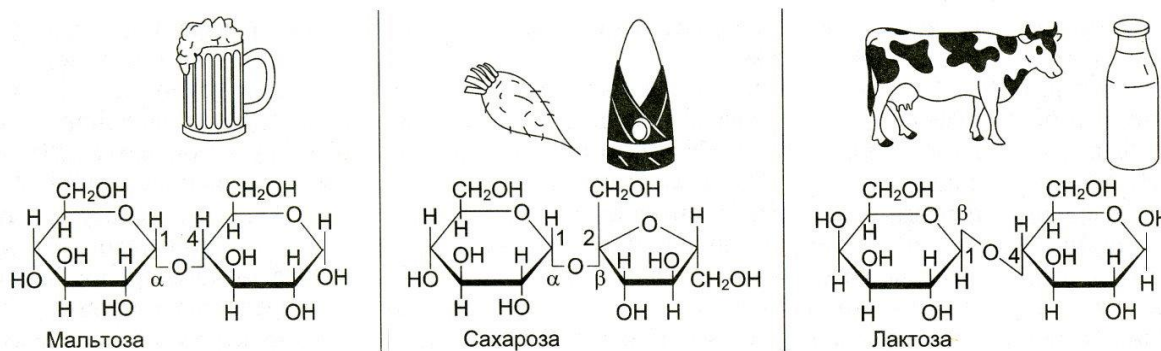
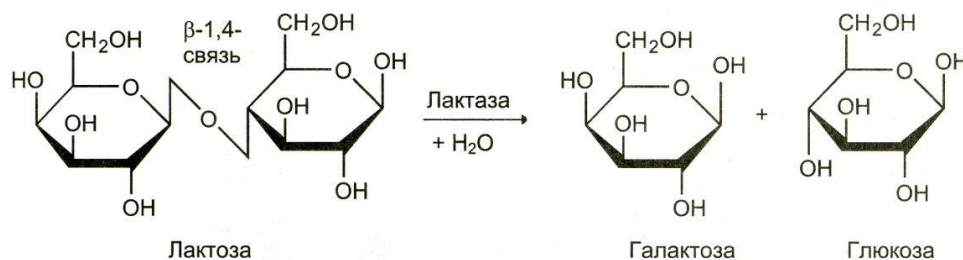


Рис. . Важнейшие дисахариды

*Лактоза (молочный сахар)* образована остатками *галактозы* и  $\beta$ -*глюкозы*. Плохо растворим в воде. Входит в состав молока. Является источником энергии для детенышей млекопитающих. В свободном виде обнаружен у некоторых растений. Используется в микробиологической промышленности для приготовления питательных сред.



Свойства олигосахаридов: сравнительно невысокая (несколько сотен) молекулярная масса, хорошая растворимость в воде, легко кристаллизуются, обладают, как правило, сладким вкусом, могут быть как редуцирующими, так и нередуцирующими.

### Полисахариды.

Высокомолекулярные органические вещества, биополимеры, мономерами которых являются простые углеводы. Чаще всего мономером полисахаридов является глюкоза, иногда галактоза и другие сахара. Как правило, в состав полисахаридов входит несколько сотен мономерных единиц.

Полисахариды образуются в результате реакции поликонденсации (рис. ). Если в молекуле полисахарида присутствуют только 1,4-гликозидные связи, то образуется линейный, неразветвленный полимер (целлюлоза). Если присутствуют как 1,4, так и 1,6-гликозидные связи, полимер будет разветвленным (гликоген).

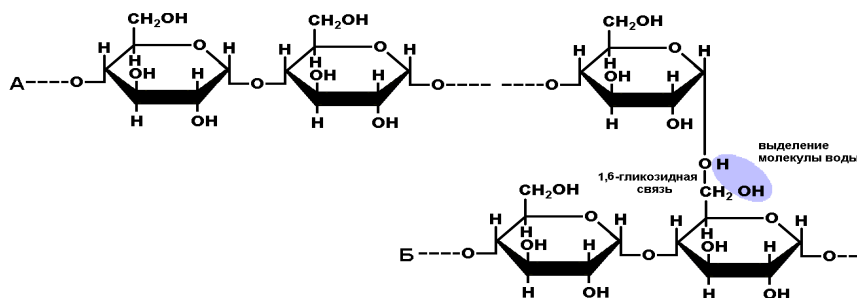


Рис.267. Образование разветвленного полисахарида.

1,6-гликозидная связь образуется между остатками моносахаридов, входящих в состав разных линейных цепей. Наиболее важные полисахариды – крахмал, гликоген, целлюлоза, хитин, муреин.

