

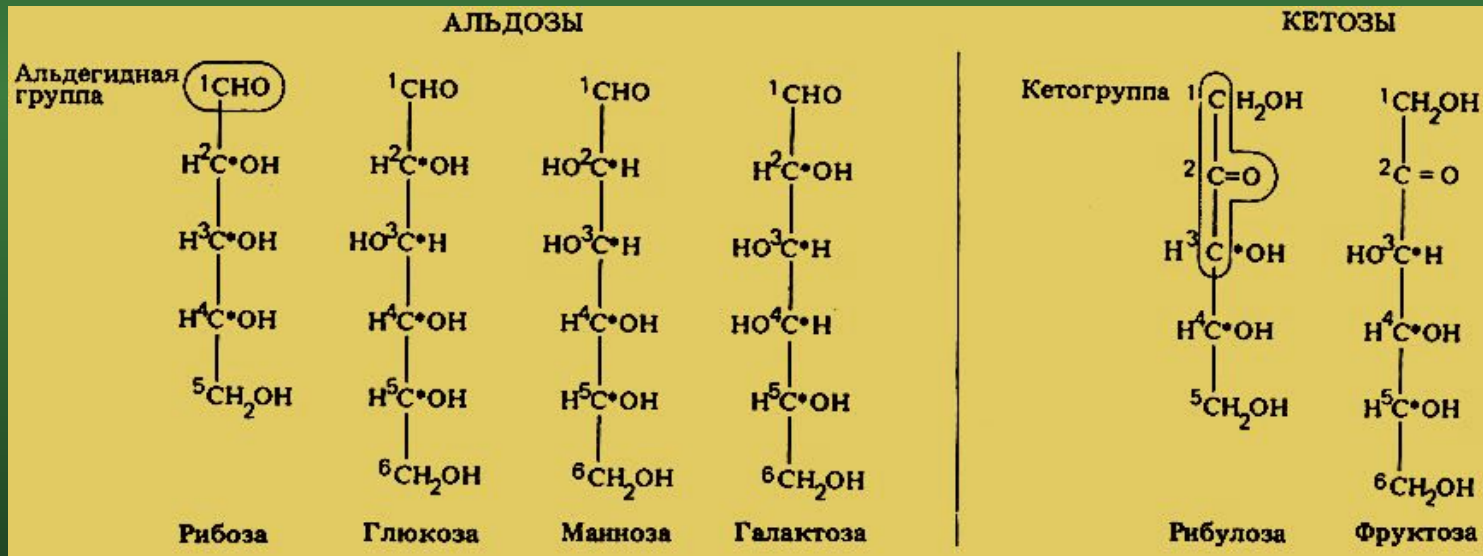
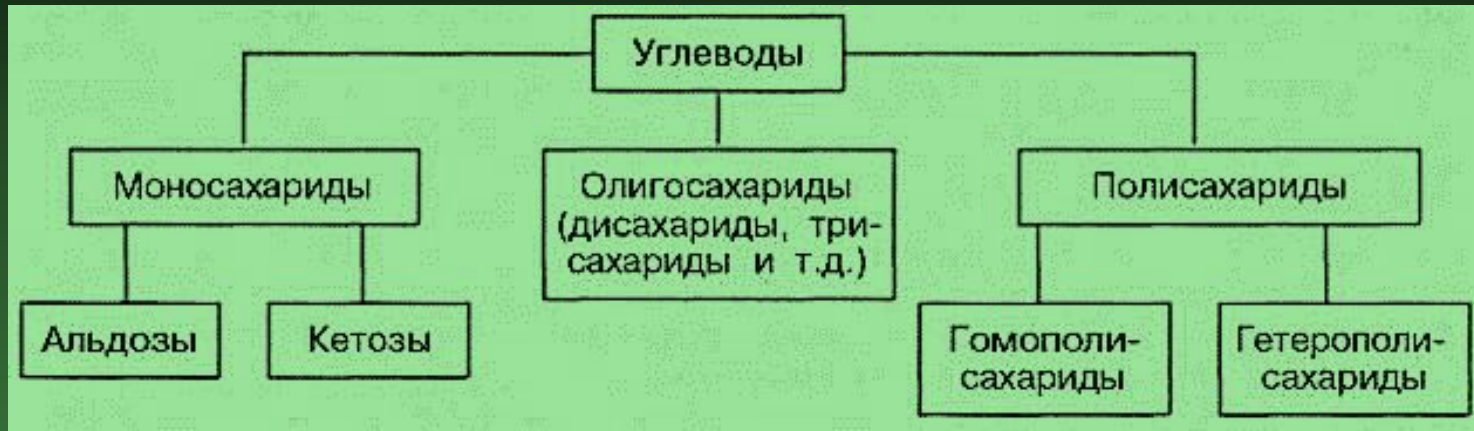
# Строение и функции углеводов у растений

1. Классификация углеводов.
2. Моносахариды растений и их взаимопревращения.
3. Основные олигосахариды растений, их функции и биосинтез.
4. Запасные и структурные полисахариды: особенности строения и биосинтеза.

