

# Семинар 3.

Структура и биологическая роль  
липидов и углеводов.  
Классификация. Химический  
состав и функции мембран.

# Строение, свойства, биологическая роль углеводов

# Углеводы (карбогидраты)

Органические соединения, содержащие альдегидную или кетонную группу и несколько спиртовых гидроксильных групп. Общая формула  $(C_nH_{2n}O)_n$ , некоторые содержат N, S, P.

Менее употребительное название **глициды** — в современной литературе не используются.

**Сахариды** — от греч *sacharon* — означает сахар.

К углеводам относятся соединения, обладающие разнообразными и часто различными свойствами. Среди них есть вещества:

- низкомолекулярные и высокомолекулярные,
- кристаллические и аморфные,
- растворимые и не растворимые в воде,
- гидролизуемые и негидролизуемые,
- способные легко окисляться и сравнительно устойчивые к действию окислителей ...

Это многообразие с химической природой и строением их молекул.

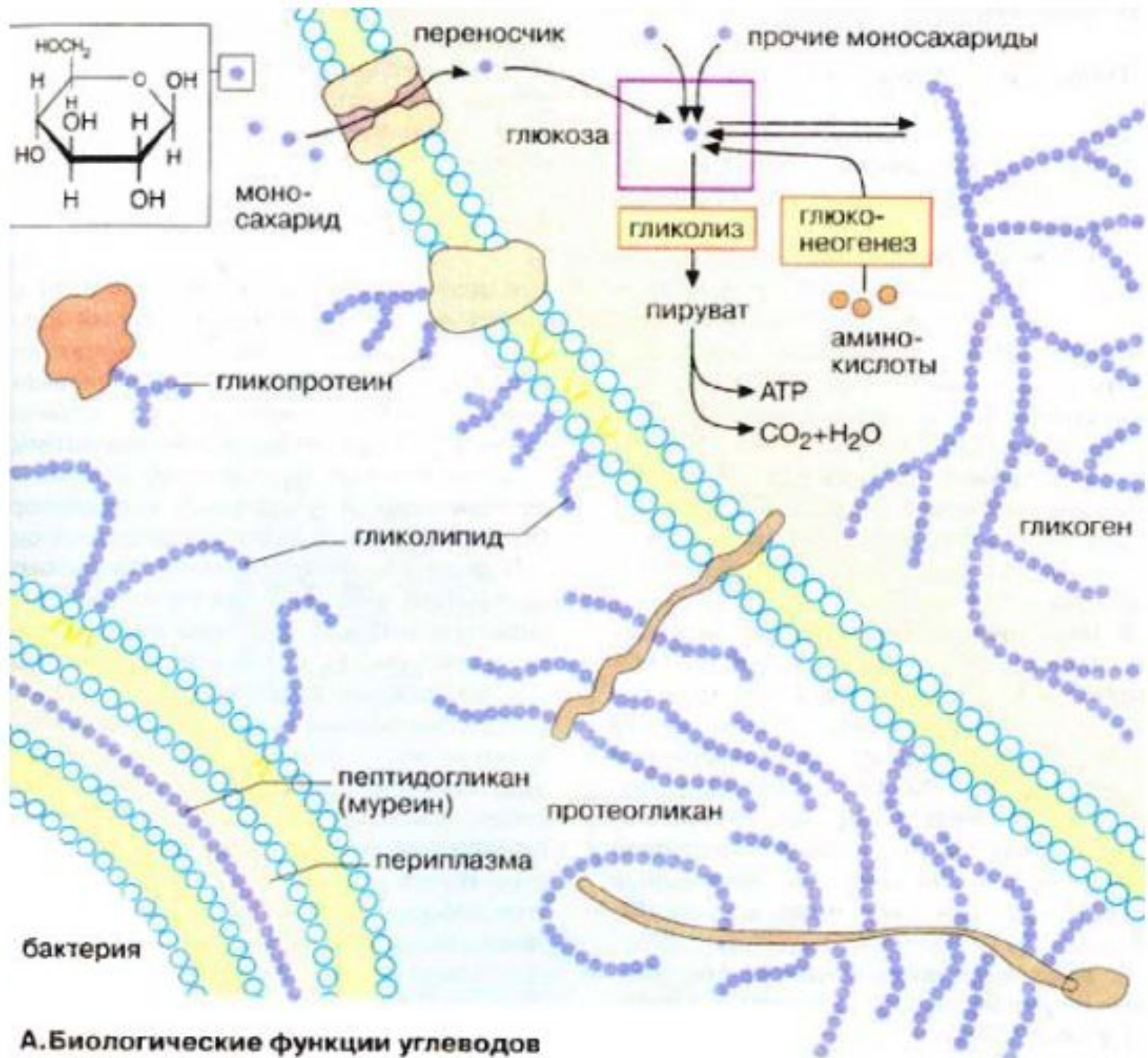
# Функции углеводов

Канонические:

- структурная (целлюлоза)
- энергетическая (окисление приводит к выделению энергии - глюкоза)
- метаболическая (промежуточные продукты окисления используются для синтеза других органических соединений, из глицеральдегида синтезируется глицерин, ПВК - аланин)

Неканонические функции выполняют углеводы, имеющие уникальное строение специфичность:

- обеспечивают специфичность взаимодействия (групповые вещества крови);
- рецепторные функции (гликопротеины и гликолипиды мембран);
- защитную функцию (в составе иммуноглобулинов).



**А. Биологические функции углеводов**

# Классификация

Простые (моносахариды - D-глюкоза, D-фруктоза...);

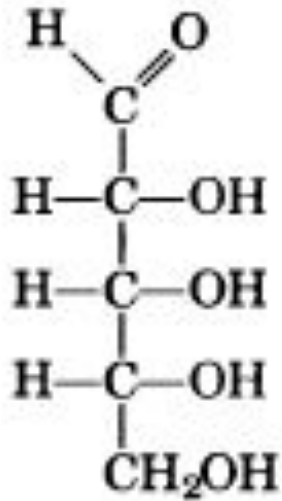
Сложные:

-олигосахариды (лактоза, мальтоза, сахароза);

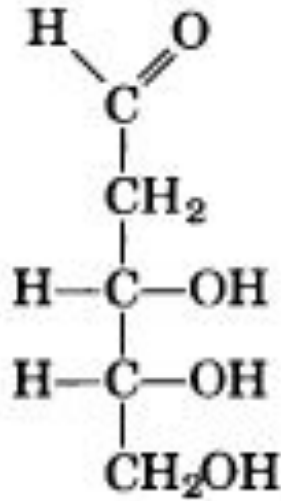
-Полисахариды (крахмал, гликоген, целлюлоза, хитин).

Гликоконъюгаты (протеогликаны, гликопротеины, гликолипиды)

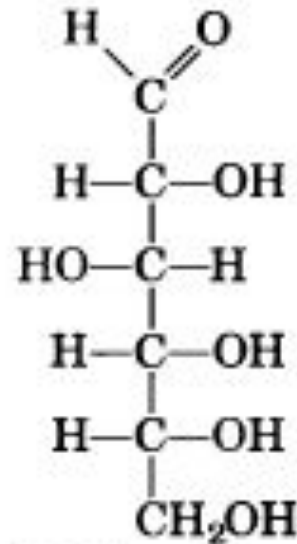
# Моносахариды



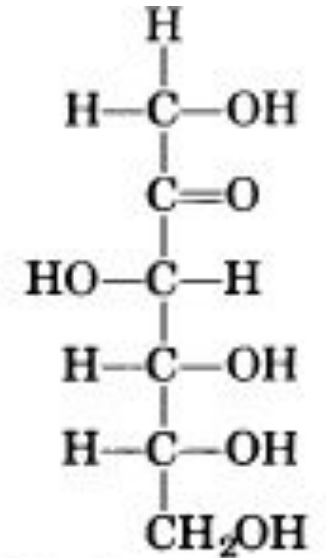
D-Рибоза  
(альдонентоза)



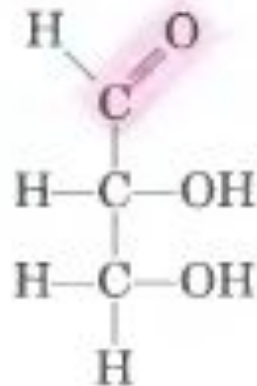
2-Дезокси-D-рибоза  
(альдопентоза)



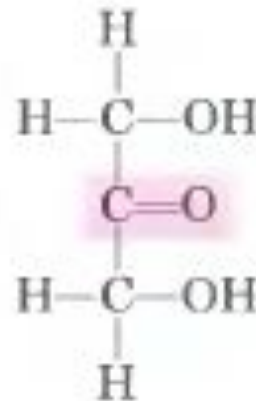
D-Глюкоза  
(альдогексоза)



D-Фруктоза  
(кетогексоза)

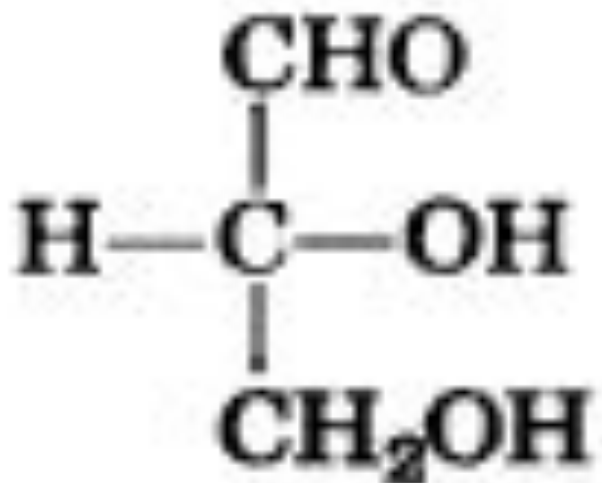


Глицеральдегид  
(альдотриоза)

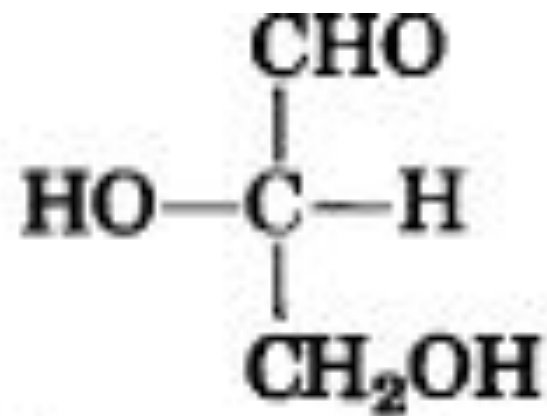


Дигидроксиацетон  
(кетотриоза)





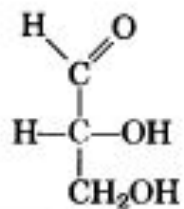
D-Глицеральдегид



L-Глицеральдегид

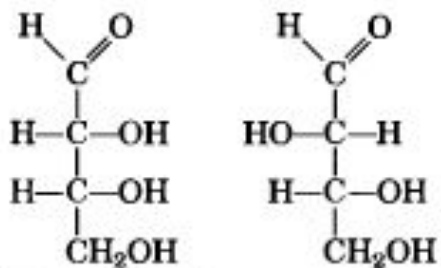
Проекционная формула Фишера

Три атома углерода



D-Глицеральдегид

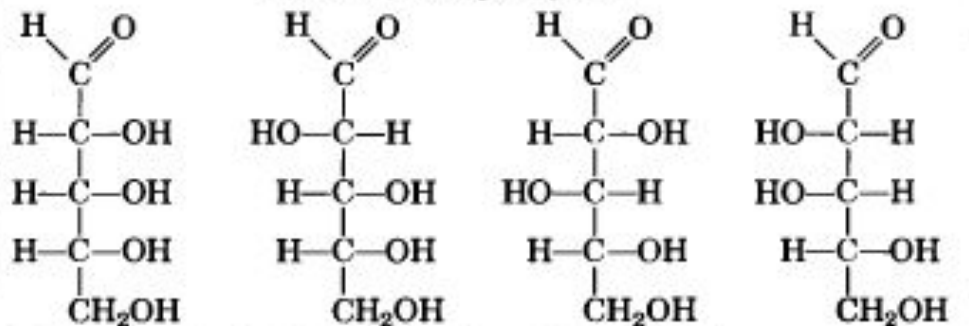
Четыре атома углерода



D-Эритроза

D-Треоза

Пять атомов углерода



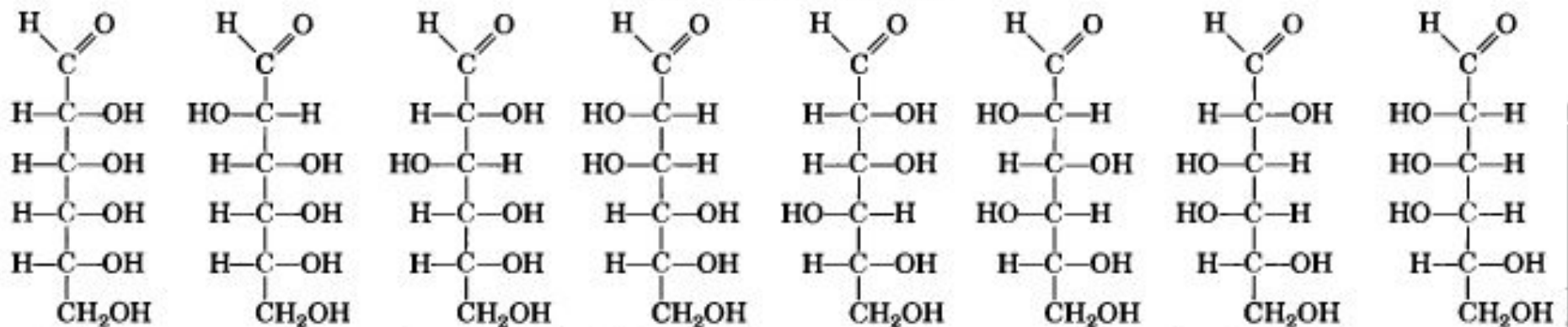
D-Рибоза

D-Арабиноза

D-Ксилоза

D-Ликсоза

Шесть атомов углерода



D-Аллоза

D-Альтроза

D-Глюкоза

D-Манноза

D-Гулоза

D-Идоза

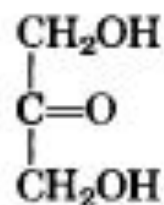
D-Галактоза

D-Талоза

D-Альдозы

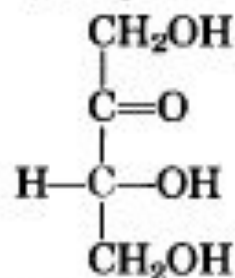
# D-Кетозы

Три атома  
углерода



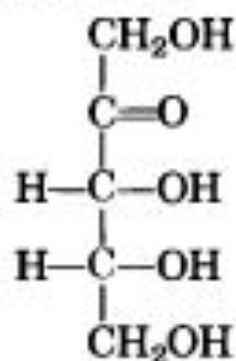
Дигидроксиацетон

Четыре атома  
углерода

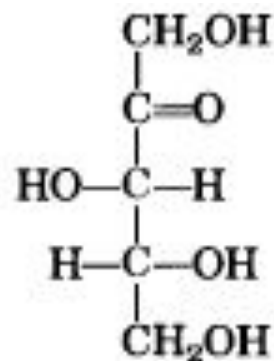


D-Эритрулоза

Пять атомов  
углерода

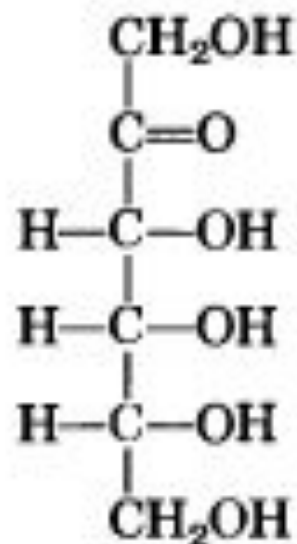


D-Рибулоза

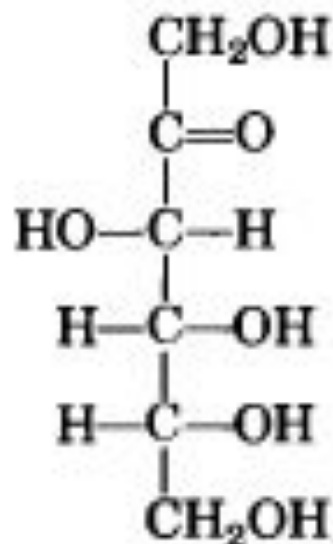


D-Ксилулоза

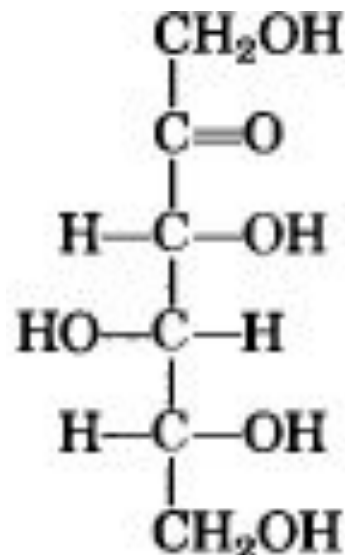
Шесть атомов углерода



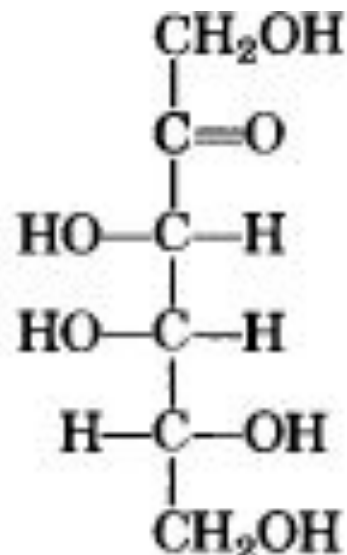
D-Психоза



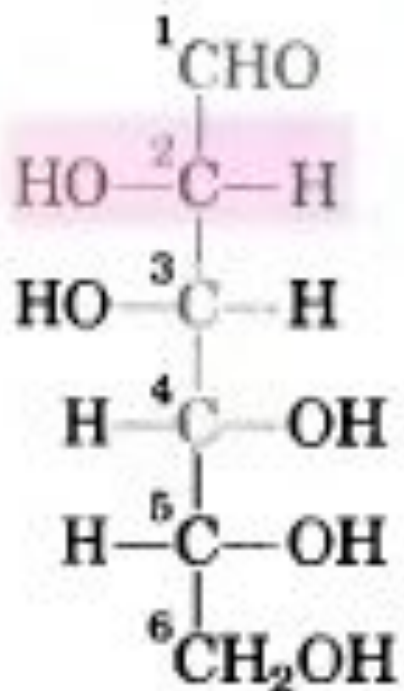
D-Фруктоза



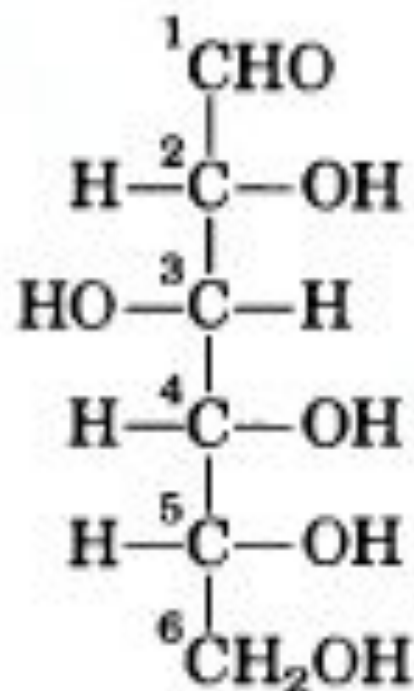
D-Сорбоза



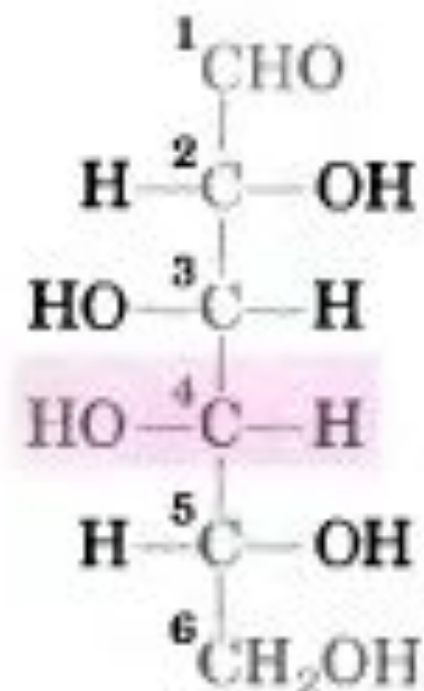
D-Тагатоза



D-Манноза  
(эпимер по атому  
C-2)