*Крахмал* – основной резервный углевод растений. Общая формула  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , где n- количество остатков  $\alpha$ -глюкозы. Нерастворим в холодной воде. В горячей воде образует раствор, по свойствам напоминающий коллоидный (крахмальный клейстер). Молекула крахмала примерно на 20% состоит из *амилозы* и на 80% из *амилопектина*. Линейные цепи амилозы состоят из нескольких тысяч остатков глюкозы и способны спирально свертываться, принимая более компактную форму. Амилопектин интенсивно ветвится, и за счет этого обеспечивается его компактность.

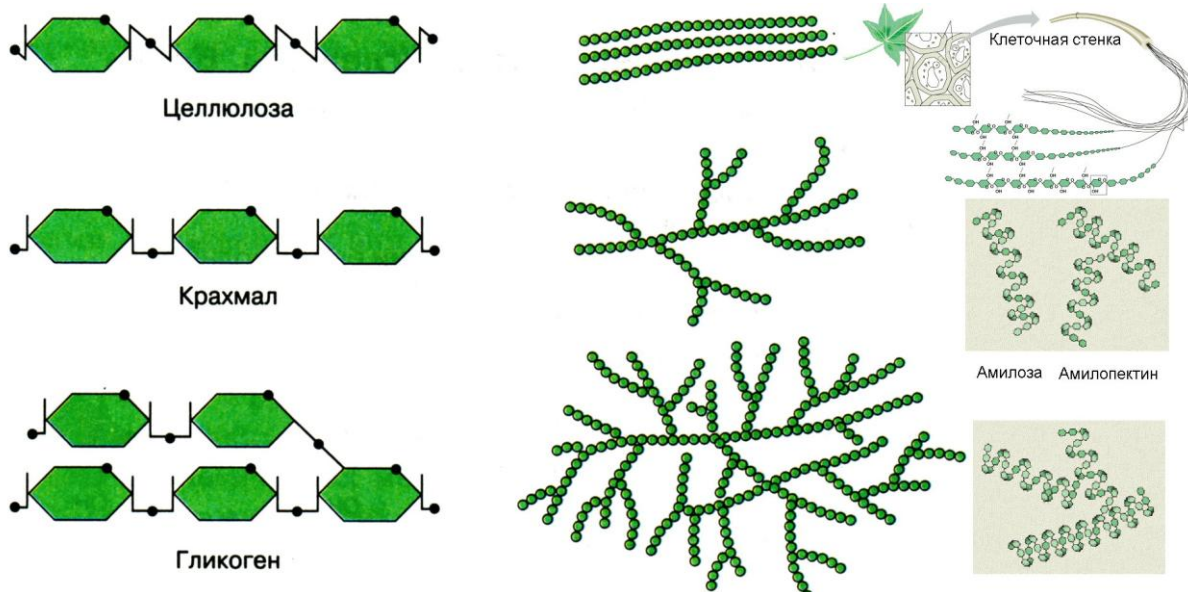


Рис. . Полисахариды

**Гликоген.** Основной резервный углевод животных и человека. Обнаружен также в грибах, дрожжах и зернах кукурузы. Содержится главным образом в печени (20%) и мышцах (4%). Служит источником глюкозы. Молекула сходна с молекулой амилопектина, но сильнее ветвится. Гликоген сравнительно хорошо растворим в горячей воде.

**Целлюлоза (клетчатка).** Основной структурный углевод клеточных стенок растений. Один из самых распространенных природных полимеров: в ней аккумулировано около 50% всего углерода биосферы. Целлюлоза нерастворима в воде, лишь набухает в ней. Является линейным полимером  $\beta$ -глюкозы. В отличие от крахмала, остатки глюкозы соединены в молекуле целлюлозы  $\beta$ -гликозидными связями, что исключает ее расщепление пищеварительными соками человека, так как у человека отсутствуют ферменты, способные разрывать  $\beta$ -гликозидные связи целлюлозы.

**Хитин** – полисахарид, полимер аминокислотного  $\alpha$ -глюкозы, выполняет защитную и структурную функции в клеточных стенках некоторых животных и грибов.

**Муреин** – полисахарид, состоящий из сети полисахаридных цепей, соединенных многочисленными пептидными цепями. Образует муреиновый каркас бактериальной стенки.

**Свойства полисахаридов.** Имеют большую молекулярную массу (обычно сотни тысяч), не дают ясно оформленных кристаллов, либо нерастворимы в воде, либо образуют растворы, напоминающие по свойствам коллоидные, сладкий вкус не характерен, относятся к нередуцирующим углеводам.