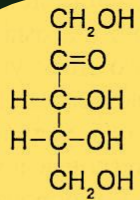
## Функции углеводов в растении:

- энергетическая;
- пластическая;
- структурная;
- запасная;

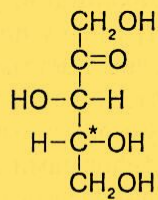
# Классификация углеводов



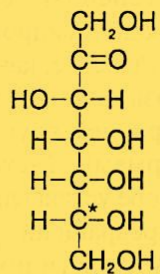
# Классификация углеводов



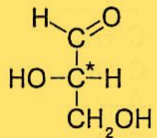
*D*-рибулоза



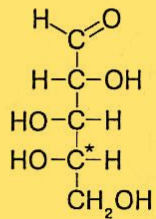
*D*-ксилулоза



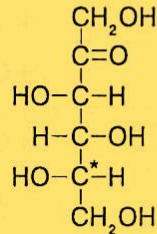
*D*-седогеπτулоза



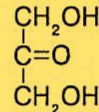
*L*-глицериновый альдегид (лево-вращающий)



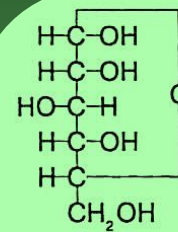
*L*-арабиноза



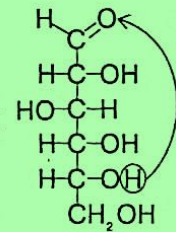
*L*-сорбоза



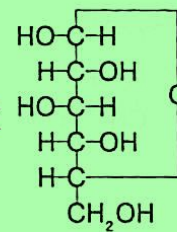
диоксиацетон (не имеет оптических изомеров)



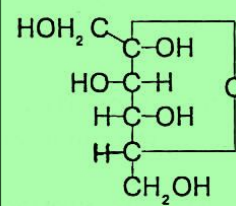
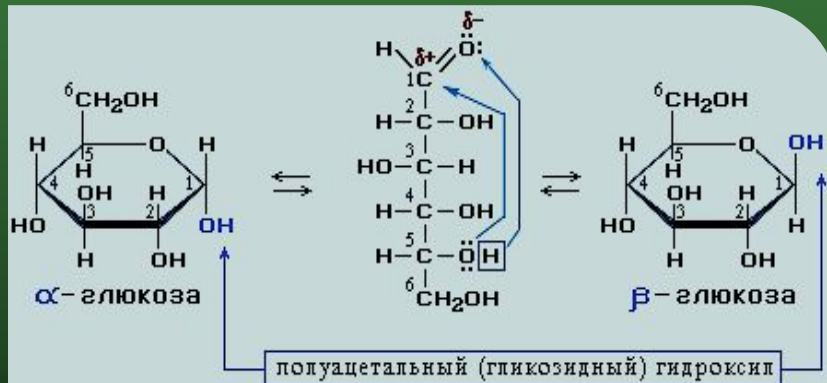
$\alpha$ -*D*-глюкоза