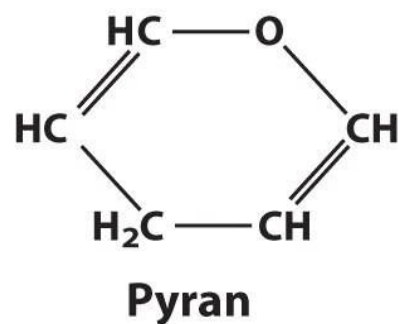
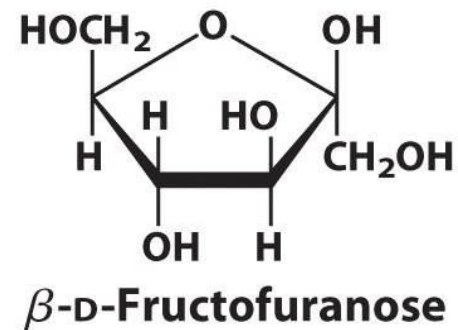
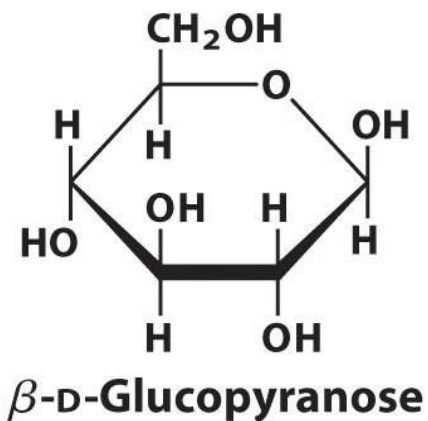
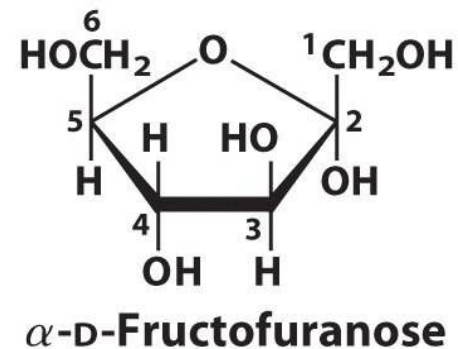
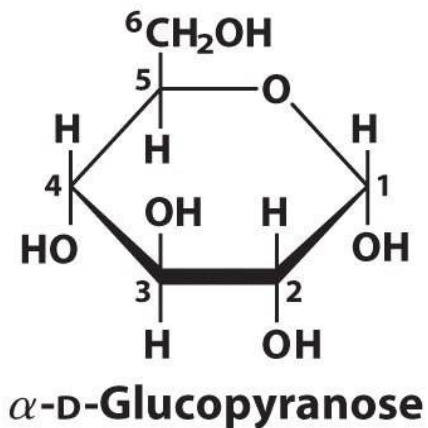
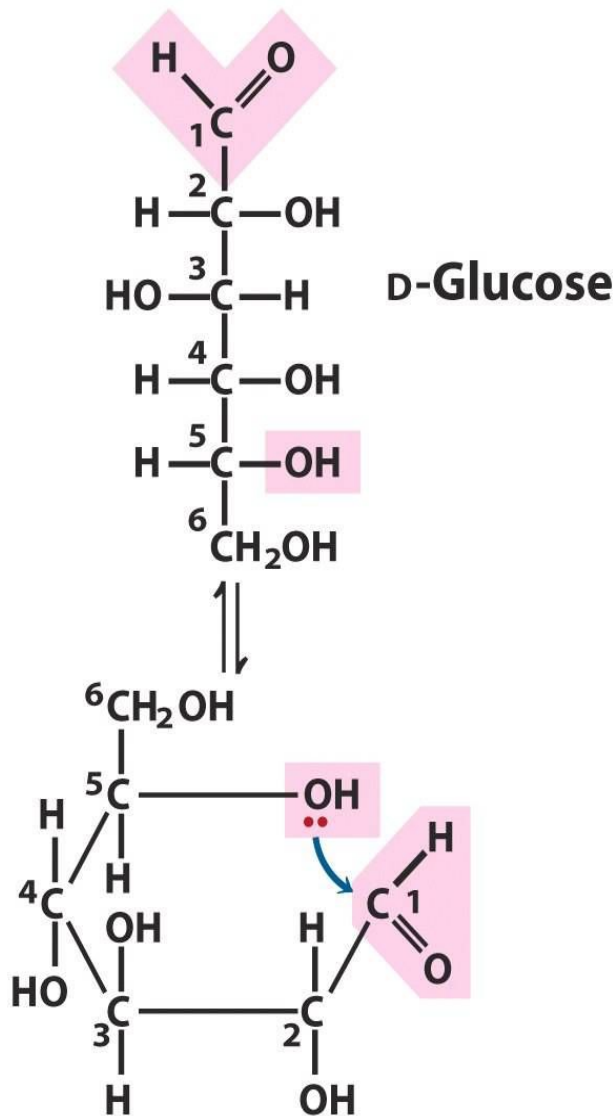
D-Глюкоза



D-Галактоза  
(эпимер по атому  
C-4)

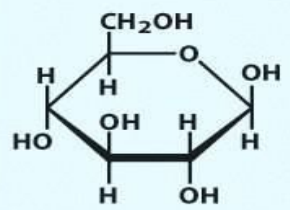
Эпимеры

# Пиранозы и фуранозы

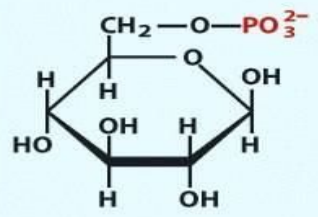


# Многообразие моносахаридов

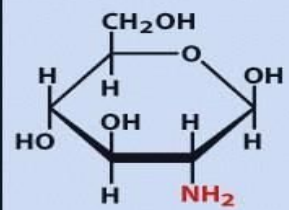
## Производные глюкозы



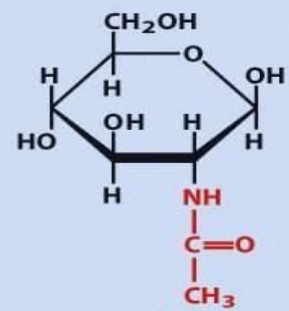
$\beta$ -D-глюкоза



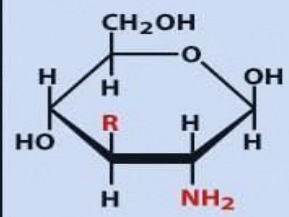
$\beta$ -D-глюкозо-6-фосфат



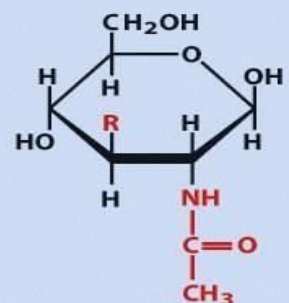
$\beta$ -D-глюкозамин



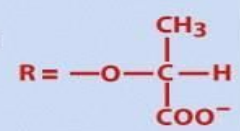
N-ацетил- $\beta$ -D-глюкозамин



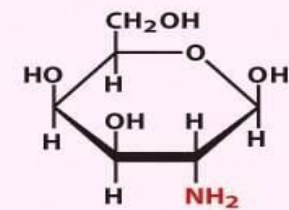
Мурамовая кислота



N-ацетилмурамовая кислота



## Аминосахара

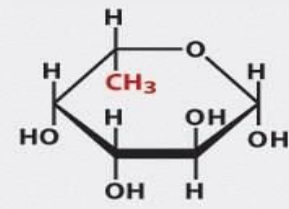


$\beta$ -D-галактозамин

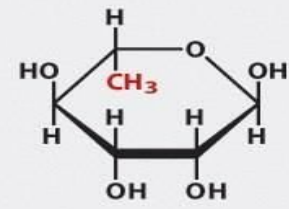


$\beta$ -D-маннозамин

## Дезоксисахара

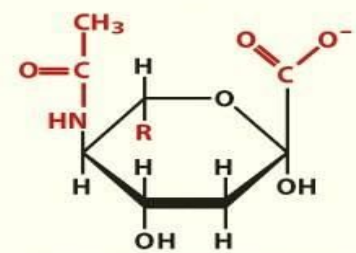


$\beta$ -L-фукоза

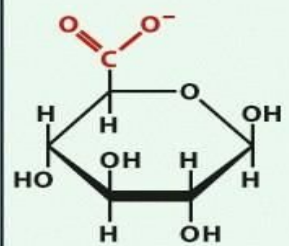
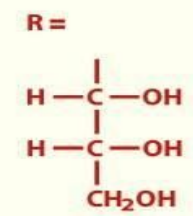


$\alpha$ -L-рамноза

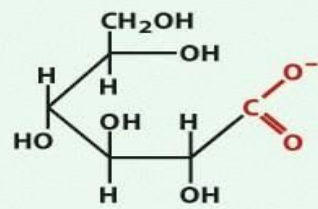
## Аминосахара



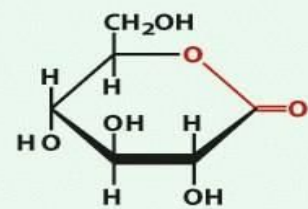
N-ацетилнейраминовая кислота



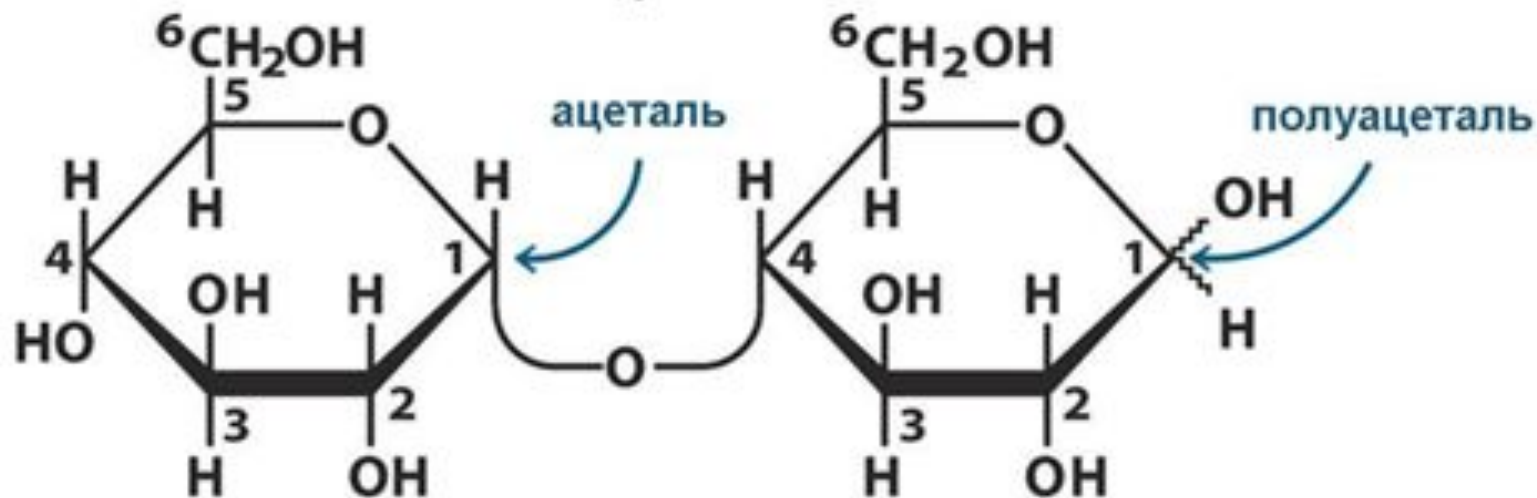
$\beta$ -D-глюкуронат



D-глюконат

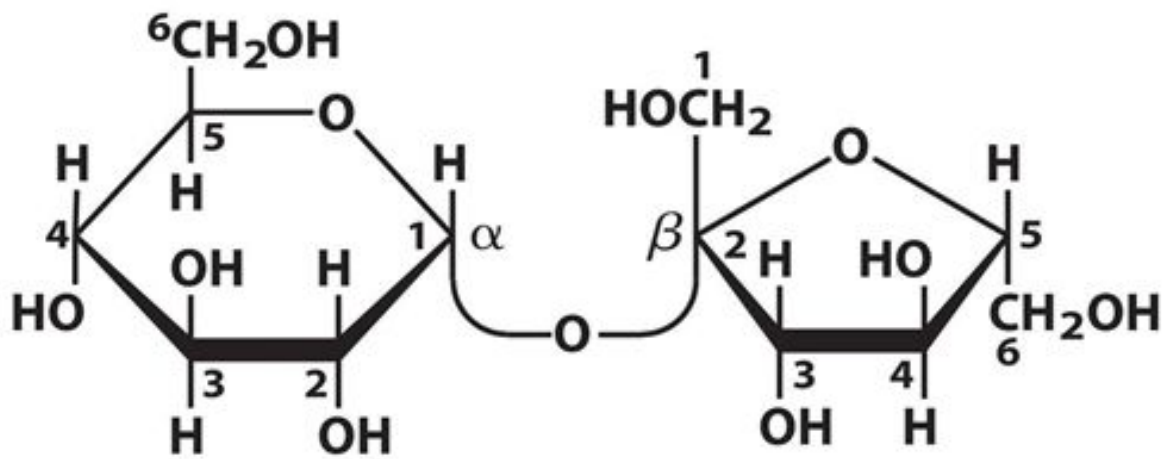


D-глюконо- $\delta$ -лактон



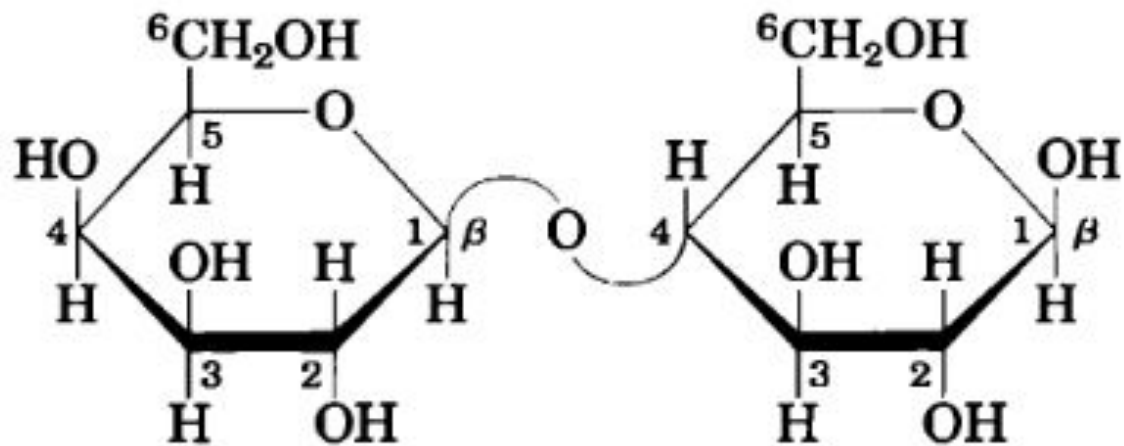
Мальтоза

$\alpha$ -D-глюкопиранозил -(1 $\rightarrow$ 4)-D-глюкопираноза



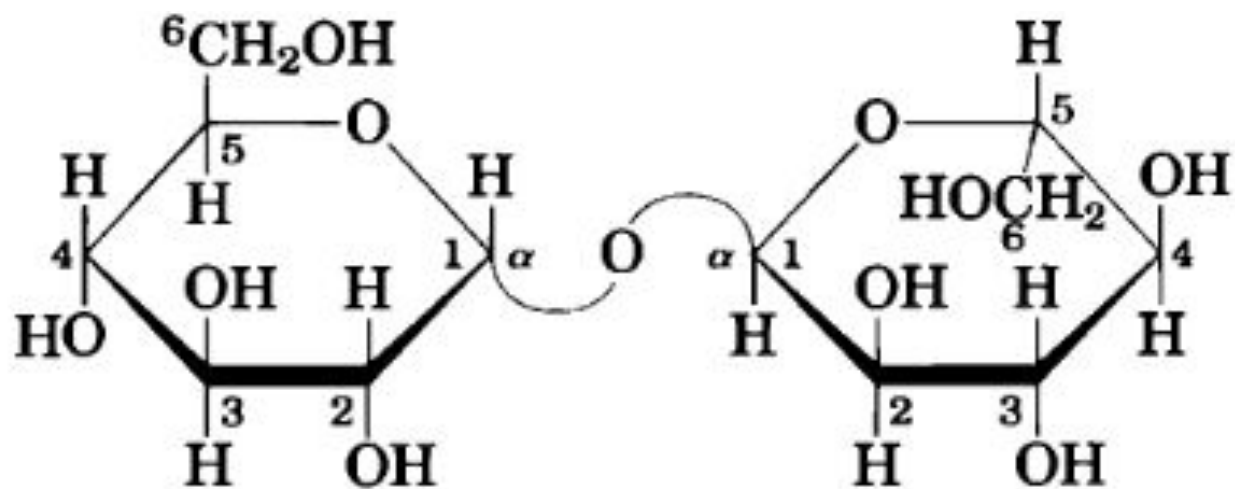
Сахароза

$\alpha$ -D-глюкопиранозил -  $\beta$ -D-фруктофураноза



Лактоза ( $\beta$ -форма)

$\beta$ -D-галактопиранозил-(1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-глюкопираноза  
Gal( $\beta$ 1 $\rightarrow$ 4)Glc



Трегалоза

$\alpha$ -D-глюкопиранозил  $\alpha$ -D-глюкопиранозид  
Glc( $\alpha$ 1 $\leftrightarrow$ 1 $\alpha$ )Glc



Структурные различия между полисахаридами определяются:

- строением моносахаридов, составляющих цепь;
- типом гликозидных связей, соединяющих мономеры в цепи;
- последовательностью остатков моносахаридов в цепи.













Поли-сахарид	Моно-сахарид 1	Моно-сахарид 2	Тип связи	Тип связи в точках ветвления	Источник	Функция <sup>а</sup>
<i>Бактерии</i>						
Муреин	D-GlcNAc	D-MurNAc <sup>б)</sup>	$\beta(1 \rightarrow 4)$	—	Клеточные стенки	сп
Декстран	D-Glc	—	$\alpha(1 \rightarrow 6)$	$\alpha(1 \rightarrow 3)$	Слизи	вр
<i>Растения</i>						
Агароза	D-Gal	L-aGal <sup>в)</sup>	$\beta(1 \rightarrow 4)$	$\beta(1 \rightarrow 3)$	Красные водоросли (агар)	вр
Каррагенан	D-Gal	—	$\beta(1 \rightarrow 3)$	$\alpha(1 \rightarrow 4)$	Красные водоросли	вр
Целлюлоза	D-Glc	—	$\beta(1 \rightarrow 4)$	—	Клеточные стенки	сп
Ксилоглюкан	D-Glc	D-Xyl (D-Gal, L-Fuc)	$\beta(1 \rightarrow 4)$	$\beta(1 \rightarrow 6)$	Клеточные стенки	сп
Арабинан	L-Ara	—	$\alpha(1 \rightarrow 5)$	$\beta(1 \rightarrow 2)$	Красные водоросли (гемицеллюлоза)	сп
Амилоза	D-Glc	—	$\alpha(1 \rightarrow 4)$	$\alpha(1 \rightarrow 3)$	Клеточные стенки (пектин)	сп
Амилопектин	D-Glc	—	$\alpha(1 \rightarrow 4)$	—	Амилопласты	рп
Инулин	D-Fru	—	$\beta(2 \rightarrow 1)$	$\alpha(1 \rightarrow 6)$	Амилопласты	рп
					Запасяющие клетки	рп
<i>Животные</i>						
Хитин	D-GlcNAc	—	$\beta(1 \rightarrow 4)$	—	Насекомые, ракообразные	сп
Гликоген	D-Glc	—	$\alpha(1 \rightarrow 4)$	$\alpha(1 \rightarrow 6)$	Печень, мышцы	рп
Гиалуроновая кислота	D-GlcUA	D-GlcNAc	$\beta(1 \rightarrow 4)$	—	Соединительные ткани	сп, вр
			$\beta(1 \rightarrow 3)$			

<sup>а)</sup>сп = структурный полисахарид; рп = резервный полисахарид;

вр = водорастворимый полисахарид. <sup>б)</sup> N-Ацетилмураминовая кислота; <sup>в)</sup> 3,6-ангидро-галактоза.