**Функции углеводов.** *Энергетическая* – одна из основных функций углеводов. Углеводы (глюкоза) – основные источники энергии в животном организме. Обеспечивают до 67% суточного энергопотребления (не менее 50%). При расщеплении 1 г углевода выделяется 17,6 кДж, вода и углекислый газ.

*Запасающая* функция выражается в накоплении крахмала клетками растений и гликогена клетками животных, которые играют роль источников глюкозы, легко высвобождая ее по мере необходимости.

*Опорно-строительная.* Углеводы входят в состав клеточных мембран и клеточных стенок (целлюлоза входит в состав клеточной стенки растений, из хитина образован панцирь членистоногих, муреин образует клеточную стенку бактерий). Соединяясь с липидами и белками, образуют гликолипиды и гликопротеины. Рибоза и дезоксирибоза входят в состав мономеров нуклеотидов.

*Рецепторная.* Олигосахаридные фрагменты гликопротеинов и гликолипидов клеточных стенок выполняют рецепторную функцию, воспринимая сигналы, поступающие из внешней среды.

*Защитная.* Слизи, выделяемые различными железами, богаты углеводами и их производными (например, гликопротеинами). Они предохраняют пищевод, кишечник, желудок, бронхи от механических повреждений, препятствуют проникновению в организм бактерий и вирусов.

## **Липиды.**

Липиды – сборная группа органических соединений, не имеющих единой химической характеристики. Их объединяет то, что все они нерастворимы в воде, но хорошо растворимы в органических растворителях (эфире, хлороформе, бензине). Липиды содержатся во всех клетках животных и растений. Содержание липидов в клетках составляет до 5%, но в жировой ткани может иногда достигать 90%.

Различают простые и сложные липиды. Простые липиды, представляют собой двухкомпонентные вещества, являющиеся сложными эфирами высших жирных кислот и какого-либо спирта, чаще – глицерина. Сложные липиды состоят имеют многокомпонентные молекулы.

Из *простых липидов* рассмотрим жиры и воска. *Жиры* широко распространены в природе. Жиры – это сложные эфиры высших жирных кислот и трехатомного спирта – глицерина. В химии эту группу органических соединений принято называть триглицеридами, так как все

три гидроксильные группы глицерина связаны с жирными кислотами. В составе триглицеридов обнаружено более 500 жирных кислот, молекулы которых имеют сходное строение. Как и аминокислоты, жирные кислоты имеют одинаковую для всех кислот группировку – гидрофильную карбоксильную группу (–COOH) и гидрофобный радикал, которым они отличаются друг от друга. Поэтому общая формула жирных кислот имеет вид R-COOH. Радикал представляет собой углеводородный хвост, отличающийся у разных жирных кислот количеством группировок –CH<sub>2</sub>.

Большая часть жирных кислот содержит в "хвосте" четное число атомов углерода, от 14 до 22 (чаще всего 16 или 18). Кроме того, углеводородный хвост может содержать различное количество двойных связей. По наличию или отсутствию двойных связей в углеводородном хвосте различают *насыщенные жирные кислоты*, не содержащие в углеводородном хвосте двойных связей и *ненасыщенные жирные кислоты*, имеющие двойные связи между атомами углерода (-CH=CH-).

Если в триглицеридах преобладают насыщенные жирные кислоты, то они твердые при комнатной температуре (жиры), если ненасыщенные – жидкие (масла). Плотность жиров ниже, чем у воды, поэтому в воде они всплывают и находятся на поверхности.

*Воска* – группа простых липидов, представляющих собой сложные эфиры высших жирных кислот и высших высокомолекулярных спиртов. Встречаются как в животном, так и в растительном царстве, где выполняют главным образом защитные функции. У растений они, например, покрывают тонким слоем листья, стебли и плоды, предохраняя их от смачивания водой и проникновения микроорганизмов. От качества воскового покрытия зависят сроки хранения фруктов. Под покровом пчелиного воска хранится мед и развиваются личинки.

К *сложным липидам* относятся фосфолипиды, гликолипиды, липопротеины, стероиды, стероидные гормоны, витамины А, D, E, K.

*Фосфолипиды* – сложные эфиры многоатомных спиртов с высшими жирными кислотами, содержащие остаток фосфорной кислоты (рис. ). Иногда с ней могут быть связаны добавочные группировки (азотистые основания, аминокислоты).