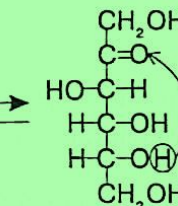
*D*-глюкоза



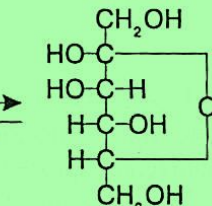
$\beta$ -*D*-глюкоза



$\alpha$ -*D*-фруктоза



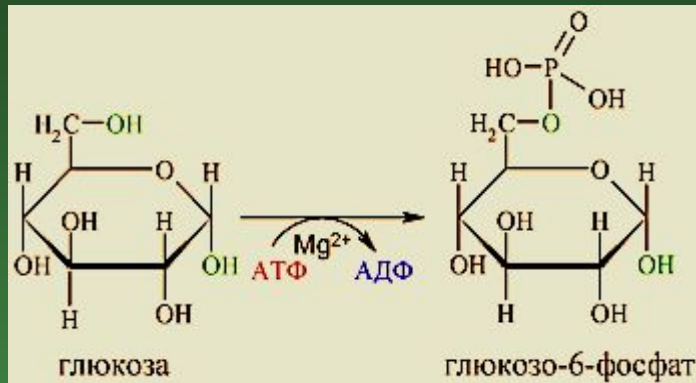
*D*-фруктоза



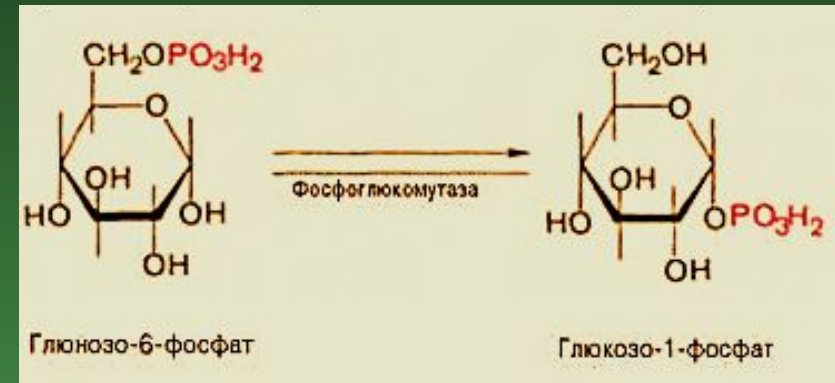
$\beta$ -*D*-фруктоза

# Взаимопревращения моносахаридов у растений

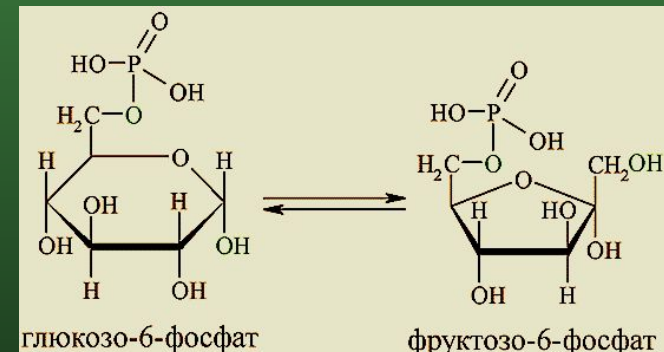
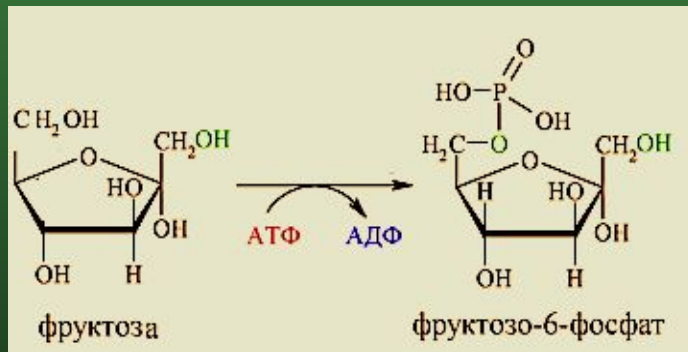
## 1. Киназные реакции



## 2. Мутазные реакции

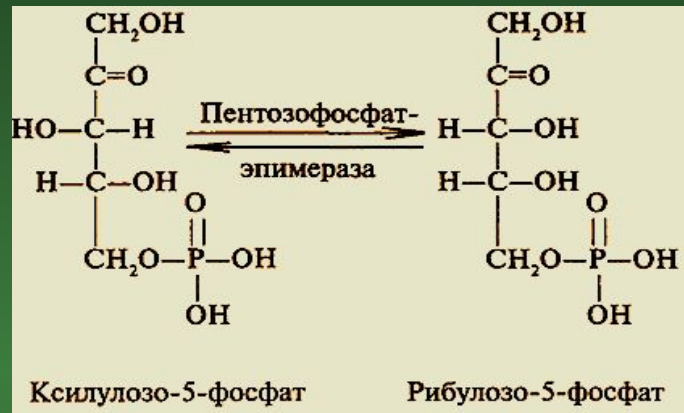


## 3. Изомеразные реакции

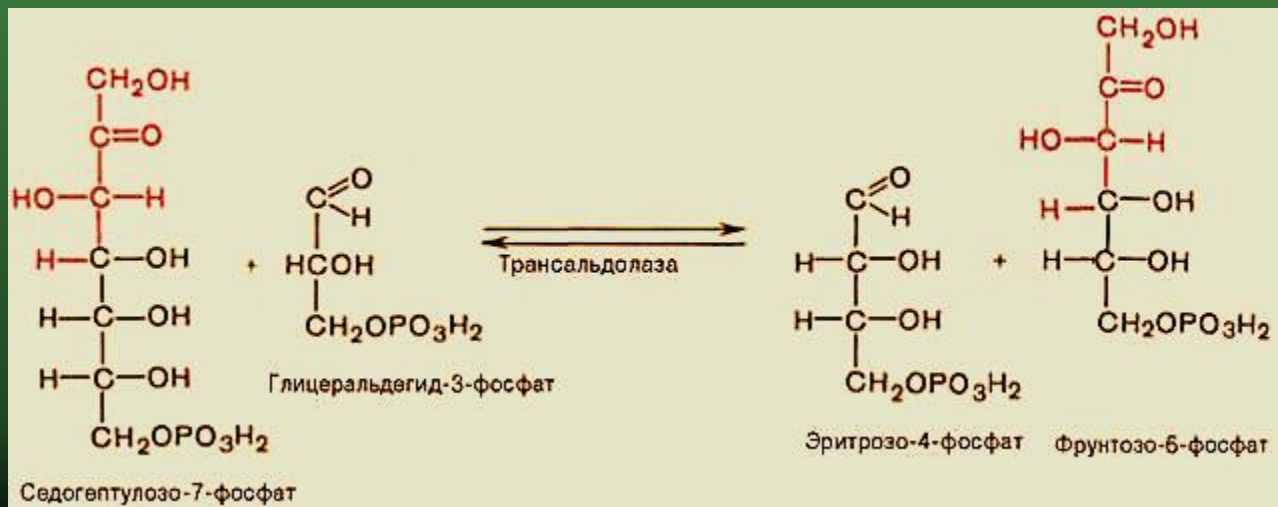
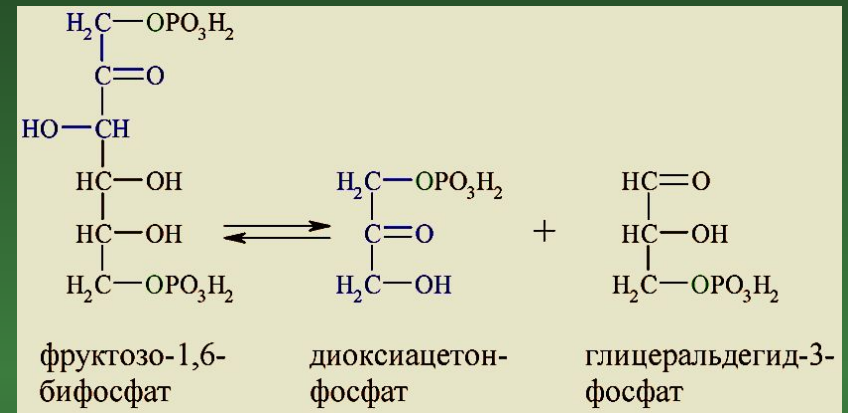