## Б. Важнейшие представители полисахаридов

Таблица 7-1

Абеквоза	Abe	Галактозамин		GalN
Арабиноза	Ara	Глюкозамин		GlcN
Галактоза	 Gal	Глюкуроновая кислота		GlcA
Глюкоза	 Glc	N-Ацетилгалактозамин		GalNAc
Ксилоза	 Xyl	N-Ацетилглюкозамин		GlcNAc
Манноза	 Man	Идуриновая кислота		IdoA
Рамноза	Rha	Мурамовая кислота		Mur
Рибоза	Rib	N-Ацетилмурамовая кислота		Mur2Ac
Фруктоза	Fru	N-Ацетилнейраминная (сиаловая) кислота		Neu5Ac
Фукоза	 Fuc			

**Внимание:** обычно гексозы изображают кружочком, N-ацетилгексозамины квадратиком, а гексозамины кружком, разделенным по диагонали. Все сахара с «глюко» конфигурацией – синие, с «галакто» конфигурацией – желтые, с «манно» – зеленые. Другие заместители добавляют к названию по мере необходимости: сульфат (S), фосфат (P), O-ацетил (OAc) или O-метил (Ome).

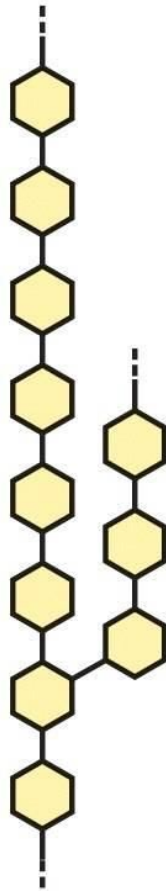
# Цепи полисахаридов

## Гетерополисахариды

### Гомополисахариды

неветвящиеся

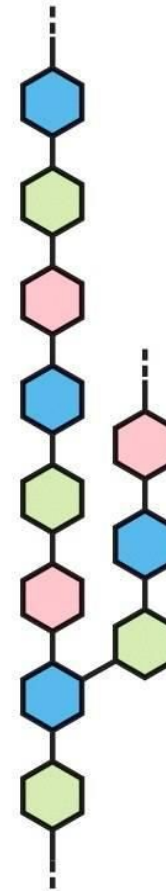
ветвящиеся



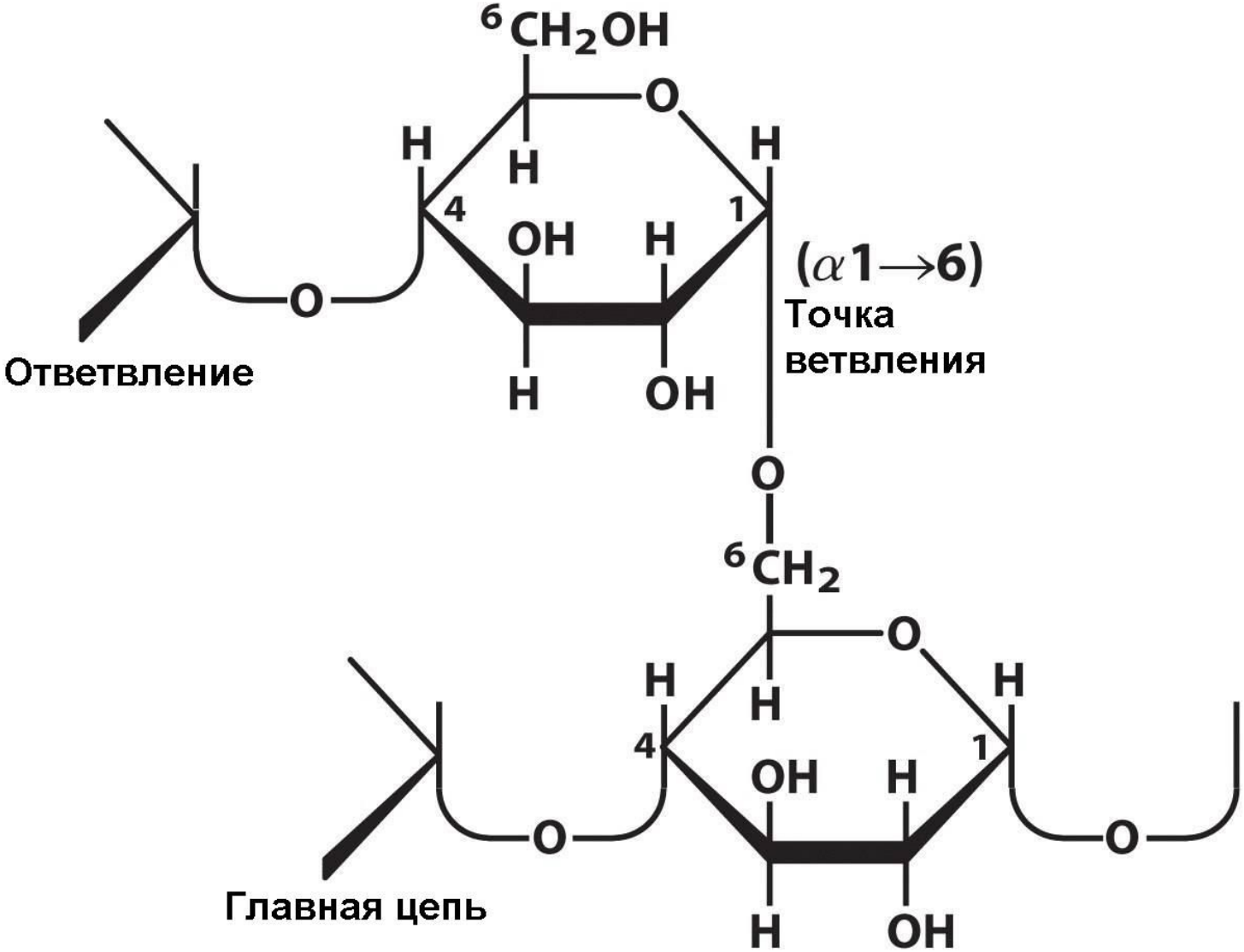
Два типа  
мономеров, без  
ветвления

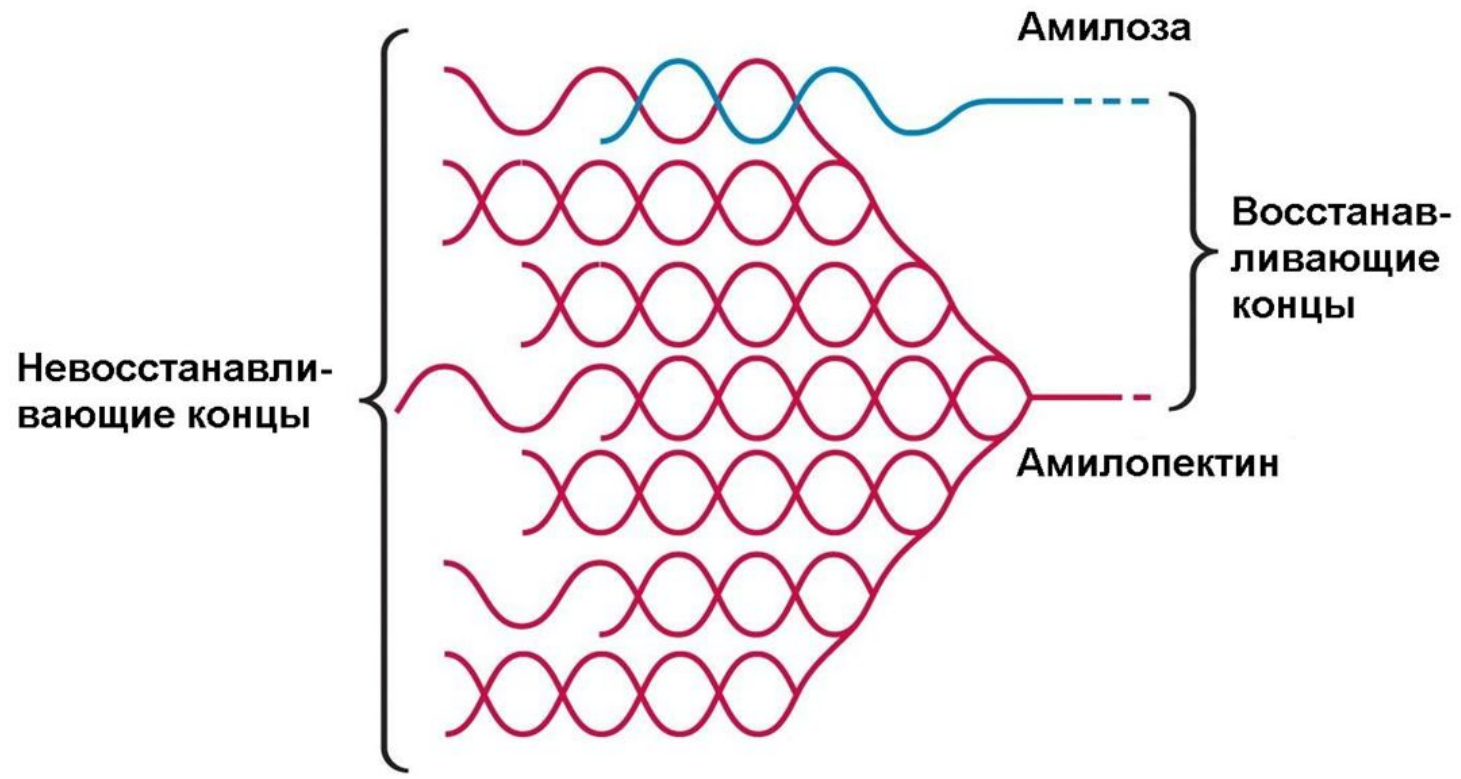
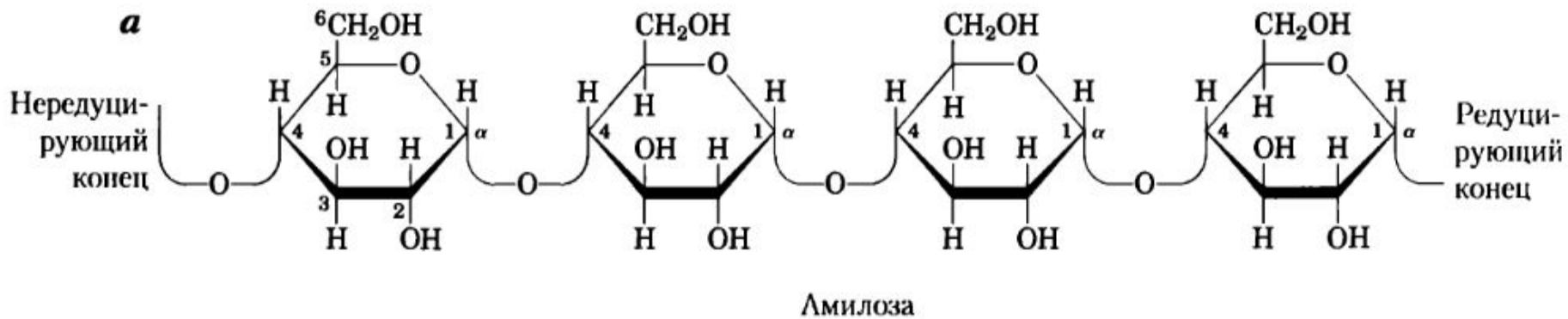


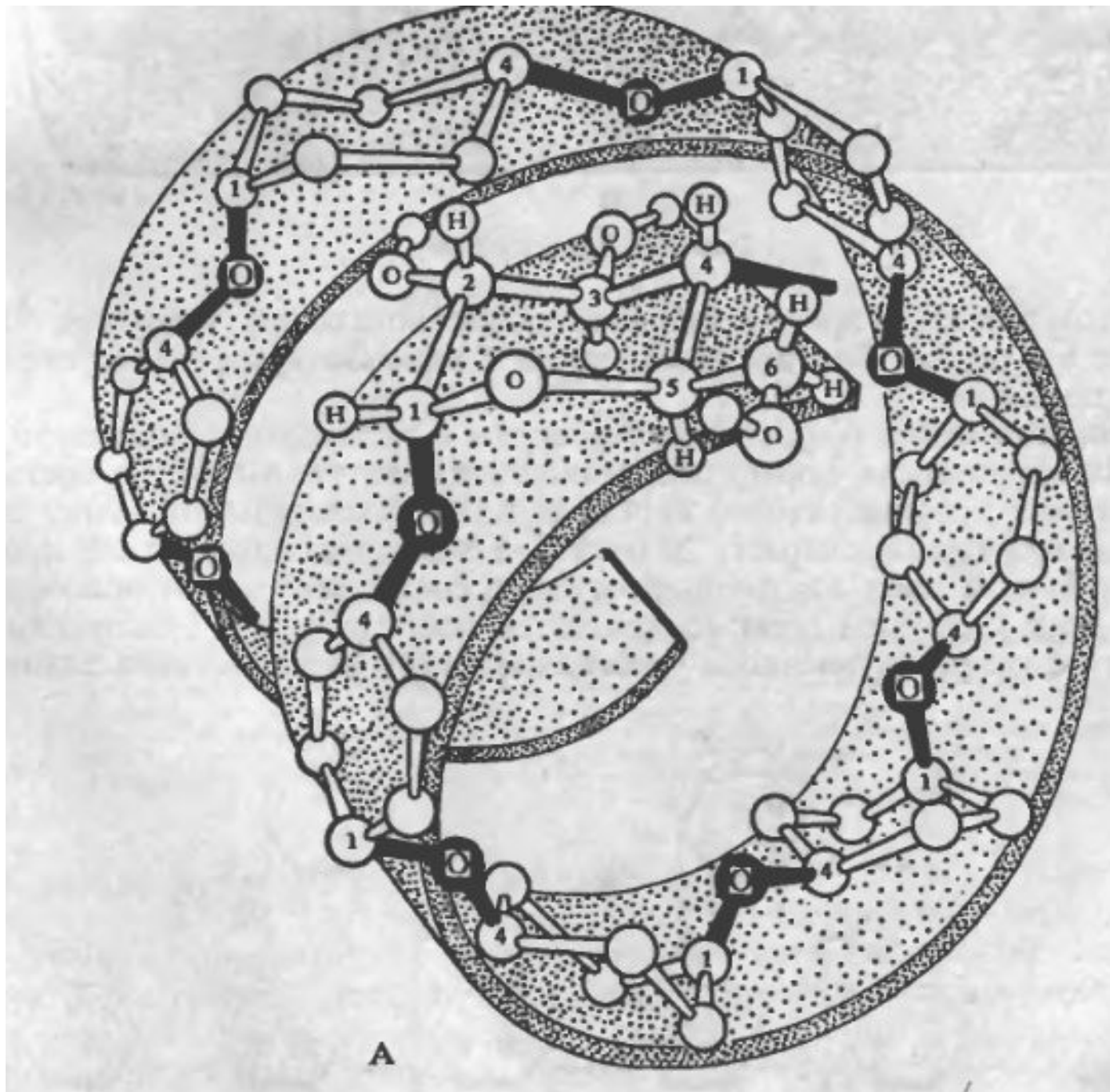
Несколько  
типов  
мономеров,  
ветвление