Как правило, в молекуле фосфолипидов имеется два остатка высших жирных и один остаток фосфорной кислоты. Фосфолипиды присутствуют во всех клетках живых существ, участвуя главным образом в формировании фосфолипидного бислоя клеточных мембран – остатки фосфорной кислоты гидрофильны и всегда направлены к внешней и внутренней поверхности мембраны, а гидрофобные хвосты направлены друг к другу внутри мембраны.

*Гликолипиды* – это углеводные производные липидов. В состав их молекул наряду с многоатомным спиртом и высшими жирными кислотами входят также углеводы. Они локализованы преимущественно на наружной поверхности плазматической мембраны, где их углеводные компоненты входят в число других углеводов клеточной поверхности.

*Липопротеины* – липидные молекулы, связанные с белками. Их очень много в мембранах, белки могут пронизывать мембрану насквозь, находится под- или над мембраной, могут быть погружены в липидный бислой на различную глубину.

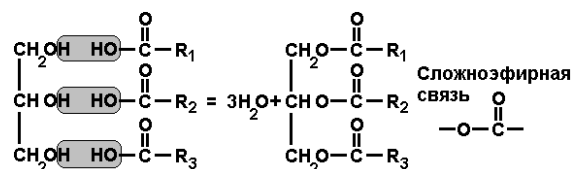


Рис. . Образование молекулы триглицерида.

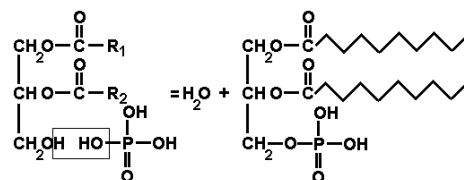


Рис. 269. Фосфолипидная молекула

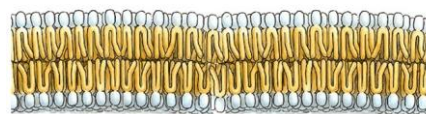


Рис. . Бислой фосфолипидов образующий мембрану



*Липиды* – жироподобные вещества. К ним относятся *стероиды* (широко распространенный в животных тканях холестерин и его производные – гормоны коры надпочечников – минералокортикоиды, глюкокортикоиды, эстрадиол и тестостерон – соответственно женский и мужской половые гормоны). К липоидам относятся терпены (эфирные масла, от которых зависит запах растений), гиббереллины (ростовые вещества растений), некоторые пигменты (хлорофилл, билирубин), жирорастворимые витамины (А, D, Е, К).

#### **Функции липидов.**

Функция	Примеры и пояснения
Энергетическая	Основная функция триглицеридов. При расщеплении 1 г липидов выделяется 38,9 кДж
Структурная	Фосфолипиды, гликолипиды и липопротеины принимают участие в образовании клеточных мембран.
Запасающая	Жиры и масла являются резервным пищевым веществом у животных и растений. Важно для животных, впадающих в холодное время года в спячку или совершающих длительные переходы через местность, где нет источников питания Масла семян растений необходимы для обеспечения энергией проростка.
Защитная	Прослойки жира и жировые капсулы обеспечивают амортизацию внутренних органов. Слои воска используются в качестве водоотталкивающего покрытия у растений и животных.
Теплоизоляционная	Подкожная жировая клетчатка препятствует оттоку тепла в окружающее пространство. Важно для водных млекопитающих или млекопитающих, обитающих в холодном климате.
Регуляторная	Гиббереллины регулируют рост растений. Половой гормон тестостерон отвечает за развитие мужских вторичных половых признаков. Половой гормон эстроген отвечает за развитие женских вторичных половых признаков, регулирует менструальный цикл. Минералокортикоиды (альдостерон и др.) контролируют водно-солевой обмен. Глюкокортикоиды (кортизол и др.) принимают участие в регуляции углеводного и белкового обменов.
Источник метаболической воды	При окислении 1 кг жира выделяется 1,1 кг воды. Важно для обитателей пустынь.
Каталитическая	Жирорастворимые витамины А, D, Е, К являются кофакторами ферментов, т. е., сами по себе эти витамины не обладают каталитической активностью, но без них ферменты не могут выполнять свои функции.

#### **Ключевые термины и понятия**

1. Простые углеводы. 2. Сложные углеводы. 2. Олигосахариды. 3. Полисахариды. 4. Винноградный сахар. 5. Солодовый сахар. 6. Свекловичный сахар. 7. Молочный сахар. 8. Крахмал, гликоген, клетчатка. 9. Хитин, муреин. 10. Липиды. 11. Жиры. 12. Фосфолипиды. 13. Стероиды.