# Взаимопревращения моносахаридов у растений

## 4. Эпимеразные реакции

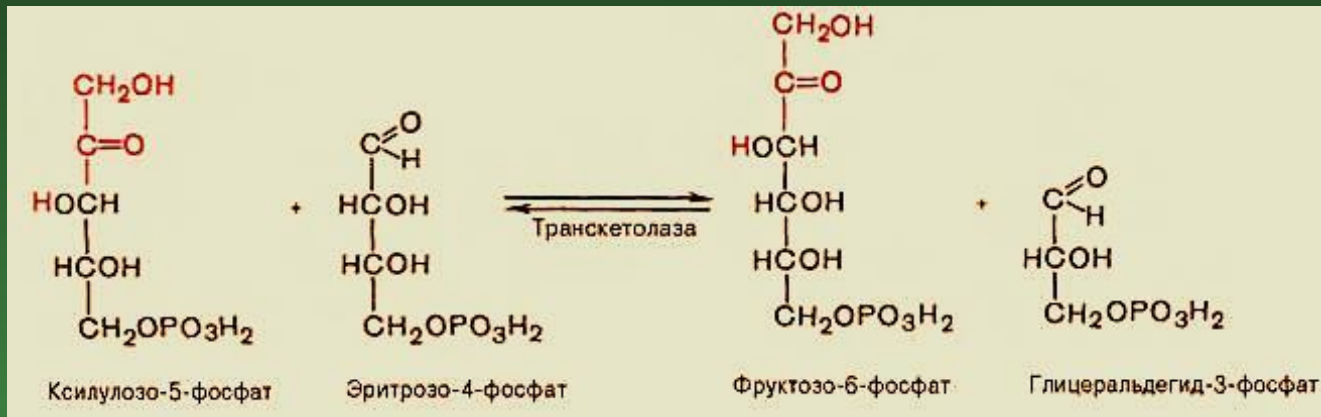


## 5. Альдолазные реакции

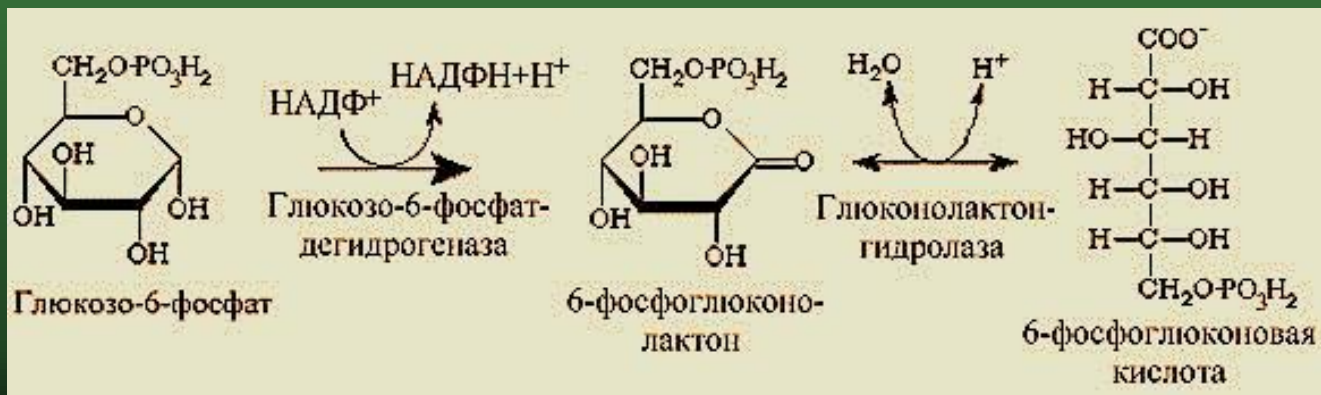


# Взаимопревращения моносахаридов у растений

## 6. Транскетолазные реакции



## 7. Декарбоксилитрование



# Схема взаимопревращений сахаров



# Сравнительная оценка сладости сахаров и их производных

| Сахар    | Оценка сладости | Сахар     | Оценка сладости |
|----------|-----------------|-----------|-----------------|
| Сахароза | <b>100</b>      | Ксилоза   | <b>40</b>       |
| Глюкоза  | <b>74</b>       | Мальтоза  | <b>32</b>       |
| Фруктоза | <b>173</b>      | Галактоза | <b>32</b>       |
| Сорбит   | <b>48</b>       | Рафиноза  | <b>23</b>       |
| Глицерин | <b>48</b>       | Лактоза   | <b>16</b>       |



| Культура     | Сахароза   | Глюкоза    | Фруктоза   |
|--------------|------------|------------|------------|
| Капуста б/к  | <b>0,1</b> | <b>2,6</b> | <b>1,6</b> |
| Морковь      | <b>3,7</b> | <b>2,9</b> | следы      |
| Лук репчатый | <b>6,3</b> | <b>1,3</b> | <b>1,2</b> |
| Томаты       | <b>0,2</b> | <b>1,5</b> | <b>1,0</b> |
| Яблоки       | <b>3,0</b> | <b>3,8</b> | <b>8,1</b> |
| Вишня        | <b>0,4</b> | <b>4,5</b> | <b>3,8</b> |
| Абрикосы     | <b>6,0</b> | <b>2,2</b> | <b>1,7</b> |
| Апельсины    | <b>3,6</b> | <b>1,3</b> | <b>1,5</b> |
| Лимоны       | <b>0,9</b> | <b>0,6</b> | <b>0,6</b> |
| Хурма        | <b>1,2</b> | <b>9,1</b> | <b>7,8</b> |





# Олигосахариды растений

**Мальтоза (солодовый сахар)** в свободном виде в природе не встречается, находится в патоке, в проросшем зерне, обладает восстанавливающими свойствами.