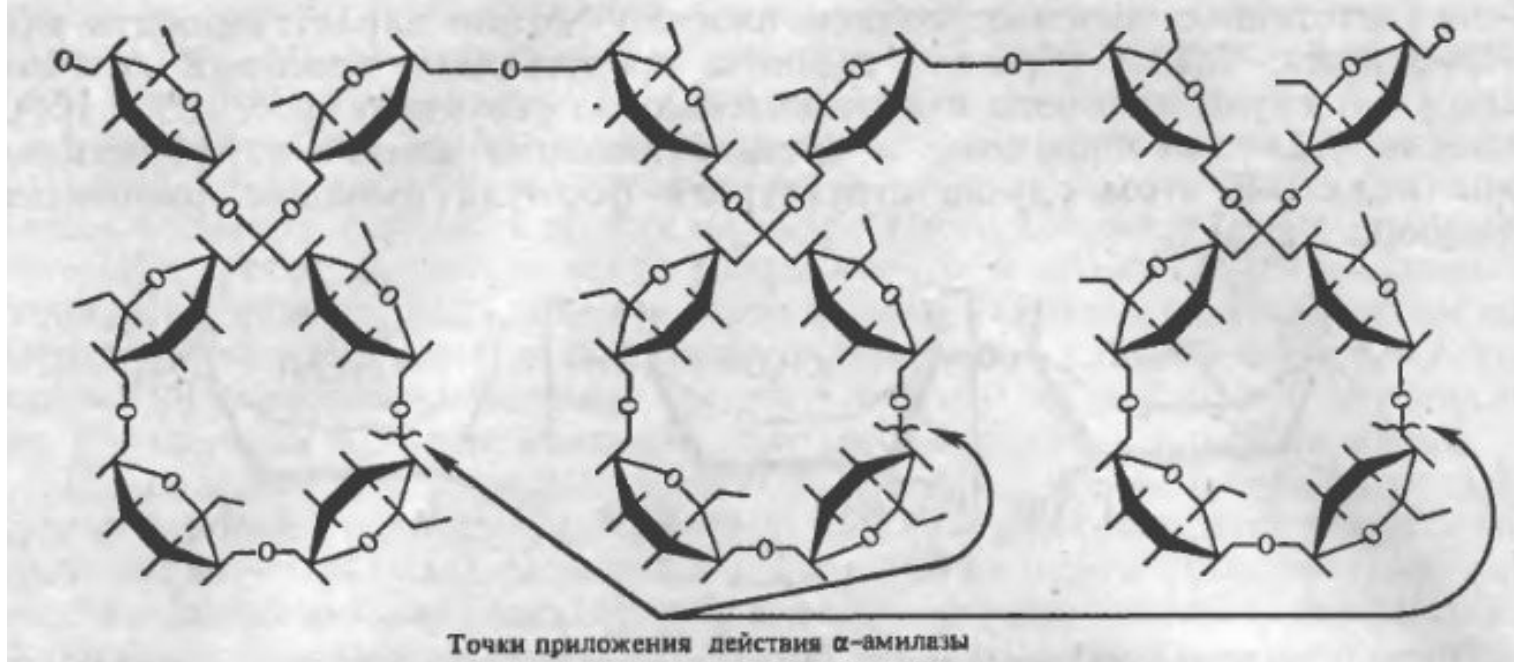
# Ветвление полисахаридов



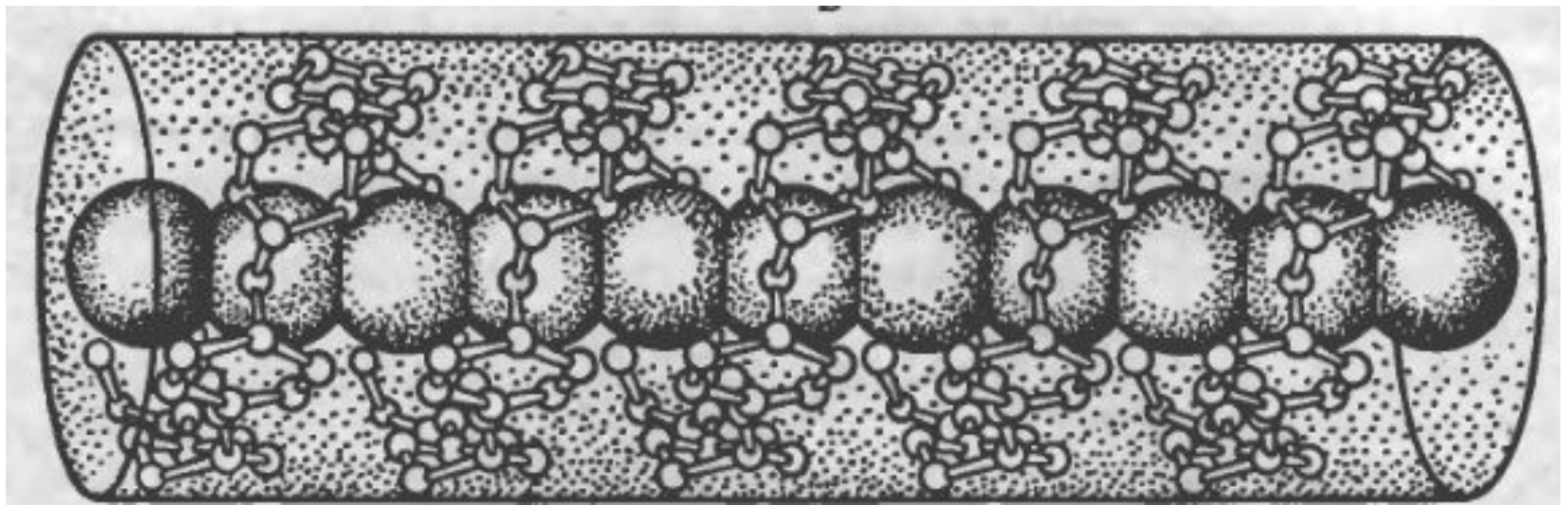




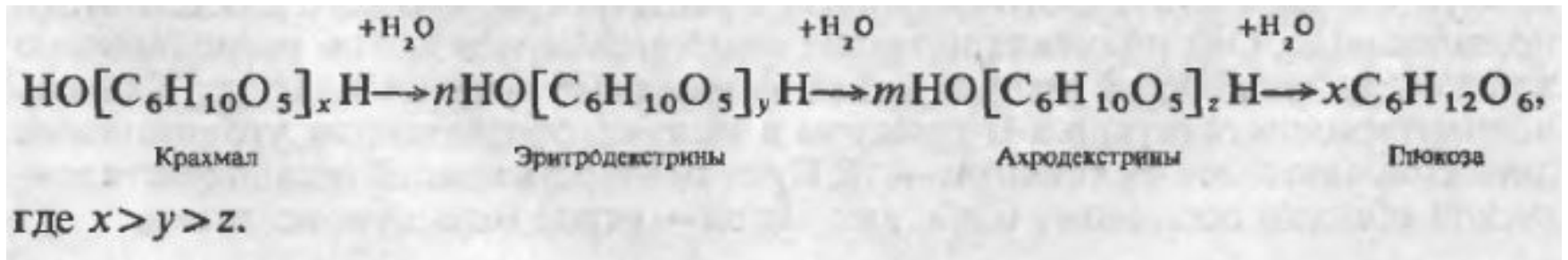
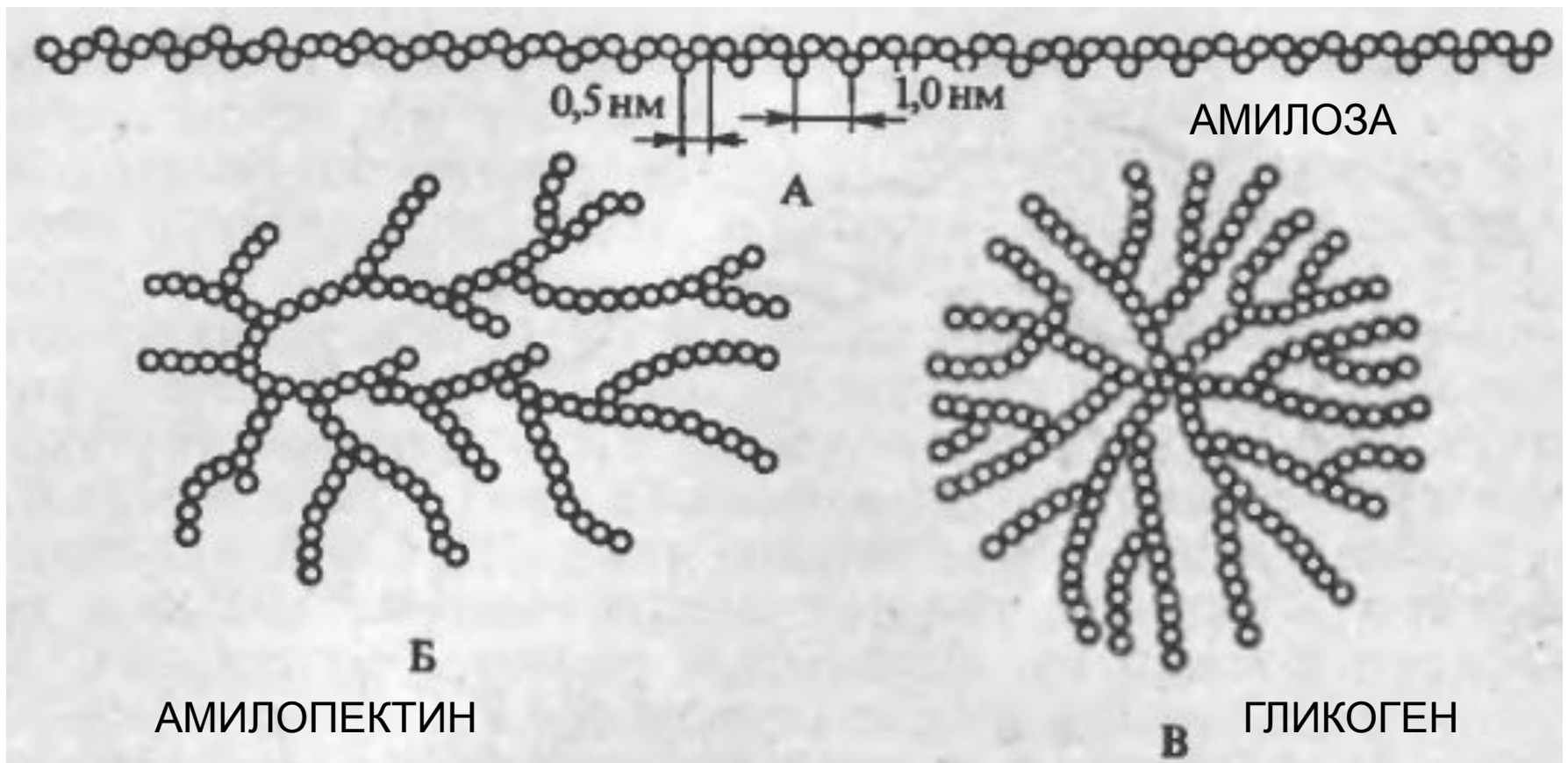
Спираль  
ная  
конфор-  
мация  
моле-  
кулы  
амилозы  
(А)



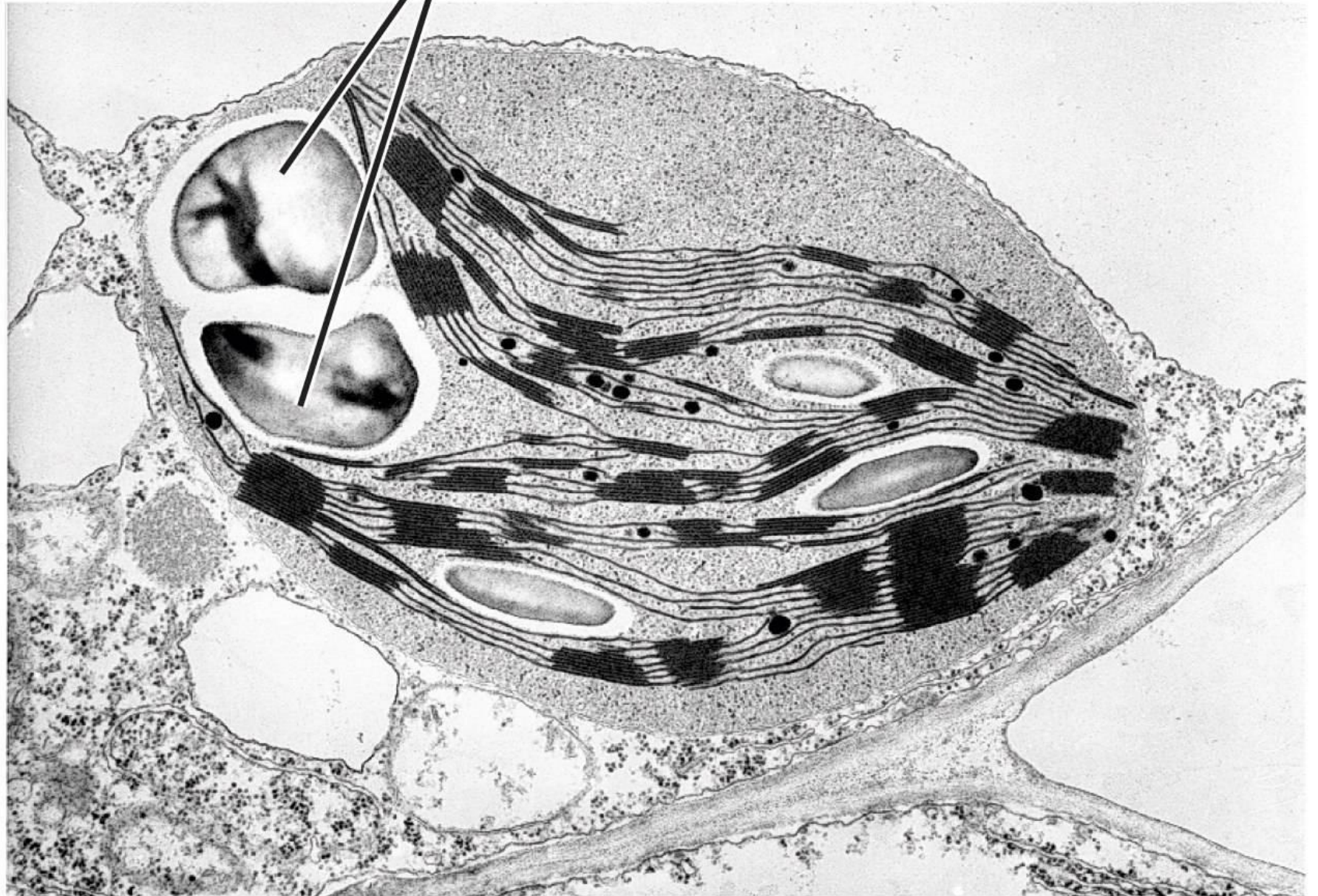
**точки приложения действия  $\alpha$ -амилазы при гидролизе (Б)  
структура адсорбционного комплекса между спирализованными  
участками крахмала и молекулами йода (В)**

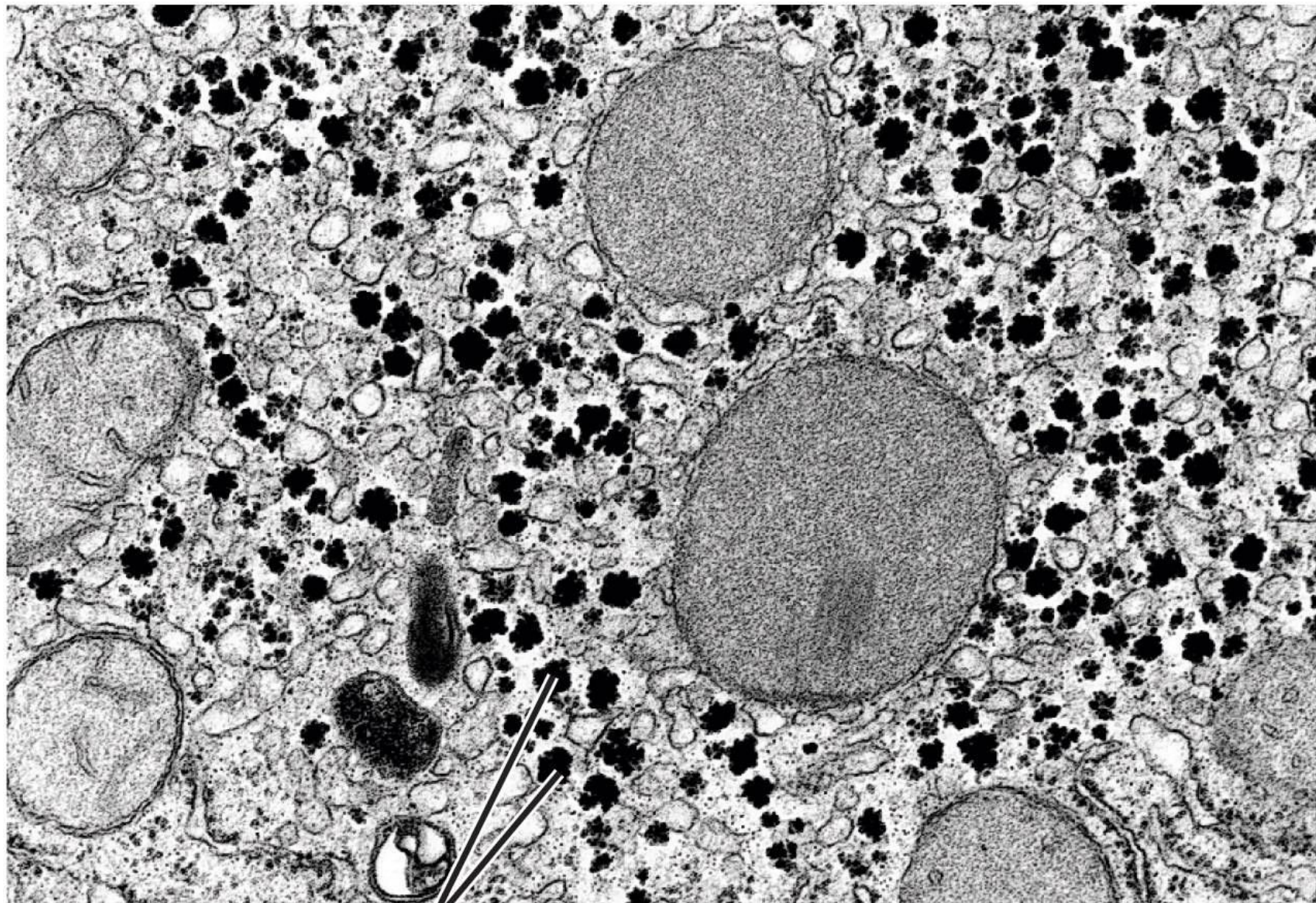






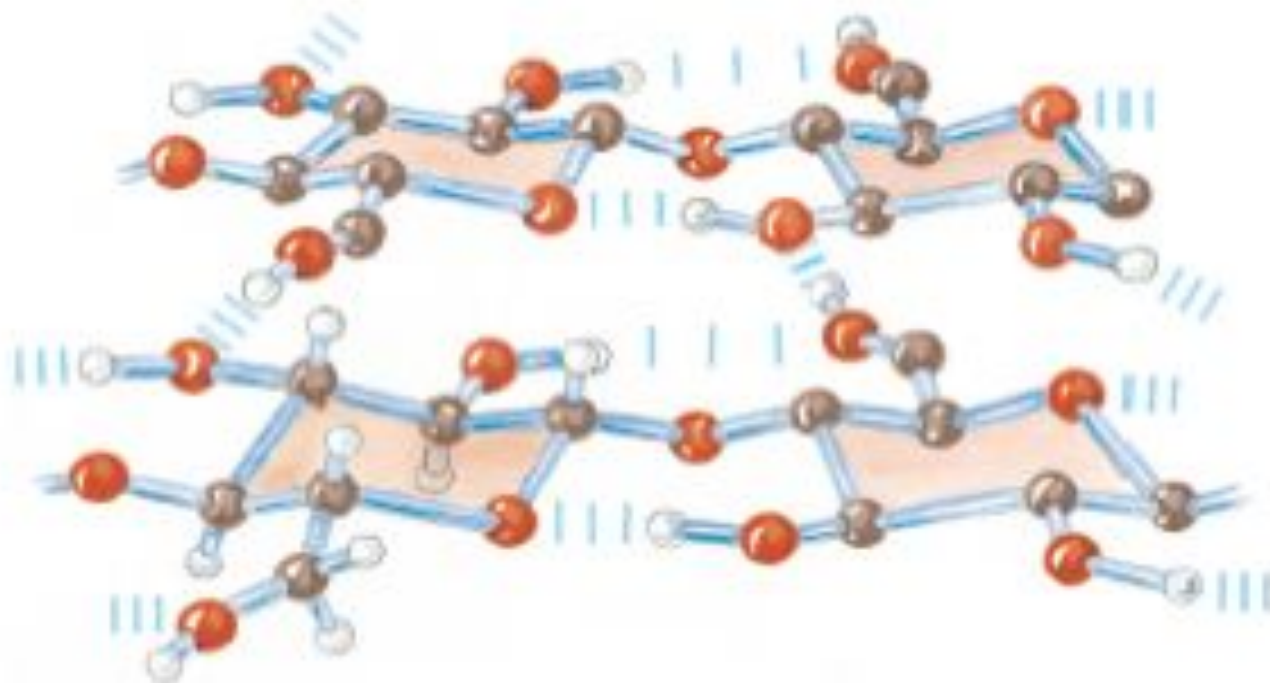
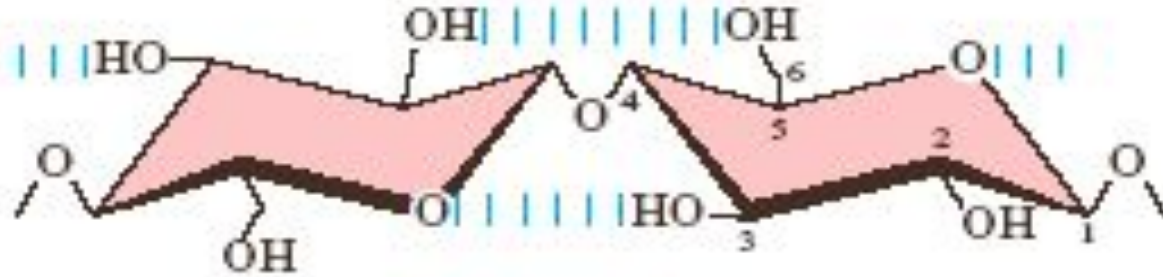
**Гранулы крахмала**