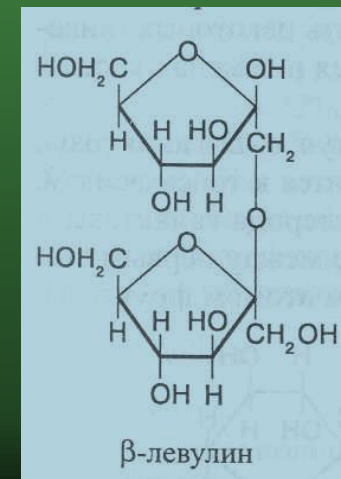
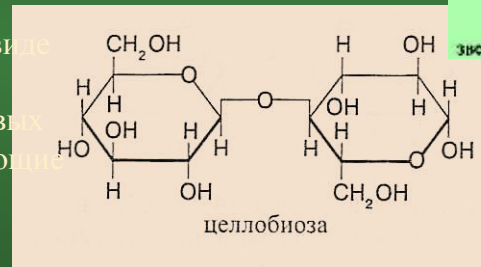
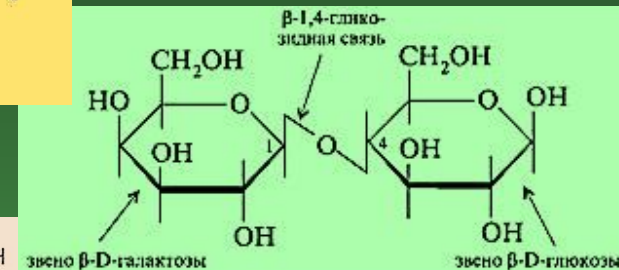
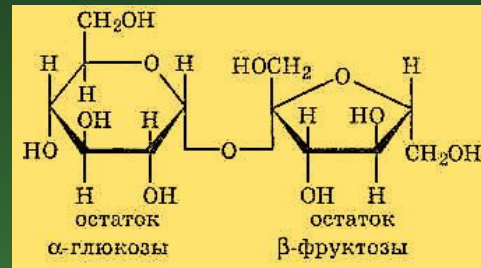
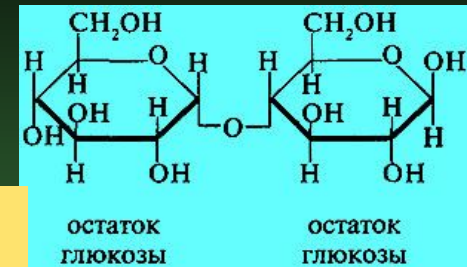
**Сахароза** широко распространена в природе, в некоторых растениях она может накапливаться в больших количествах, не обладает восстанавливающими свойствами.

**Трегалоза (грибной сахар, микоза)** содержится в пекарских

дрожжах, грибах, некоторых водорослях, не обладает восстанавливающими свойствами.

**Целлобиоза.** Молекулы построены из двух остатков  **$\beta$ -D-глюкозы**, соединённых гликозидной связью между первым и четвертым атомами углерода ( **$\beta(1-4)$ -связь**). В свободном виде обнаруживается в пасоке деревьев.

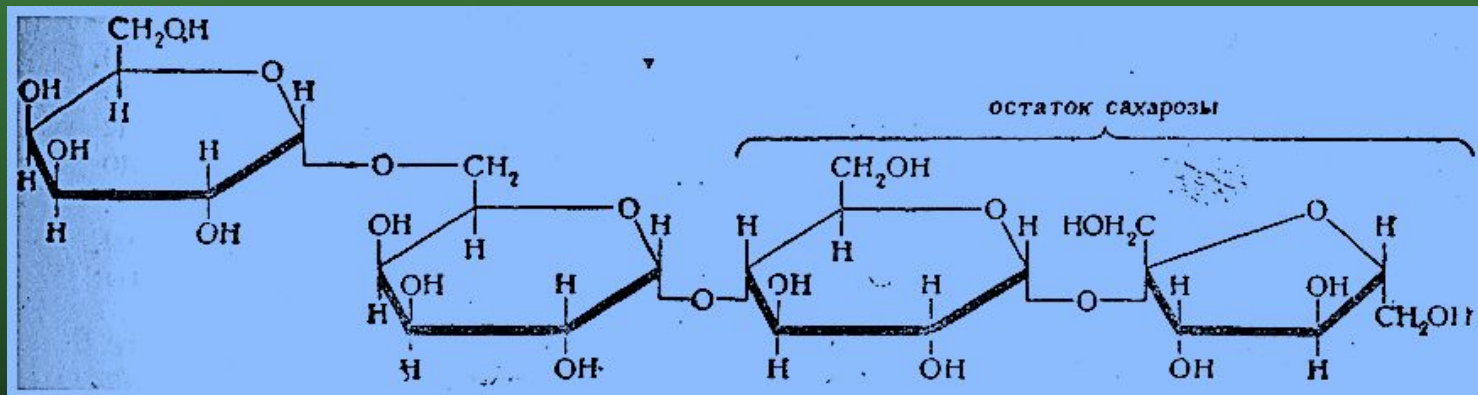
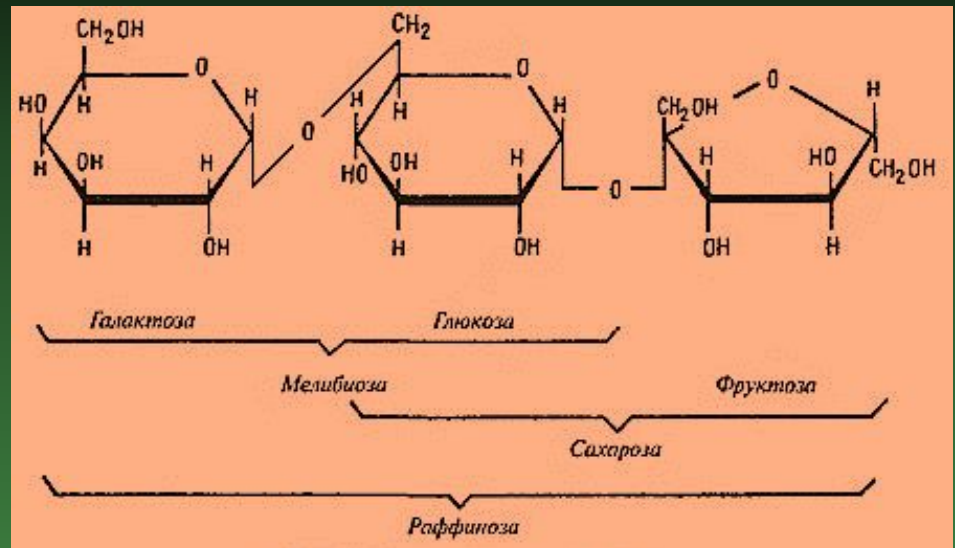
**Олигофруктозиды.** В листьях и стеблях мятликовых и лилейных содержатся олигосахариды, включающие два и более остатков фруктозы. Образуются в процессе фотосинтеза, если ассимиляционный крахмал у этих растений не образуется. Выполняют роль транспортных веществ.



# Олигосахариды растений

Рафиноза находится в сахарной свекле, семенах хлопчатника, сои, гороха, не обладает восстанавливающими свойствами. При производстве свекловичного сахара рафиноза переходит в побочный продукт, называемый мелассой.

Стахиоза - тетрасахарид, молекула состоит из остатков глюкозы, фруктозы и двух остатков галактозы, находится в семенах бобовых, сахар не восстанавливающий, сладковатый на вкус.



# Синтез сахарозы у растений

Глюкоза + АТФ → глюкозо-**6**-фосфат + АДФ

Глюкозо-**6**-фосфат → глюкозо-**1**-фосфат

Глюкозо-**1**-фосфат + УТФ → Р-Р + уридиндифосфатглюкоза

Фруктоза + АТФ → фруктозо-**6**-фосфат + АДФ

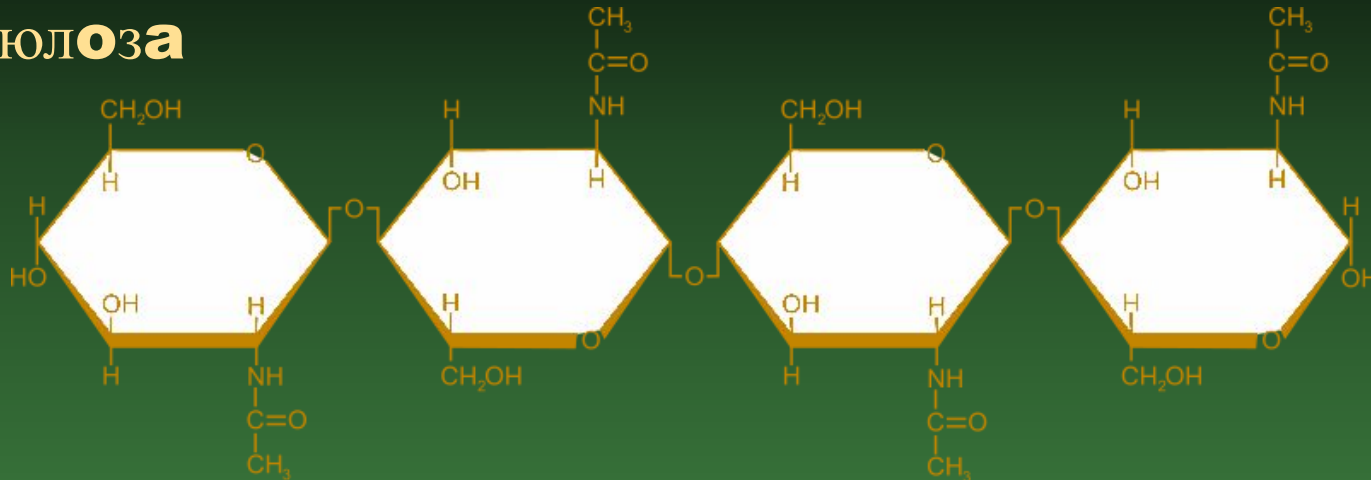
УДФ-глюкоза + фруктозо-**6**-фосфат → сахарозо-**6**-фосфат + УДФ

Сахарозо-**6**-фосфат → сахароза + Р

УДФ-глюкоза + фруктоза ↔ сахароза + УДФ

# Полисахариды растений

## Целлюлоза



Остатки глюкозы связаны в положении  $\beta(1 \rightarrow 4)$

Молекулы целлюлозы содержат не менее  $10^4$  остатков глюкозы [мол. масса  $(1-2) \cdot 10^6$  Да] и могут достигать в длину **6-8** мкм.

Не растворяется в воде, органических растворителях, слабых кислотах и щелочах, с раствором йода окрашивания не дает, не обладает восстанавливающими свойствами.