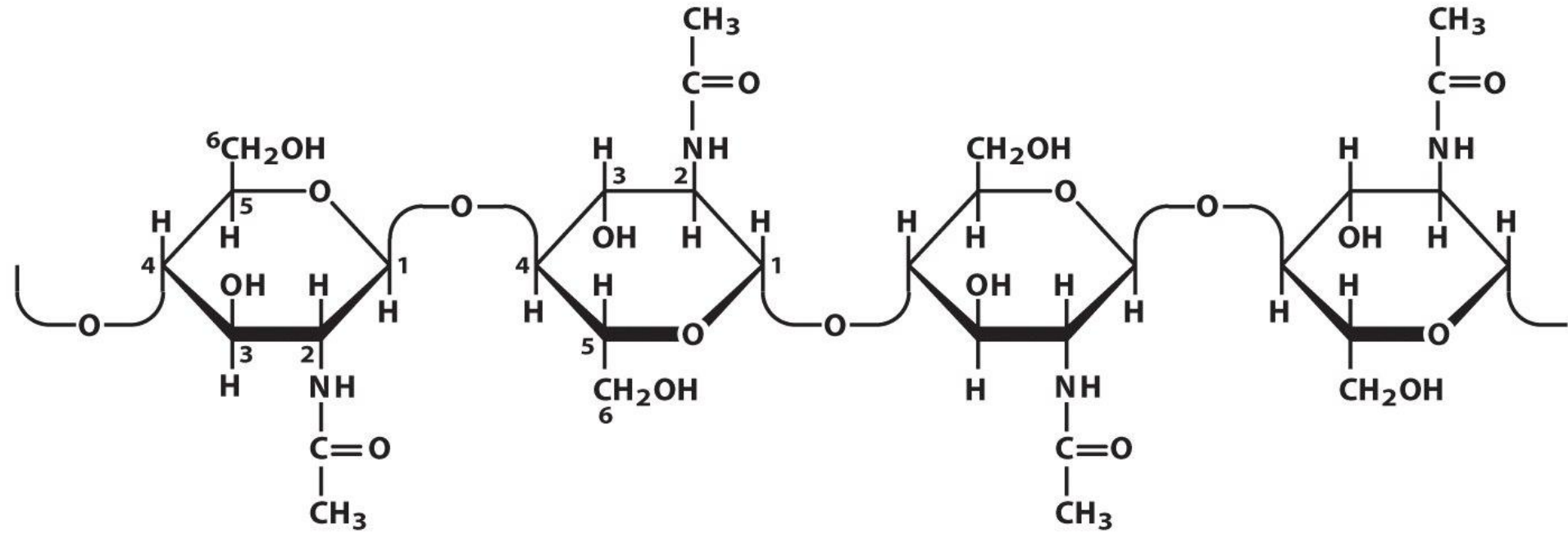


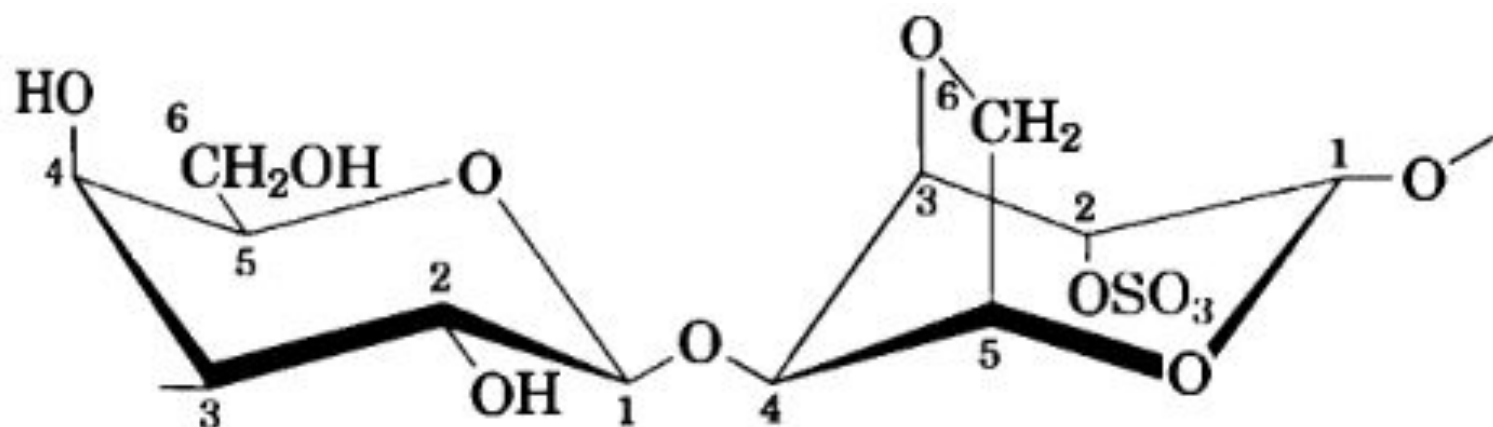
**Гранулы гликогена**

# Образование водородных связей в молекуле целлюлозы



# ХИТИН

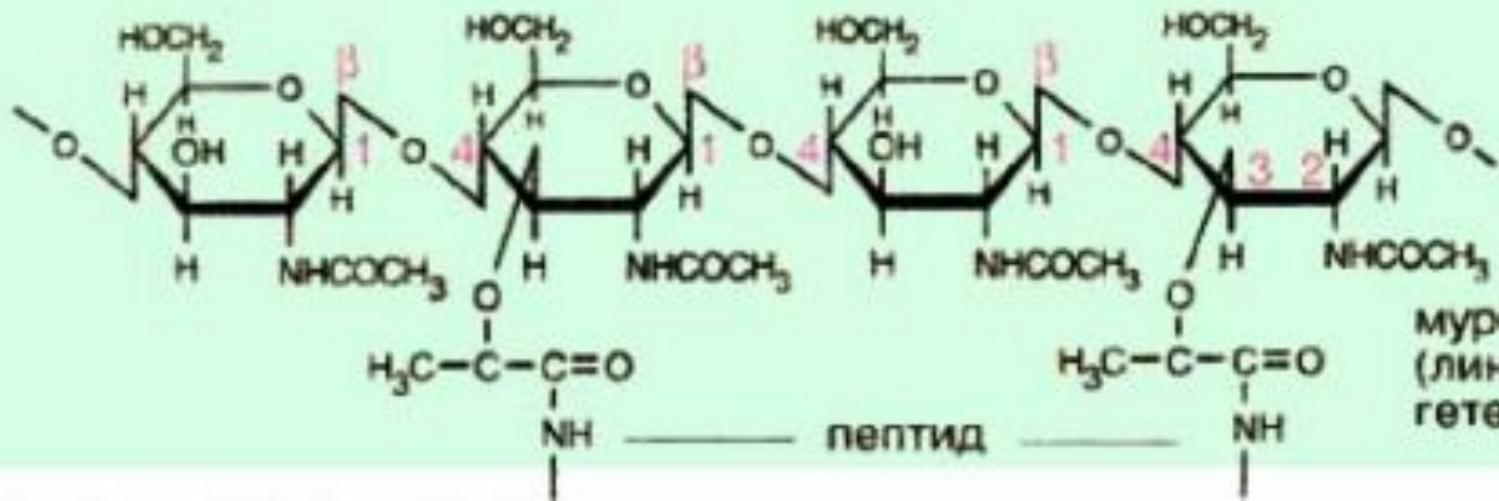




Агароза

D-Gal( $\beta 1 \rightarrow 4$ )3,6-ангидро-L-Gal2S( $\alpha 1 \rightarrow 3$  повторы)

**Рис. 7-21. Структура агарозы.** Повторяющиеся единицы молекулы агарозы состоят из остатков D-галактозы, связанных ( $\beta 1 \rightarrow 4$ ) связью с 3,6-ангидро-L-галактозой, в которой эфирная связь соединяет атомы углерода C-3 и C-6. Между собой эти структурные единицы соединены ( $\alpha 1 \rightarrow 3$ )-гликозидными связями, в результате чего образуется полимер из 600–700 остатков. Некоторые остатки 3,6-ангидрогалактозы этерифицированы серной кислотой у атома углерода C-2, как показано на рисунке.



муреин  
 (линейный  
 гетерополимер)

Гликозаминогликаны — это внеклеточные гетерополисахариды, в которых одной из двух моносахаридных единиц является уроновая кислота, а второй — N-ацетилированный аминосахар. Некоторые гидроксильные группы этих полимеров и аминогруппы некоторых остатков глюкозамина сульфатированы, что придает им большой отрицательный заряд и заставляет принимать развернутую конформацию.

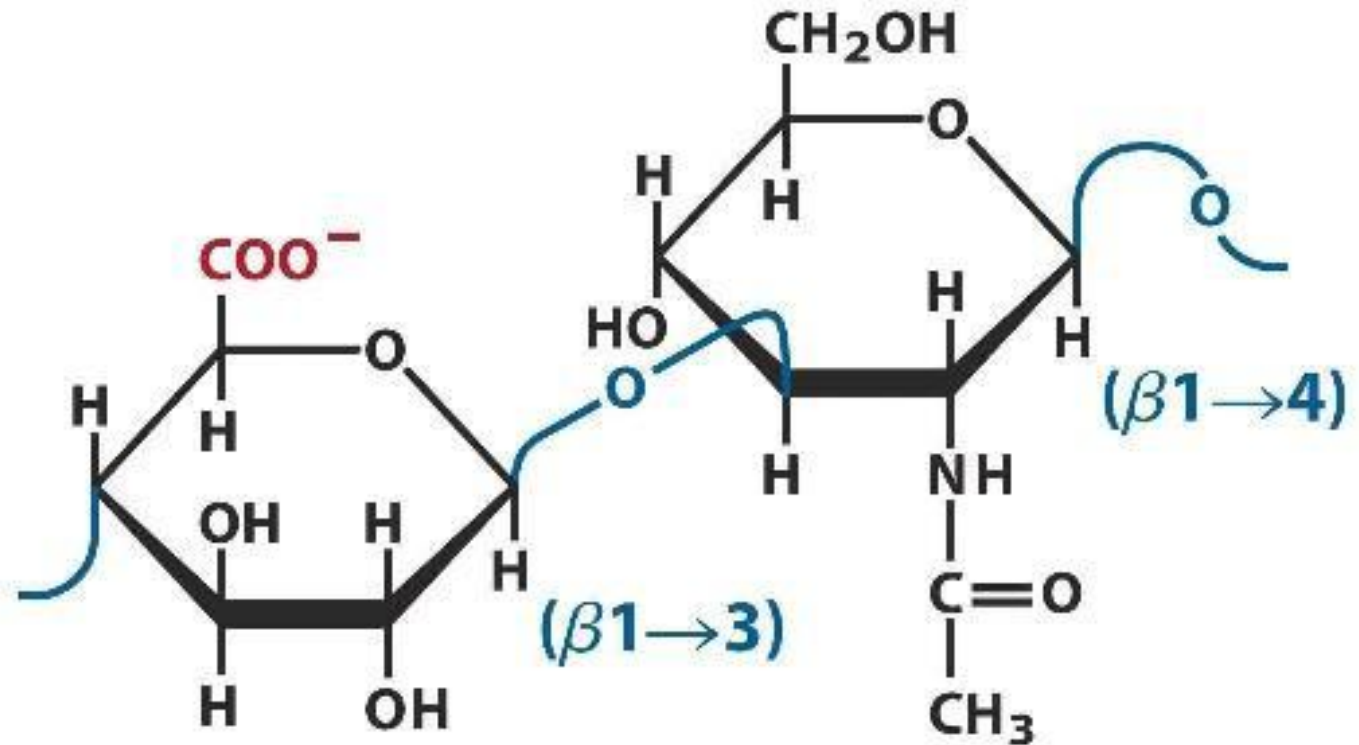
Подобные полимеры (гиалуронат, хондроитинсульфат, кератансульфат и гепарин) обеспечивают вязкость, адгезивность и прочность внеклеточного матрикса.



# Гликозаминогликаны

Повторяющаяся  
последовательность

Гиалуронат  
~50,000

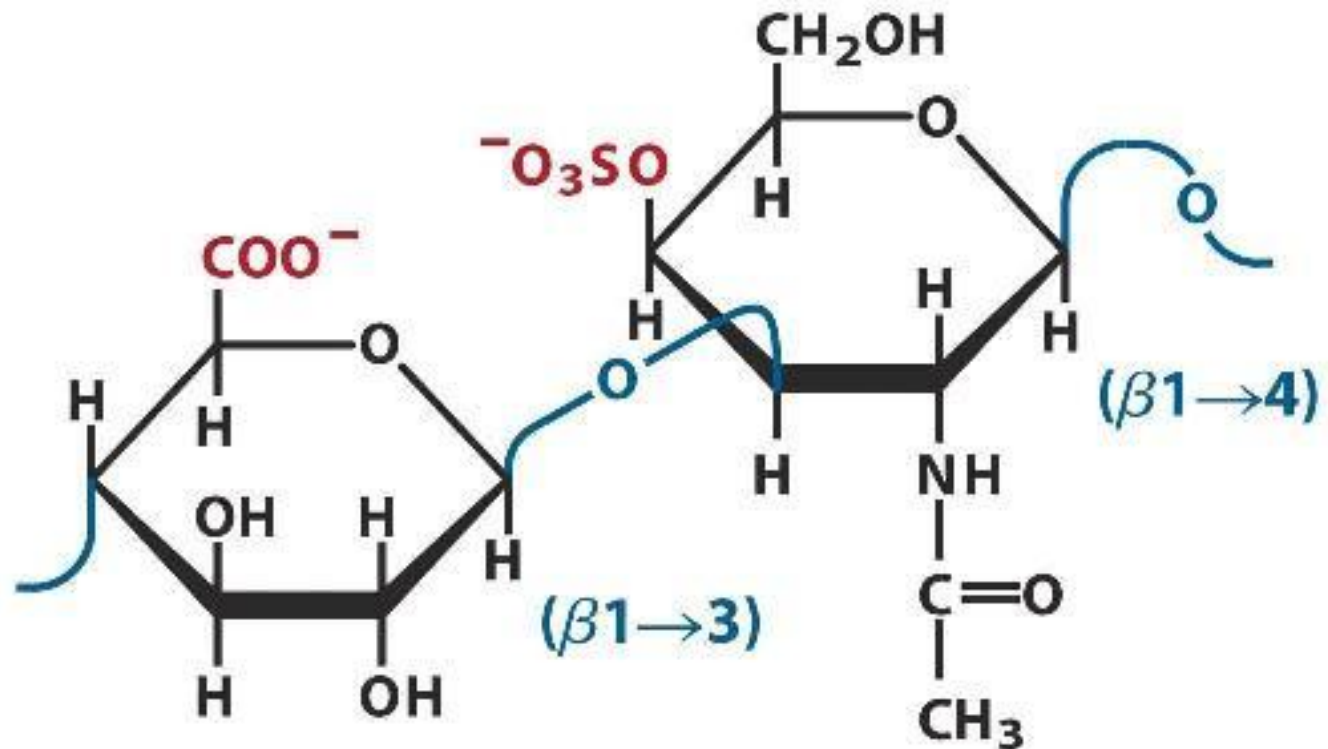


# Хондроитин-4-сульфат

Повторяющаяся  
последовательность

Хондроитин-4-  
сульфат

20–60

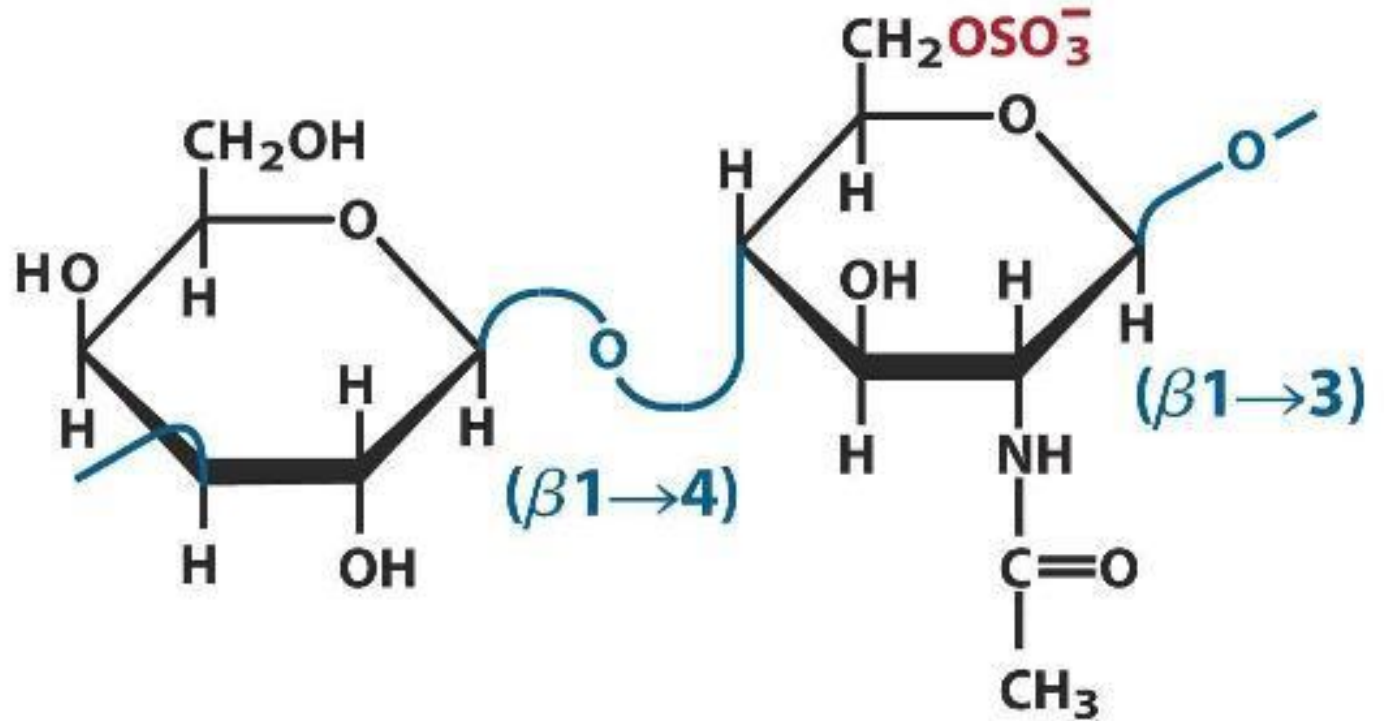


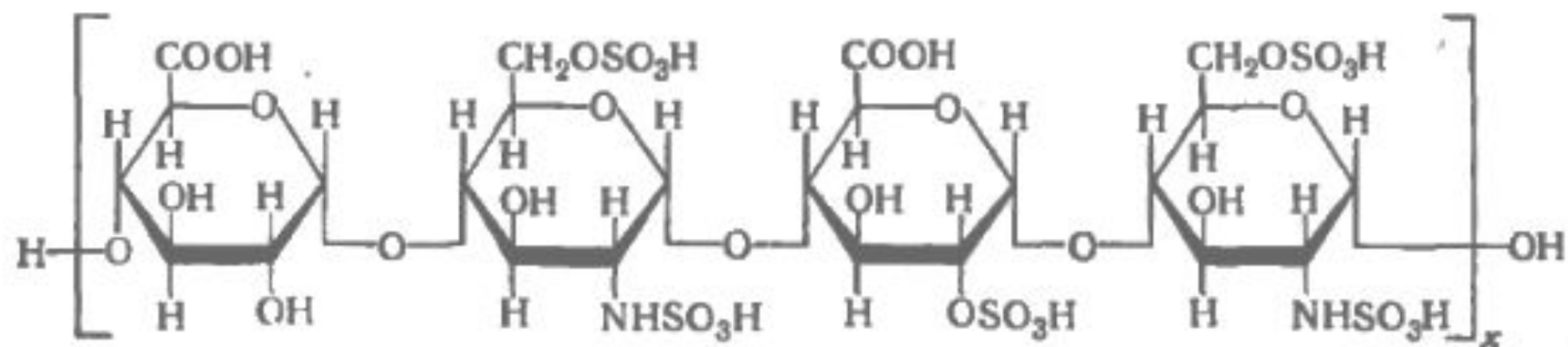
# Кератансульфат

Повторяющаяся  
последовательность

Кератан  
сульфат

~25





Гепарин

Полимер	Тип*	Повторяющееся звено**	Размер (число моносахаридных звеньев)	Биологическая функция
Крахмал				Запас энергии в клетках растений
Амилоза	Гомо-	$(\alpha 1 \rightarrow 4)\text{Glc}$ , линейный	50–5000	
Амилопектин	Гомо-	$(\alpha 1 \rightarrow 4)\text{Glc}$ с $(\alpha 1 \rightarrow 6)\text{Glc}$ разветвлениями через каждые 24–30 остатков	До $10^6$	
Гликоген	Гомо-	$(\alpha 1 \rightarrow 4)\text{Glc}$ с $(\alpha 1 \rightarrow 6)\text{Glc}$ разветвлениями через каждые 8–12 остатков	До 50 000	Запас энергии в бактериальных и животных клетках
Целлюлоза	Гомо-	$(\beta 1 \rightarrow 4)\text{Glc}$	До 15 000	Структурная: придает жесткость и прочность клеточным стенкам растений
Хитин	Гомо-	$(\beta 1 \rightarrow 4)\text{GlcNAc}$	Очень большой	Структурная: обеспечивает прочность внешнего скелета насекомых, паукообразных и ракообразных
Декстран	Гомо-	$(\alpha 1 \rightarrow 6)\text{Glc}$ с разветвлениями $(\alpha 1 \rightarrow 3)$	Изменяется в широком диапазоне	Структурная: адгезия бактериальных клеток
Пептидогликан	Гетеро-; связан с пептидами	$\text{Mur2Ac}(\beta 1 \rightarrow 4)\text{GlcNAc}$	Очень большой	Структурная: придает жесткость и прочность оболочке бактериальной клетки
Агароза	Гетеро-	$\text{D-Gal}(\beta 1 \rightarrow 4)3,6\text{-ангидро-L-Gal}(\alpha 1 \rightarrow 3)$	1000	Структурная: входит в состав клеточной стенки водорослей
Гиалуронат (гликоз-аминогликан)	Гетеро-; кислый	$\text{Glc}(\beta 1 \rightarrow 3)\text{GlcNAc}(\beta 1 \rightarrow 4)$	До 100 000	Структурная: внеклеточный матрикс кожи и соединительных тканей, смазка суставов позвоночных

**Протеогликаны** — это макромолекулы, находящиеся на поверхности клеток или во внеклеточном матриксе, в которых одна или несколько цепей гликозаминогликанов связаны ковалентной связью с мембранным или секретиремым белком.