Биосинтез целлюлозы:



Распад целлюлозы идет преимущественно гидролитическим путем под действием фермента целлюлазы до дисахарида целлобиозы.

При гидролизе целлюлозы концентрированными кислотами (при кипячении в течение длительного времени) и ферментом целлюлазой (широко распространенным у микроорганизмов) образуется глюкоза.

# Полисахариды растений

## Гемицеллюлоза

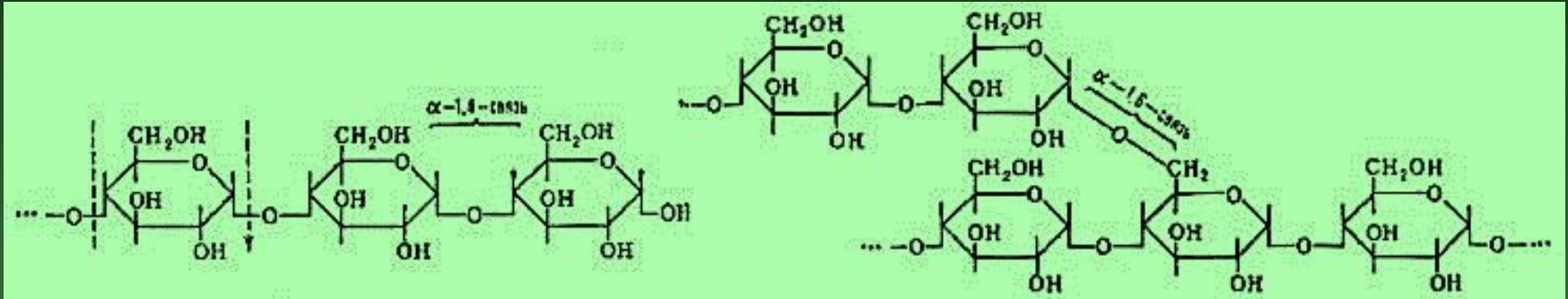


Входят в состав растительных клеток и объединяют большую группу высокомолекулярных полисахаридов (**маннаны, галактаны, ксиланы, арабаны**), содержащие в боковых цепях арабинозу, глюкозу и т.д. В зависимости от входящего в их состав моносахарида гемицеллюлозы называют гексозанами (**галактан, маннан**) и пентозанами (**ксилан, арабан**). В растениях гемицеллюлозы, как правило, сопутствуют клетчатке и лигнину, причем ксиланы и маннаны прочно адсорбируются на поверхности клетчатки.

Нерастворимы в воде, но растворимы в слабых растворах щелочей и легко гидролизуются под влиянием слабых кислот.

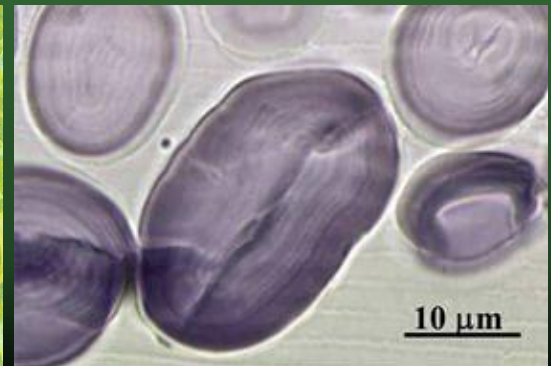
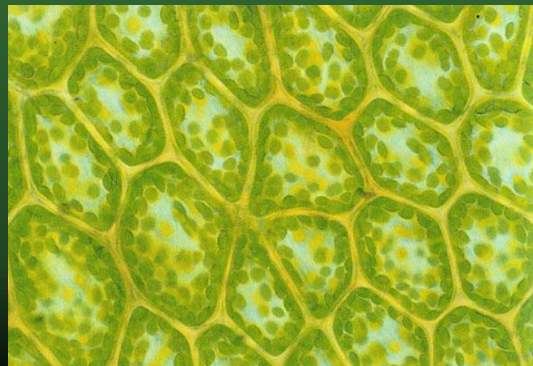
# Полисахариды растений

## Крахмал



Амилоза состоит из неразветвленных цепей, включающих **200-300** остатков глюкозы, связанных в положении  $\alpha$  (**1**→**4**). Благодаря  $\alpha$ -конфигурации при C-**1**, цепи образуют спираль, в которой на один виток приходится **6-8** остатков глюкозы (**1**). Синяя окраска растворимого крахмала при добавлении иода связана с присутствием спирали.

Амилопектин имеет разветвленную структуру. В среднем один из **20-25** остатков глюкозы содержит боковую цепь, присоединенную в положении  $\alpha$  (**1**→**6**). Молекула амилопектина может включать сотни тысяч остатков глюкозы и иметь молекулярную массу порядка **108** Да. Амилопектин дает с йодом красно-фиолетовую окраску.



# Полисахариды растений

## Крахмал

### Биосинтез амилозы

Остатки глюкозы переносятся на акцептор (затравку). Реакция идет по схеме:



Фермент, катализирующий эту реакцию, называется УДФГ-крахмалглюкозилтрансферазой.

У большинства растений донором глюкозы является аденозиндифосфатглюкоза (АДФГ). Реакция катализируется ферментом АДФГ-крахмал-глюкозилтрансферазой.

### Биосинтез амилопектина,

имеющего  $\alpha$  (1-6)-связи, происходит при помощи фермента  $\alpha$ -глюкантрансферазы (Q-фермент). В синтезе амилопектина участвует D-фермент или глюкозилтрансфераза, образующий  $\alpha$ (1-4)-связи и участвующий в образовании затравки.