Цепь гликозаминогликана может прикрепляться к внеклеточным белкам за счет электростатических взаимодействий с отрицательно заряженными группами полисахарида.

Протеогликаны — основной компонент внеклеточного вещества.

**Гликопротеины** представляют собой белки, связанные ковалентной связью с одним или несколькими олигосахаридами разной сложности.

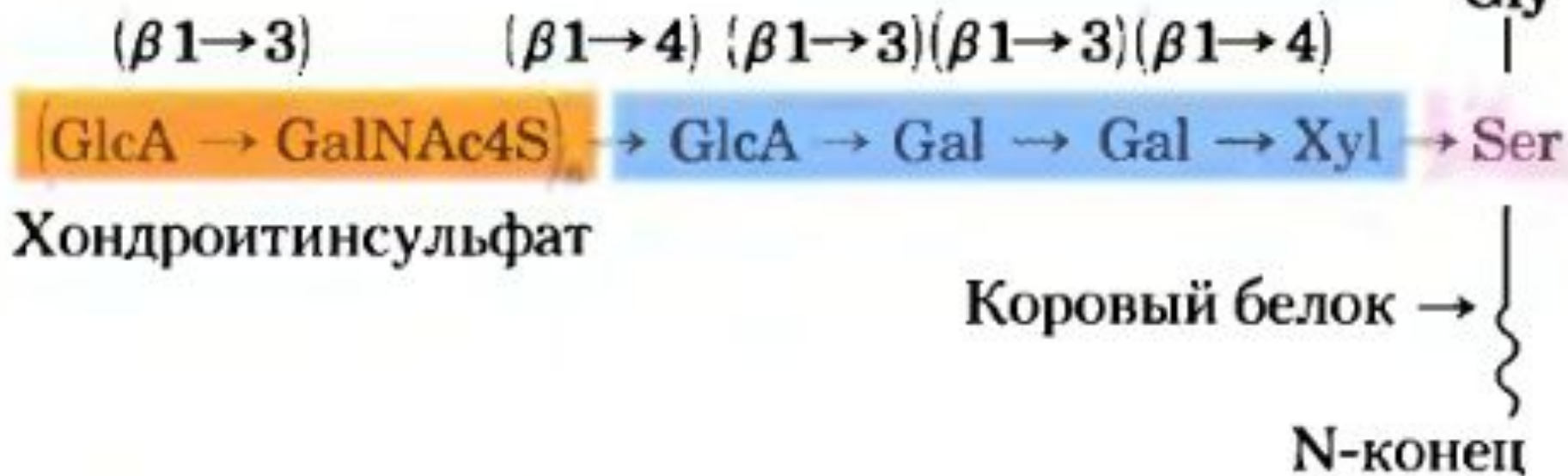
Эти вещества обычно обнаруживаются на внешней поверхности плазматической мембраны, во внеклеточном матриксе и в крови. Внутри клеток они встречаются в таких органеллах, как аппарат Гольджи, секреторные гранулы и лизосомы. Олигосахариды в составе молекул гликопротеинов более разнообразны, чем гликозаминогликаны в составе протеогликанов.

Олигосахариды гликопротеинов несут в себе много информации, образуют высокоспецифичные сайты узнавания и высокоаффинные центры связывания в белках, связанных с углеводами, которые называют лектинами. Некоторые белки ядра и цитоплазмы тоже могут быть гликозилированы.

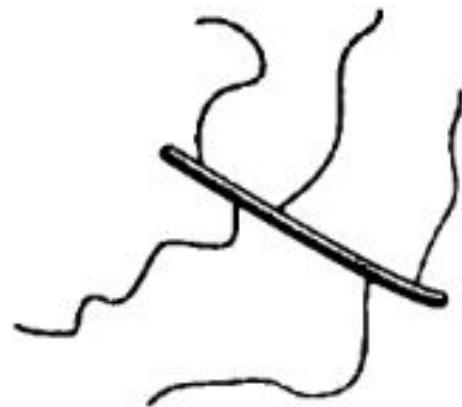
**Гликолипиды** — мембранные сфинголипиды, гидрофильная «головка» которых образована олигосахаридами, служащими, как и в случае гликопротеинов, в качестве специфических участков узнавания лектинов. Гликолипидов много в мозге и нервной ткани, где они участвуют в проведении нервного импульса и образовании миелиновой оболочки. Кроме того, гликолипиды задействованы в передаче клеточных сигналов.



Структура протеогликана. Типичный трисахарид (выделен голубым цветом) соединяет гликозаминогликан (в данном случае хондроитинсульфат, выделен оранжевым цветом) с остатком серина (розовый) в коровьем белке. Остаток ксилозы на восстанавливающем конце этой линкерной последовательности своим аномерным атомом присоединен к гидроксильной группе остатка Ser.



**a**

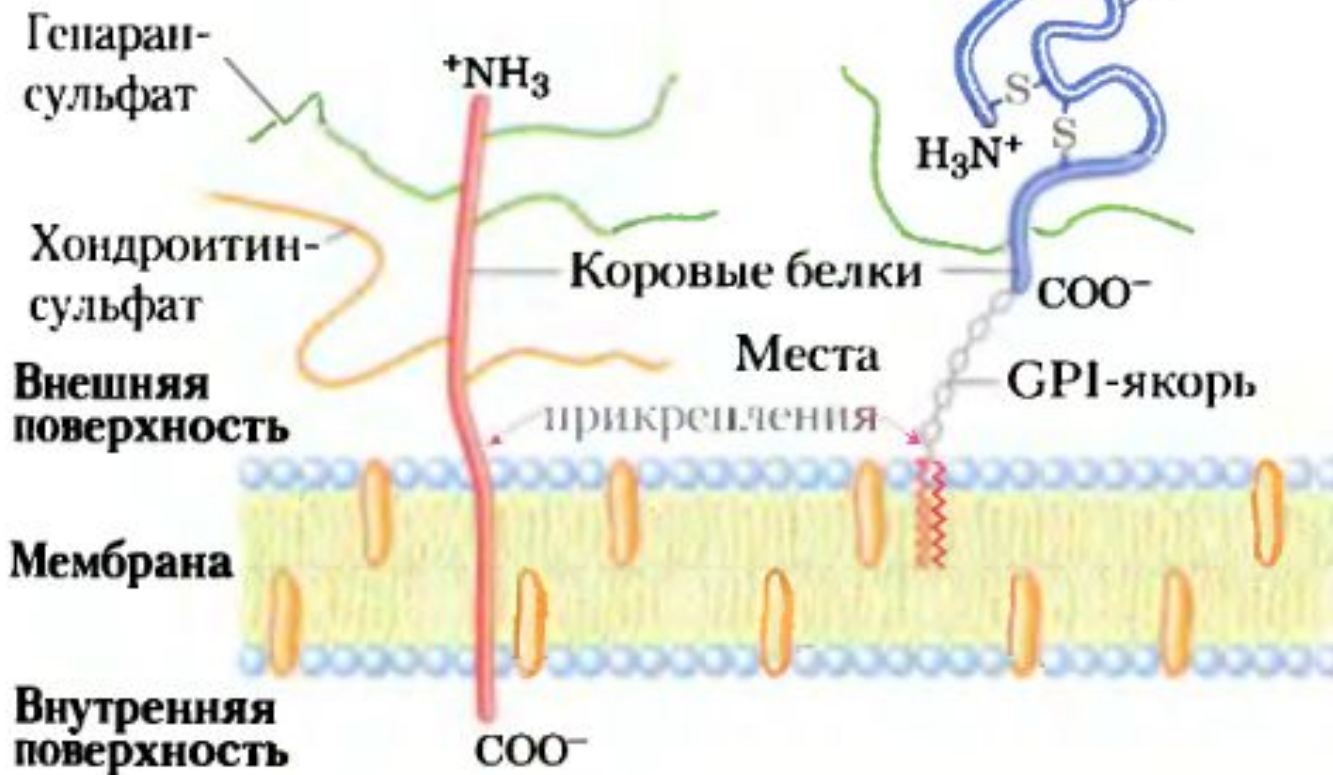


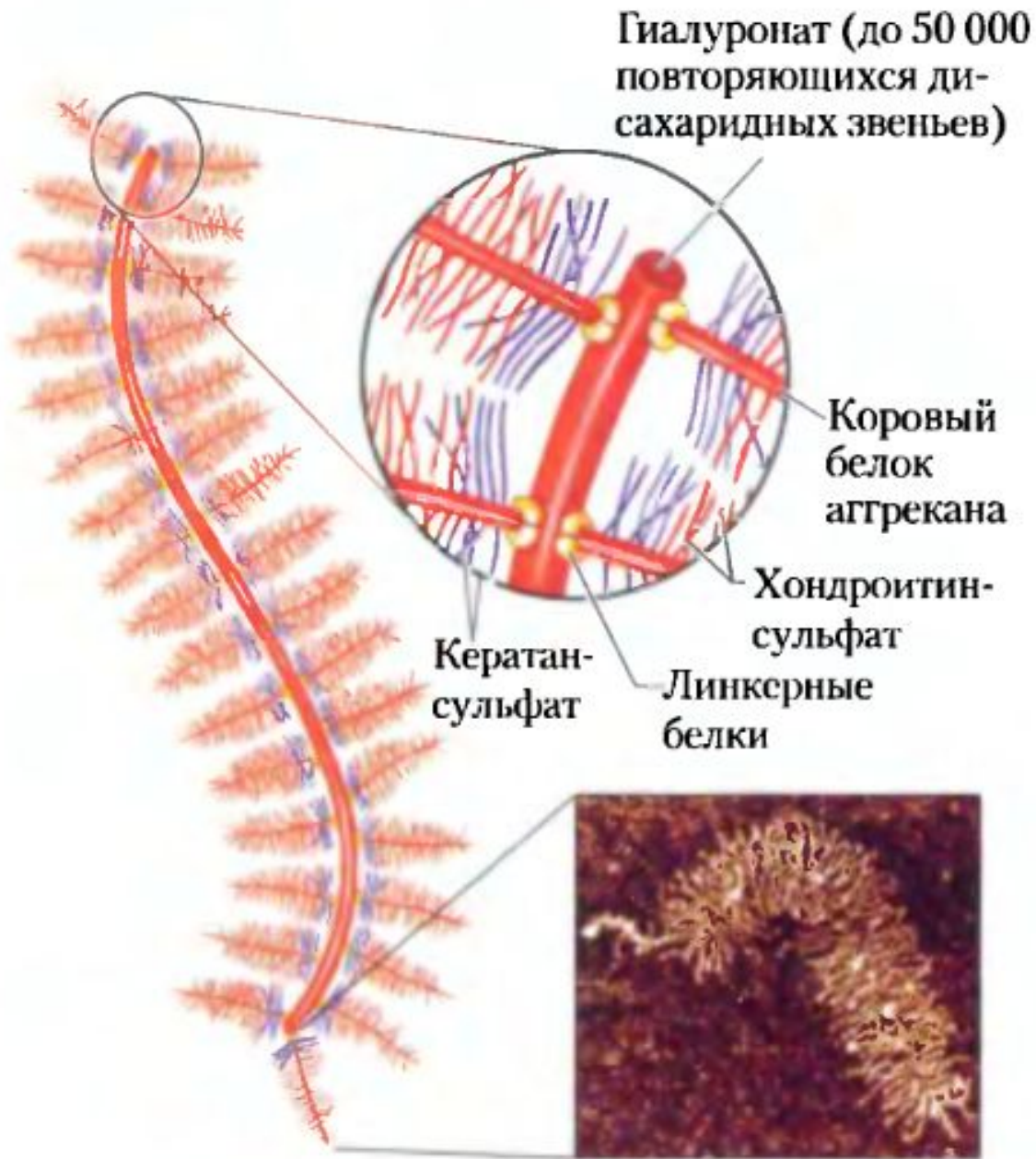
**Синдекан**



**Глипикан**

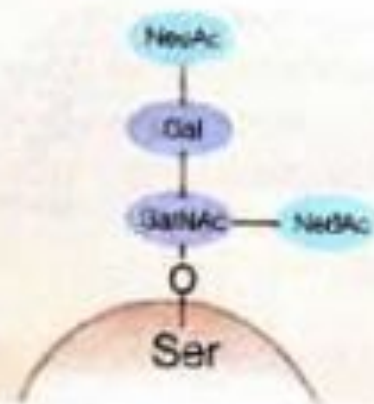
**Глобулярный домен**



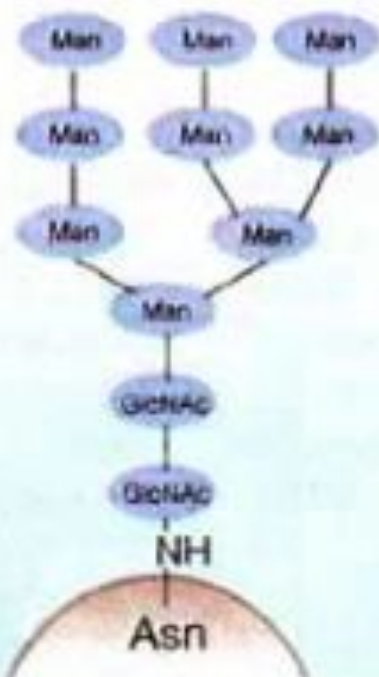


Агрегаты  
протеогликанов во  
внеклеточном  
матриксе.  
Схематичный  
рисунок  
протеогликана с  
множеством  
молекул агрекана.

**O-гликозидный  
олигосахарид**



**N-гликозидные  
олигосахариды**



**обогащенный маннозой**



**сложный (комплексный)**

молекула  
белка

Лектины — белки со специфическими углевод-связывающими участками — обычно располагаются на внешней поверхности клетки, где инициируют взаимодействия с другими клетками. Лектины позвоночных по олигосахаридным «ярлыкам» узнают некоторые пептидные гормоны, циркулирующие белки плазмы и клетки крови и регулируют их уничтожение.

Вирус

Бактерия

Лимфоцит

Олигосахаридная цепь

Белок плазматической мембраны

Гликолипид

Токсин

P-селектин

*a*

*б*

*в*

*г*

*д*

Рецептор маннозо-6-фосфата

*e*

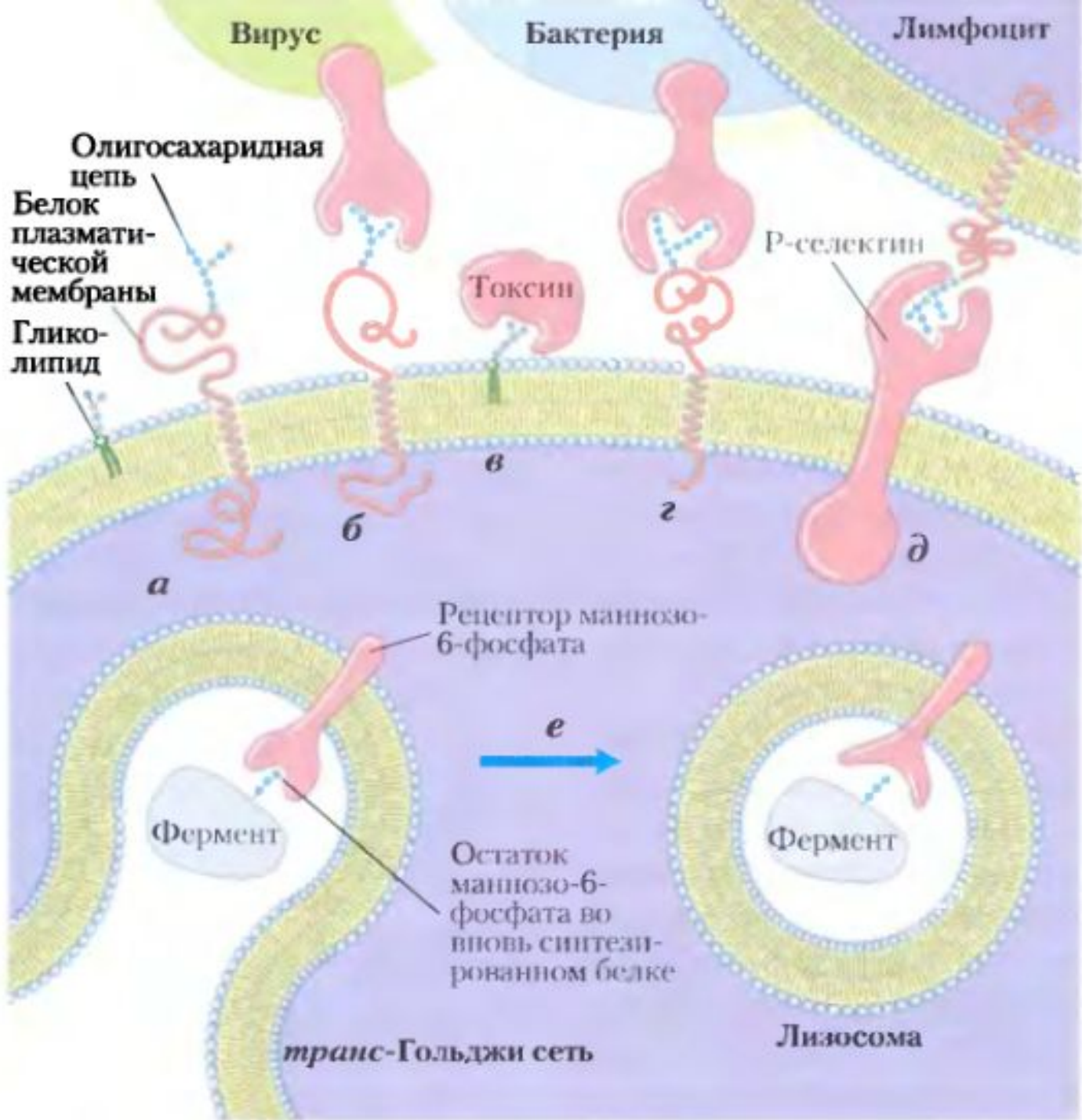
Фермент

Остаток маннозо-6-фосфата во вновь синтезированном белке

Фермент

*транс*-Гольджи сеть

Лизосома



- Прикрепление патогенных вирусов, бактерий и некоторых эукариотических паразитов к клеткам организма-хозяина происходит через связывание лектинов на клетках патогенов с олигосахаридами на поверхности клеток хозяина.
- Внутриклеточные лектины участвуют в доставке внутриклеточных белков к определенным органеллам или к месту их секреции.
- Рентгеноструктурный анализ позволил детально изучить комплексы лектинов с сахарами и установить комплементарность этих молекул, объясняющую прочность и специфичность их взаимодействий.

# Строение, свойства, биологическая роль ЛИПИДОВ



Липиды – нерастворимые в воде органические вещества, которые могут содержаться в живых клетках и могут быть экстрагированы из них неполярными растворителями (хлороформ, эфир, бензол). Все настоящие липиды – это сложные эфиры жирных кислот и какого-либо спирта.

# Сложный эфир – продукт реакции между кислотой и спиртом

## Этерификация

Кислота + Спирт

$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$   
Уксусная      Этиловый  
Кислота              спирт

Сложный эфир + Вода

$\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O}$   
Этилацетат

– COO – это сложноэфирная связь.

# Липиды

```
graph TD; L[Липиды] --> N[Неомыляемые]; L --> O[Омыляемые]; O --> P[Простые]; O --> S[Сложные];
```

## Неомыляемые

1. Высшие жирные кислоты ( $C_{12}$ - $C_{22}$ ), высшие жирные спирты и альдегиды с  $n$  до 60;
2. Эйкозаноиды – производные арахидоновой кислоты;
3. Олиго- и полимеры изопентена, включая терпены, стероиды, латексы и т.д.

## Омыляемые

### Простые

1. Ацилглицерины;
2. Нейтральные диольные липиды;
3. Нейтральные плазмалогены;
4. Воска.

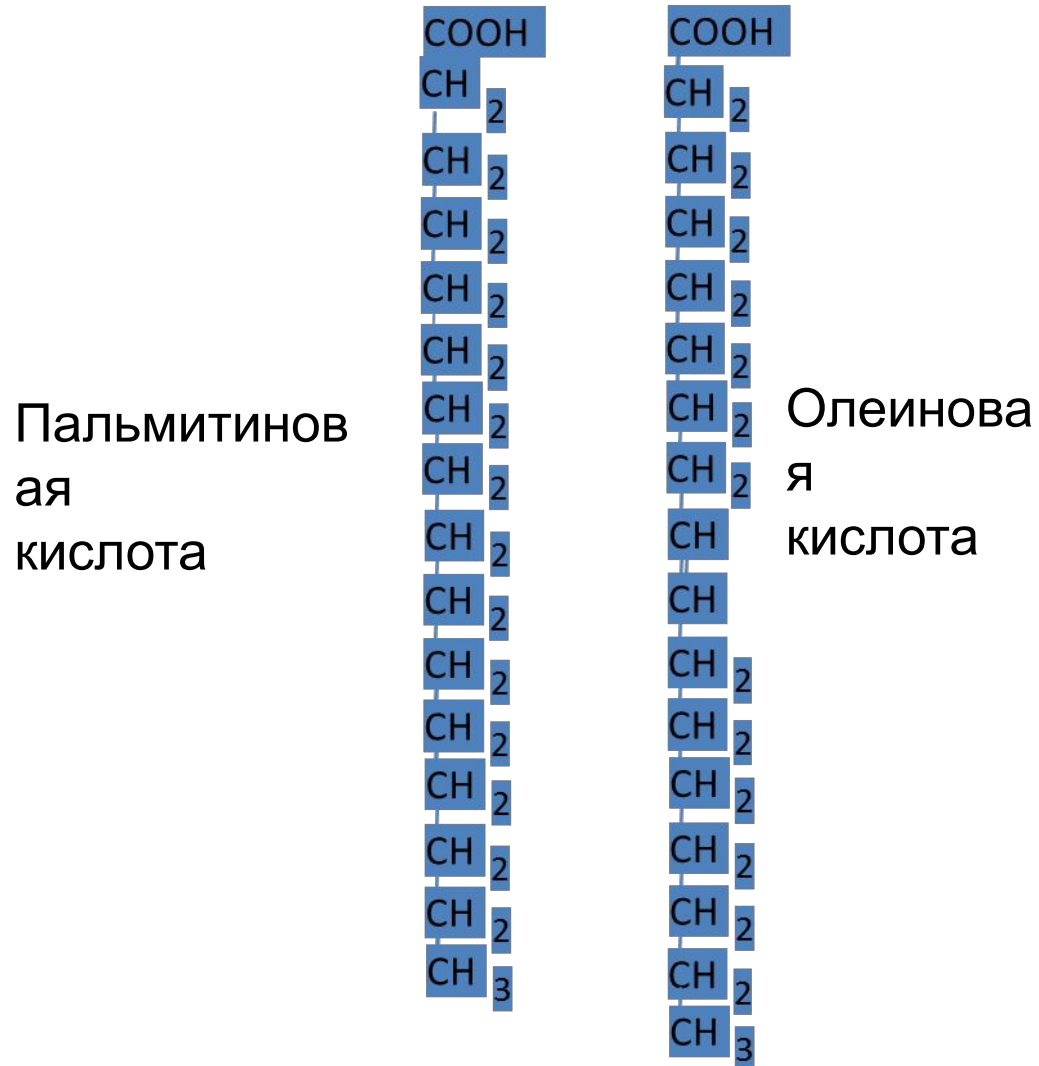
### Сложные

1. Фосфолипиды (глицерофосфолипиды и сфингофосфолипиды);
2. Гликолипиды

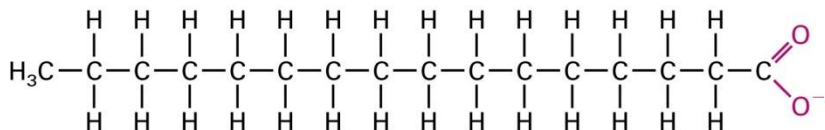
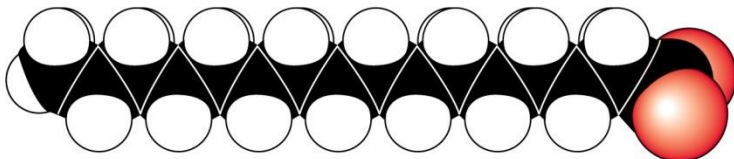
# Биологическая роль липидов

1. Структурная функция (обязательные компоненты биологических мембран - фосфолипиды);
2. Энергетическая функция (эффективный источник энергии в клетке - триацилглицериды);
3. Служат формой, в которой транспортируется это топливо (хиломикрон);
4. Выполняют защитную функцию (в клеточных стенках бактерий, в листьях высших растений, в коже позвоночных);
5. Некоторые вещества, относимые к липидам, обладают высокой биологической активностью – это витамины и их предшественники (А,Е,D), некоторые гормоны (эйказаноиды).

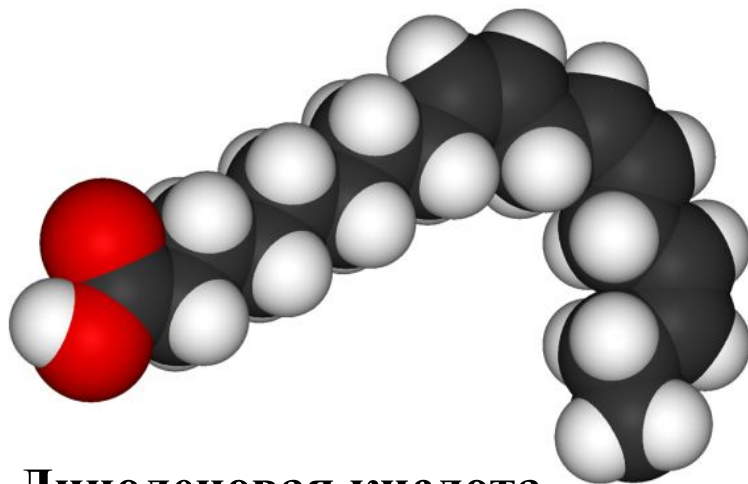
# Высшие жирные кислоты (ВЖК)



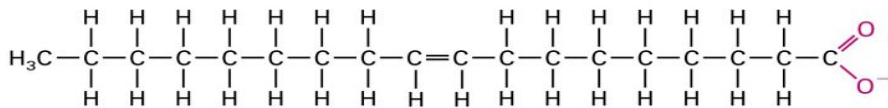
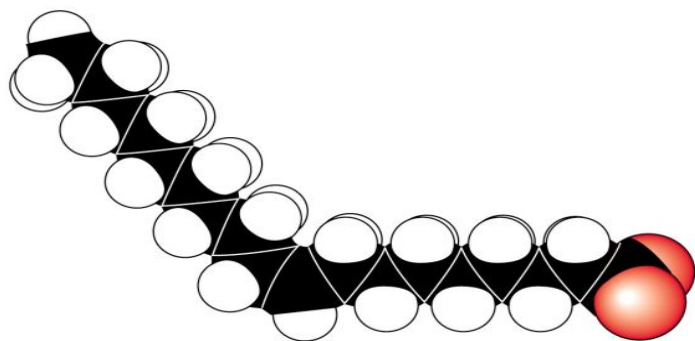
# Структура ВЖК (по Н. Lodish et al., 2004, с изменениями).



**Пальмитиновая кислота**

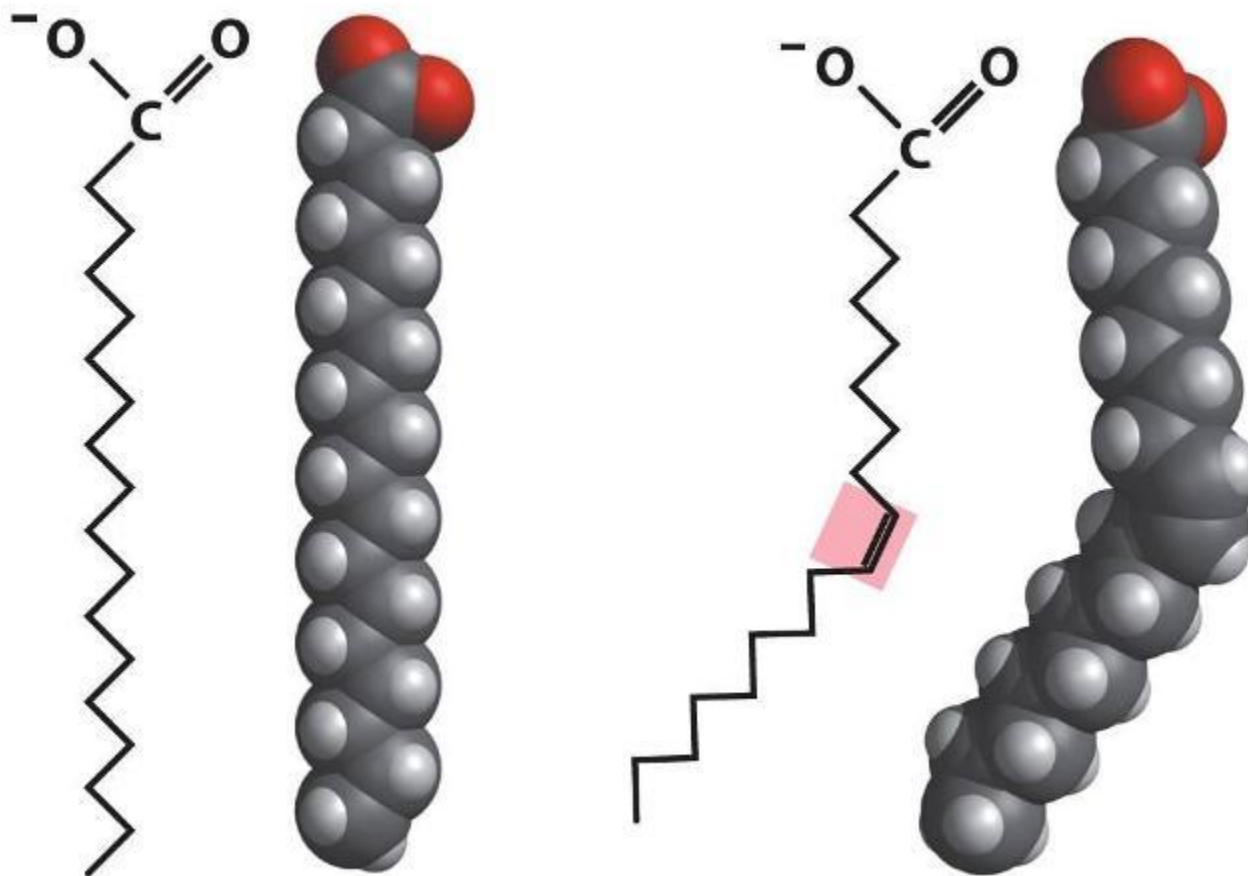


**Линоленовая кислота**



**Олеиновая кислота**

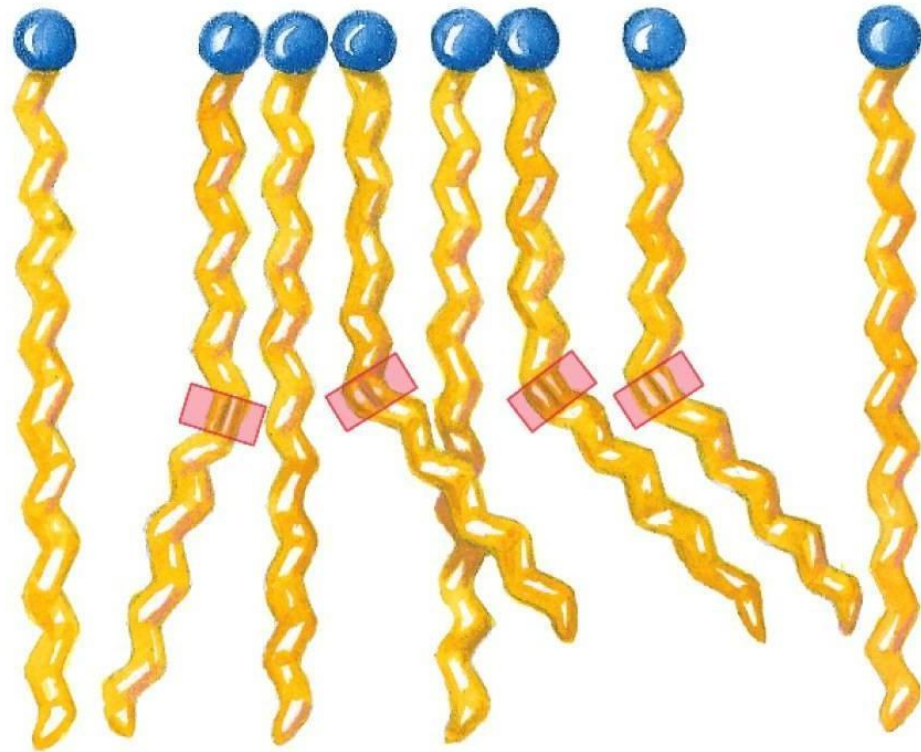
# Высшие жирные кислоты



# Насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты



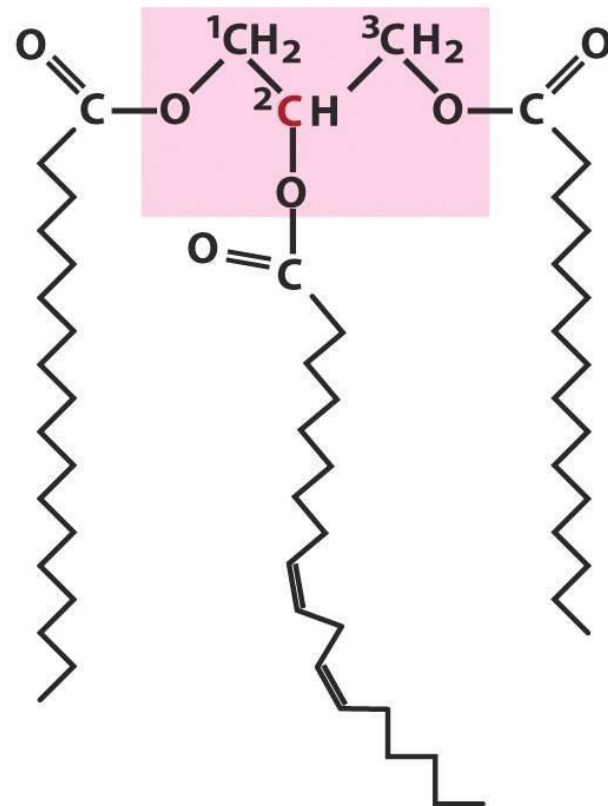
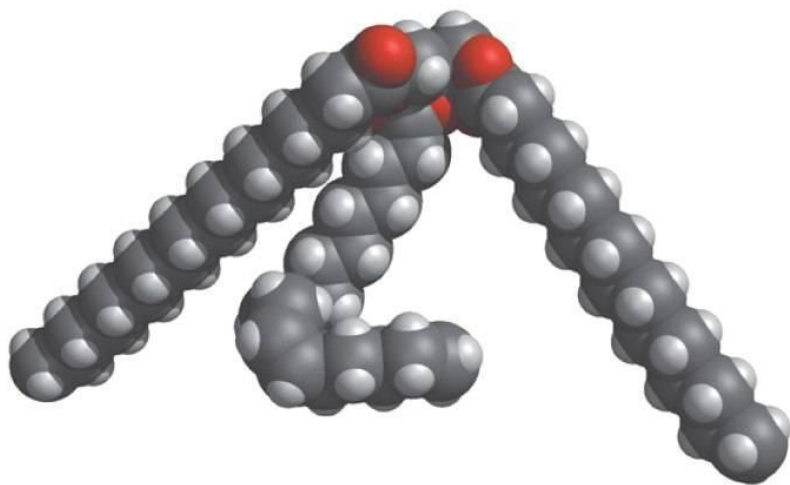
Насыщенные  
жирные кислоты



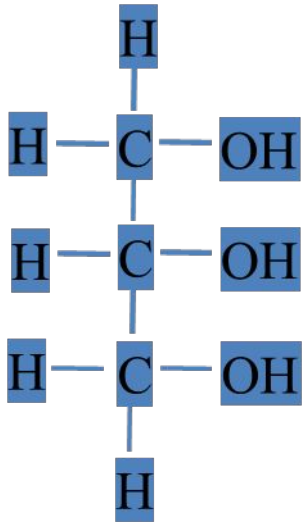
Комбинация насыщенных и  
ненасыщенных жирных кислот



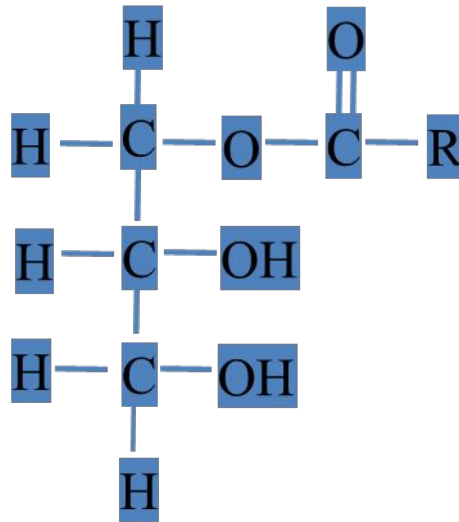
# Триацилглицеролы



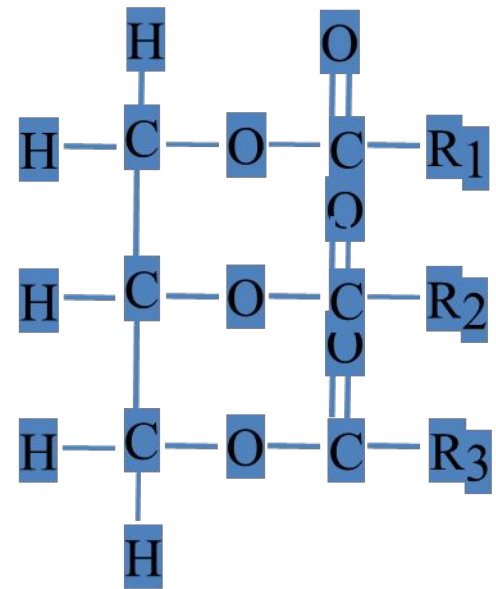
# Нейтральные липиды



Глицерол

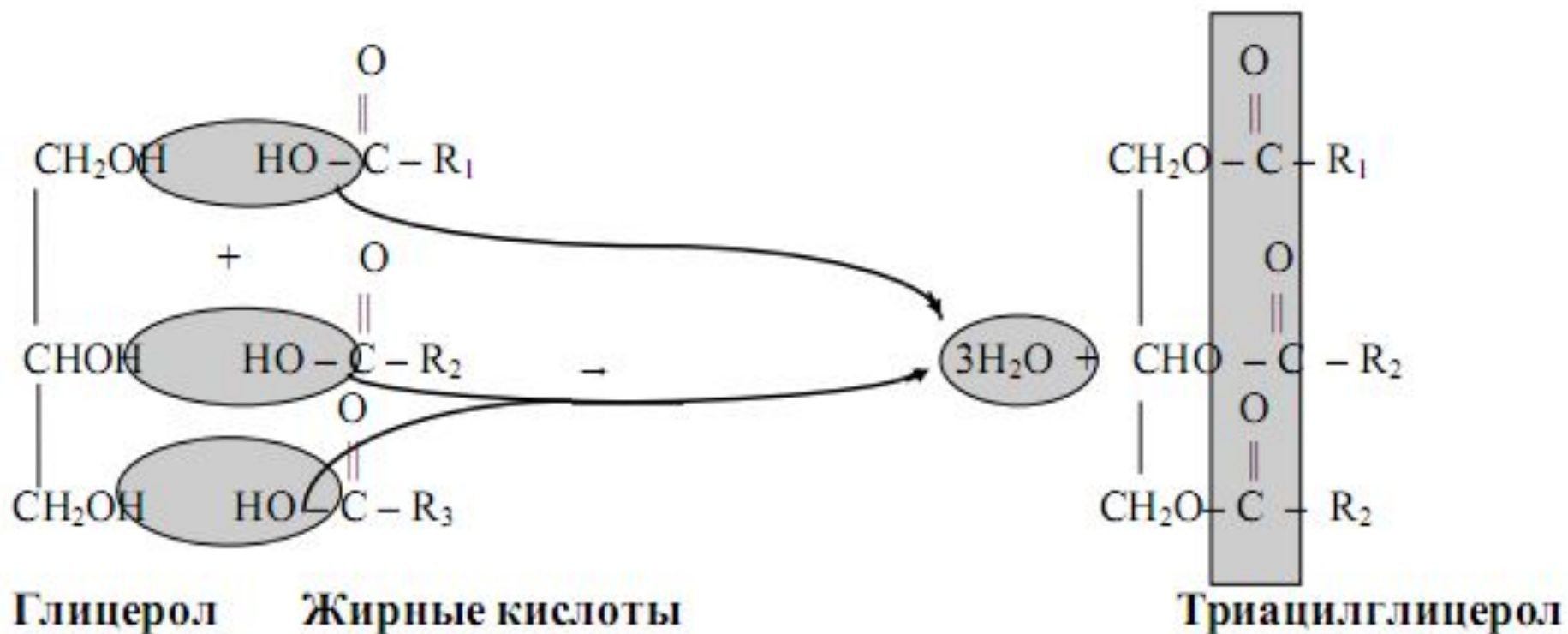


1-моноацилглицерин



Триаилглицерин

Ацилглицерины составляют главный компонент жиров, запасаемых в растительных и животных клетках. В зависимости от входящих ЖК – масло или жир.