### Гидролитический распад крахмала

$\alpha$ -амилаза катализирует расщепление  $\alpha$ (1-4)-связи, причем связи разрываются беспорядочно. Конечный продукт такого распада — мальтоза, глюкоза, декстрины. П

$\beta$ -амилаза катализирует расщепление  $\alpha$  (1-4)-связей с образованием остатков мальтозы.

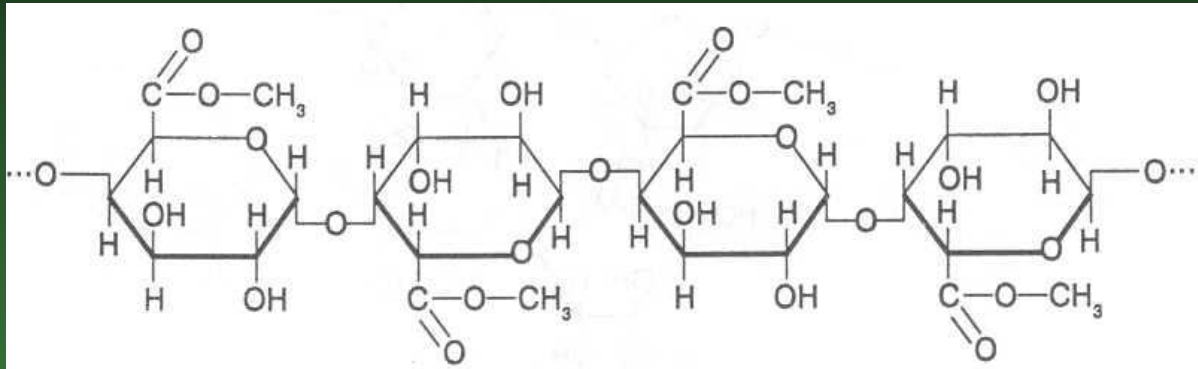
Глюкоамилаза катализирует последовательное отщепление остатков глюкозы от молекулы крахмала.

Амилопектин-1,6-глюкозидаза или R-фермент катализирует расщепление  $\alpha$ (1-6)-связей в молекуле амилопектина, т. е. действует на точки ветвления.

Фосфорилиз — это присоединение фосфорной кислоты по месту разрыва глюкозидной связи между остатками моносахаридов в цепи полисахарида, при этом происходит образование глюкозо-1-фосфата. Эта реакция катализируется ферментом  $\alpha$ -глюкоконфосфорилазой, относящимся к классу трансфераз.

# Полисахариды растений

## Пектиновые вещества: пектины и протопектины



Пектины - водорастворимые полисахариды, построенные из остатков  $\alpha$ -D-галактуронової кислоти, которые соединены  $\alpha$ (1-4)-связями. Большая часть карбоксильных групп остатков галактуронової кислоти метилирована, а к другим карбоксильным группам присоединены катионы кальция или магния. Карбоксильные группы пектина и гидроксильные группы гемицеллюлоз связаны эфирными связями. В каждой молекуле пектина содержится более **100** остатков галактуронової кислоти.

Протопектин образуется в результате связывания эфирными связями пектина с галактанами и арабанами, входящими в состав клеточной стенки растения. Протопектин нерастворим в воде и имеет более высокую молекулярную массу по сравнению с пектинами. Много протопектина накапливается в формирующихся плодах **груши, яблони, цитрусовых, айвы**, что обуславливает их жёсткую консистенцию. При созревании плодов происходит превращение протопектинов в пектины, вследствие чего консистенция становится мягкой.

Общее содержание пектиновых веществ в плодах и ягодах составляет **0,3-1,5%**, в корнеплодах - **1,5-2,5%**, клубнях картофеля **0,1-0,5%**, в томатах - **0,1-0,2%**, в капусте - **0,3-2,0%**, в кожуре апельсина и лимона - **4-7%**.

Характерная особенность пектиновых веществ плодов и ягод - способность образовывать желе, или студни, в насыщенном растворе сахара (**65-70%**) и кислой среде (рН **3,1-3,5**).



# Полисахариды растений

## Камеди и слизи

гомо- и гетерополисахариды и полиурониды, образующиеся при слизистом перерождении клеточных стенок растений



Камеди - это густой слизистый сок, выступающий или произвольно или из надрезов и поранений на коре многих деревьев. В живом растении камеди образуются путем особого слизевого перерождения клетчатки оболочек клеток паренхимы, а также и крахмала, находящегося внутри клеток. В воде некоторые камеди растворяются, образуя коллоидные растворы, другие лишь набухают. В спирте, эфире и других органических растворителях нерастворимы. Химически исследованы недостаточно.

Слизи - это безазотистые вещества, близкие по химическому составу к пектинам и целлюлозе. Это вязкая жидкость, продуцируемая слизистыми железами растений и представляющая собой раствор гликопротеинов. Слизи образуются в растениях в результате физиологических нарушений или при различных болезнях, вследствие чего оболочки и клеточное содержимое отмирают.

Слизи имеют полужидкую консистенцию, извлекаются из сырья водой. Они относятся к группе нейтральных полисахаридов и представляют собой сложную смесь различного химического состава. Основу их составляют производные сахаров и частично калиевые, магниевые, кальциевые соли уроновых кислот.

Слизи и камеди настолько похожи, что не всегда удается их разграничить. Слизи в отличие от камеди получают не в твердом виде, а путем извлечения водой.