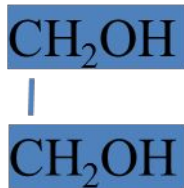
Для характеристики триацилглицеролов используют 3 жирных числа - кислотное, йодное и число омыления.

1. Кислотное число - количество КОН (мг), необходимое для нейтрализации свободных жирных кислот, содержащихся в 1 г жира.

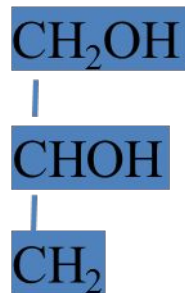
2. Йодное число - количество йода (г), связанного 100 г жира. Присоединение J происходит по месту двойных связей в ненасыщенных жирных кислотах. Это число характеризует содержание ненасыщенных жирных кислот в жирах.

3. Число омыления - это количество КОН (мг), необходимого для нейтрализации всех жирных кислот, входящих в состав 1 г нейтральных жиров.

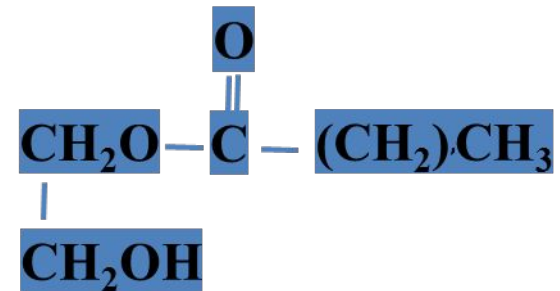
# Нейтральные диольные липиды



Этандиол  
(этиленгликоль)

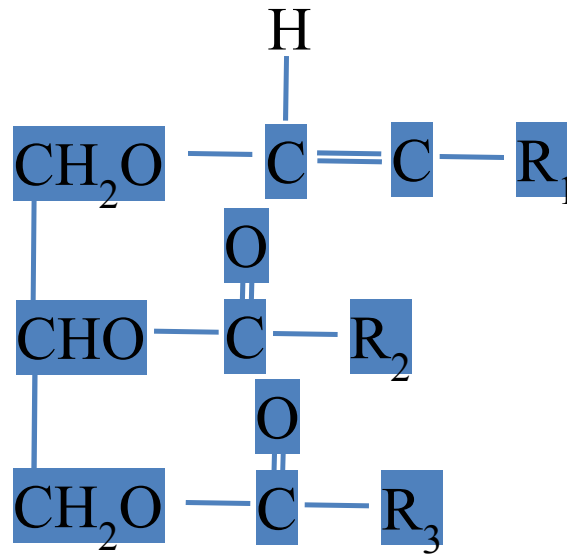


1,2-пропандиол



Моноолеатэтиленгликоля

# Нейтральные плазмалогены



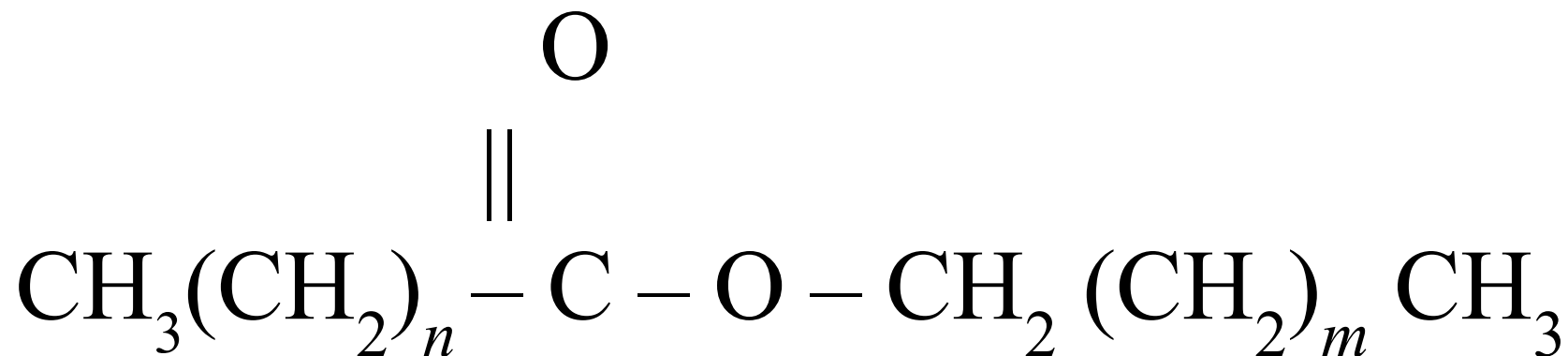
Плазмоген

(R<sub>1</sub> – ненасыщенный алифатический спирт, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> – жирные кислоты)

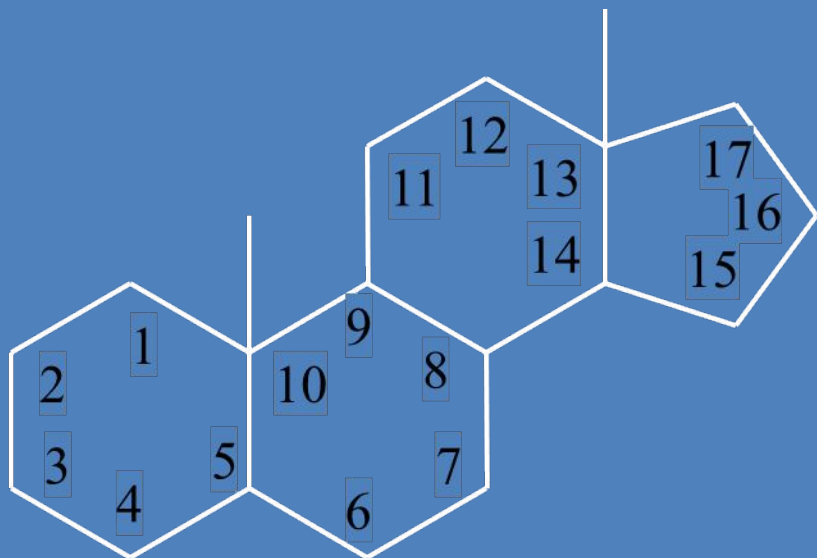
Содержатся в молочном жире, в желтке яйца, в головном и спинном мозге, сердце млекопитающих.

# Воска

Воска образуют защитную смазку на коже, шерсти и перьях, покрывают листья и плоды высших растений, а также кутикулу наружного скелета у многих насекомых.

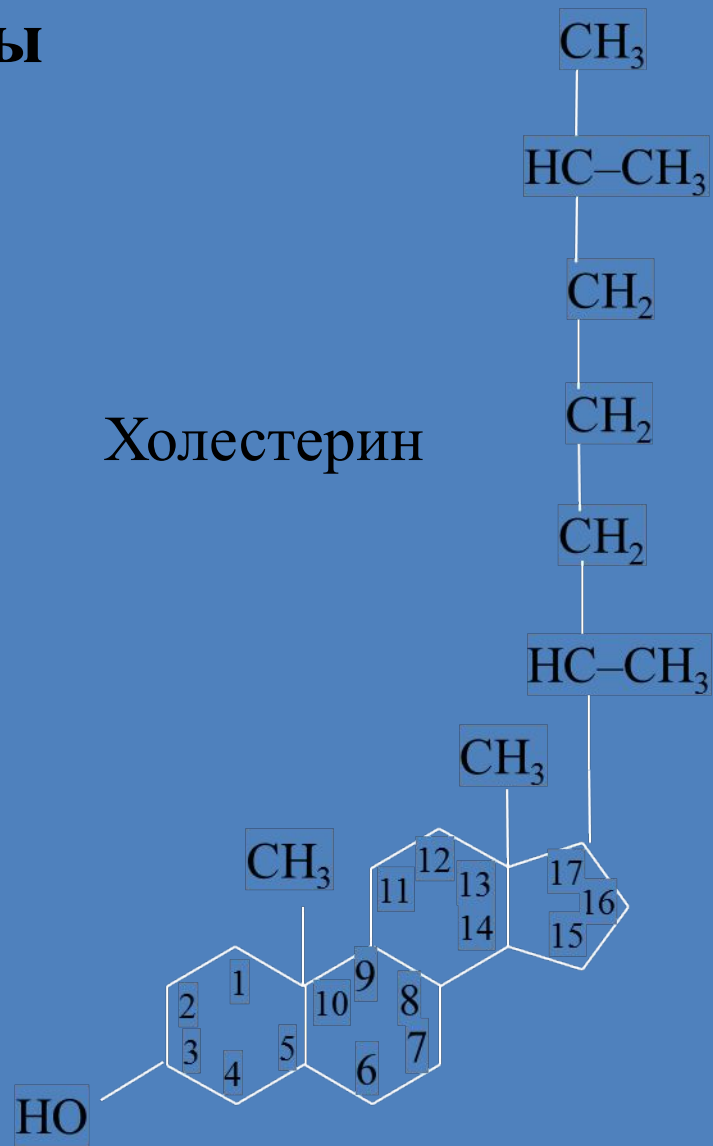


# Стероиды



Циклопентапергидрофенантрен

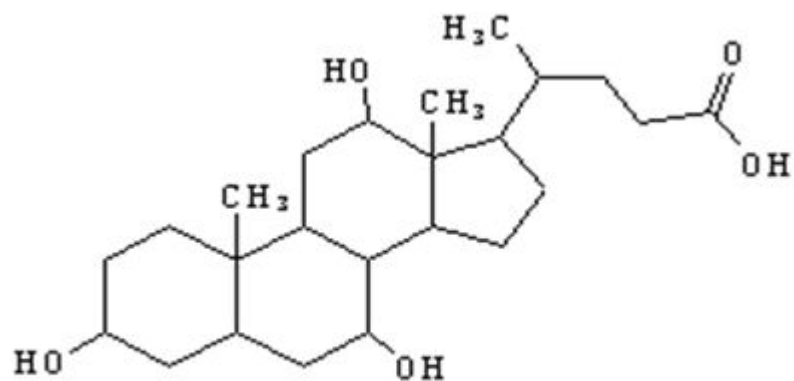
Холестерин



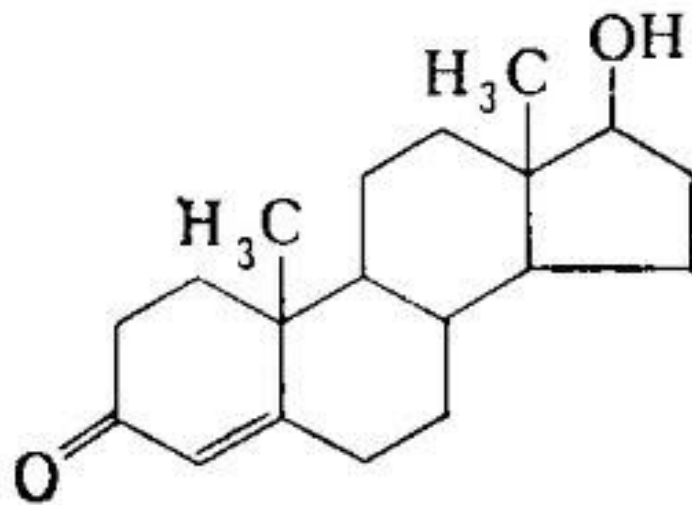


## Стероиды

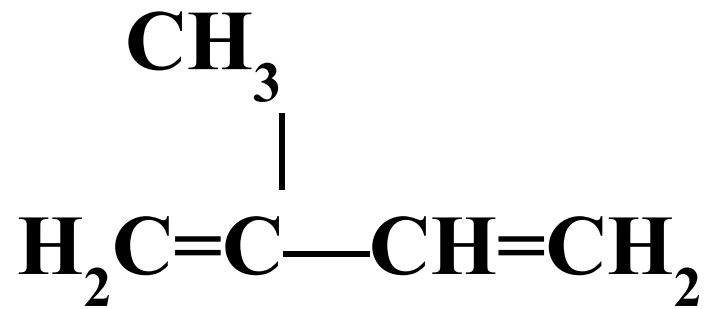
Холевая кислота –  
желчная кислота



Тестостерон –  
мужской половой  
гормон



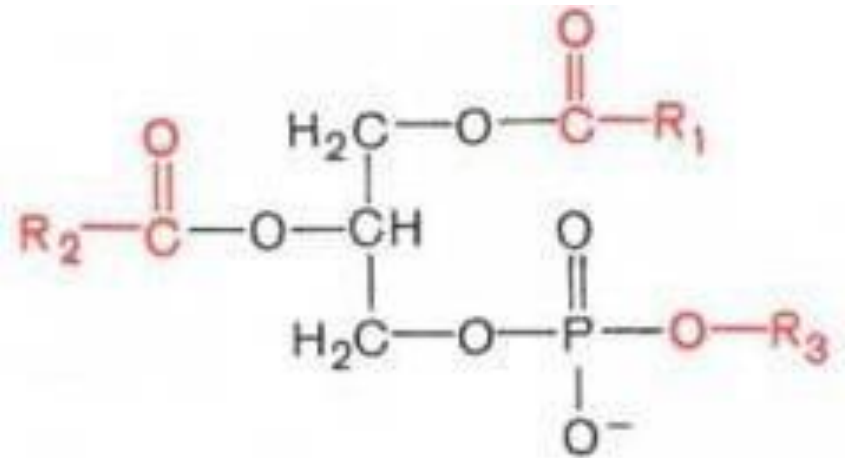
# Терпены



Изопрен

## Сложные липиды

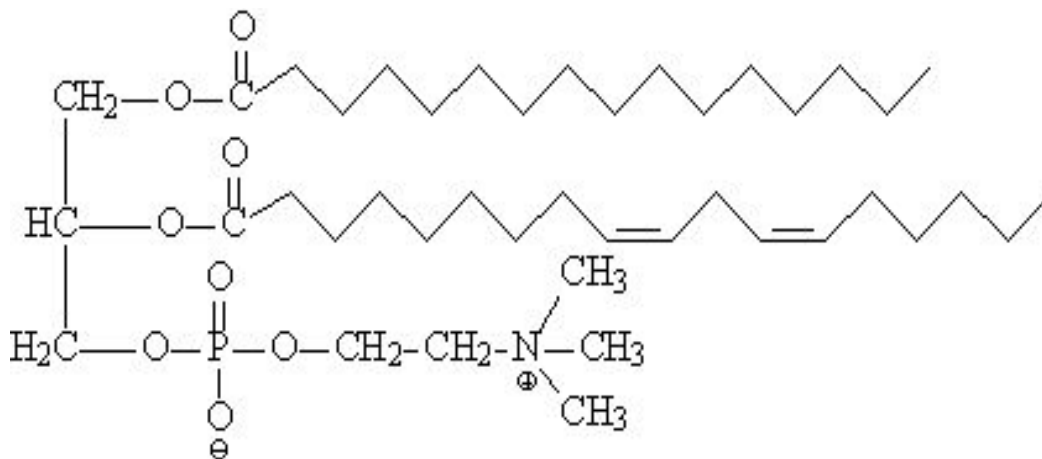
Глицерофосфолипиды в качестве структурной основы содержат трехатомный спирт глицерол. При гидролизе глицерофосфолипидов кроме спирта глицерола обнаруживают две жирные кислоты, фосфорную кислоту и различные заместители



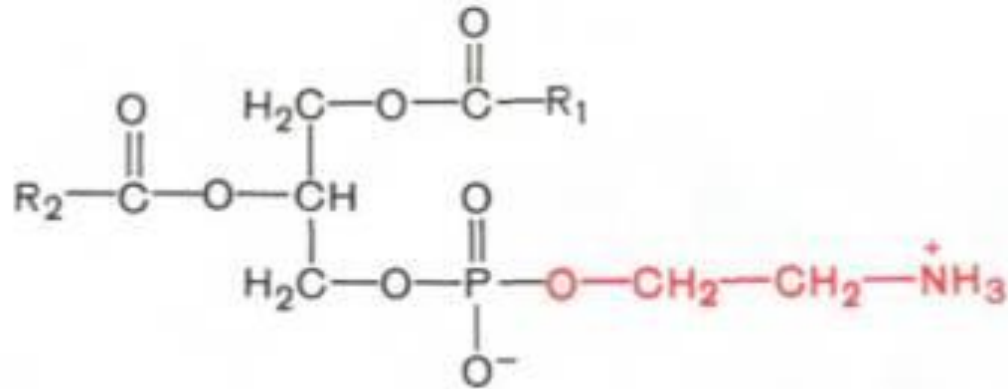
Глицерофосфолипид

# Фосфатидилхолин

Фосфатидилхолин (лецитин) в своем составе содержит аминокспирт холин. Фосфатидилхолины широко распространены в клетках, особенно их много в мозговой ткани человека и животных, в растениях они встречаются в соевых бобах, зародышах пшеницы, семенах подсолнечника.



# Фосфатидилэтаноламин

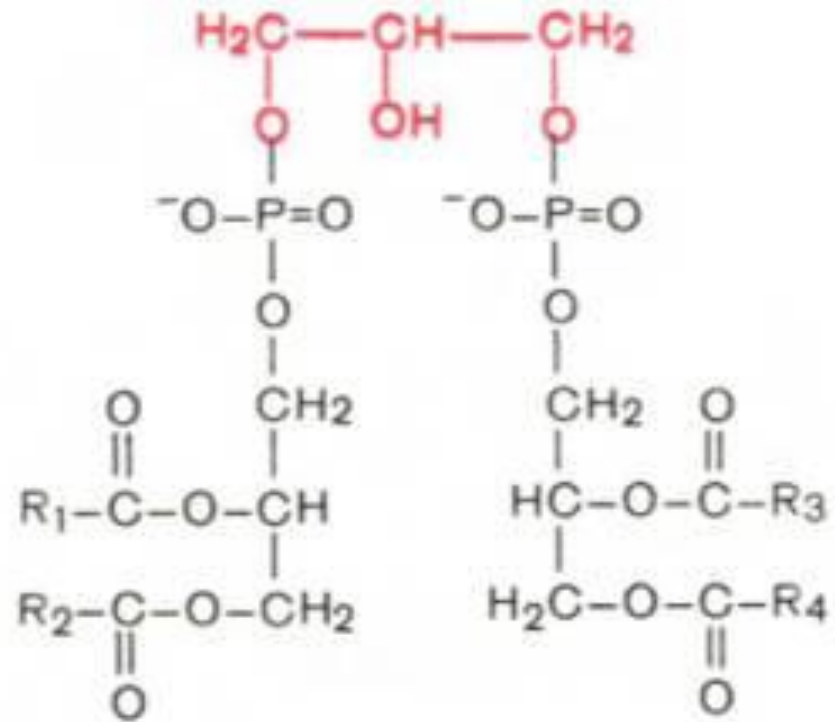


Фосфатидилэтаноламин

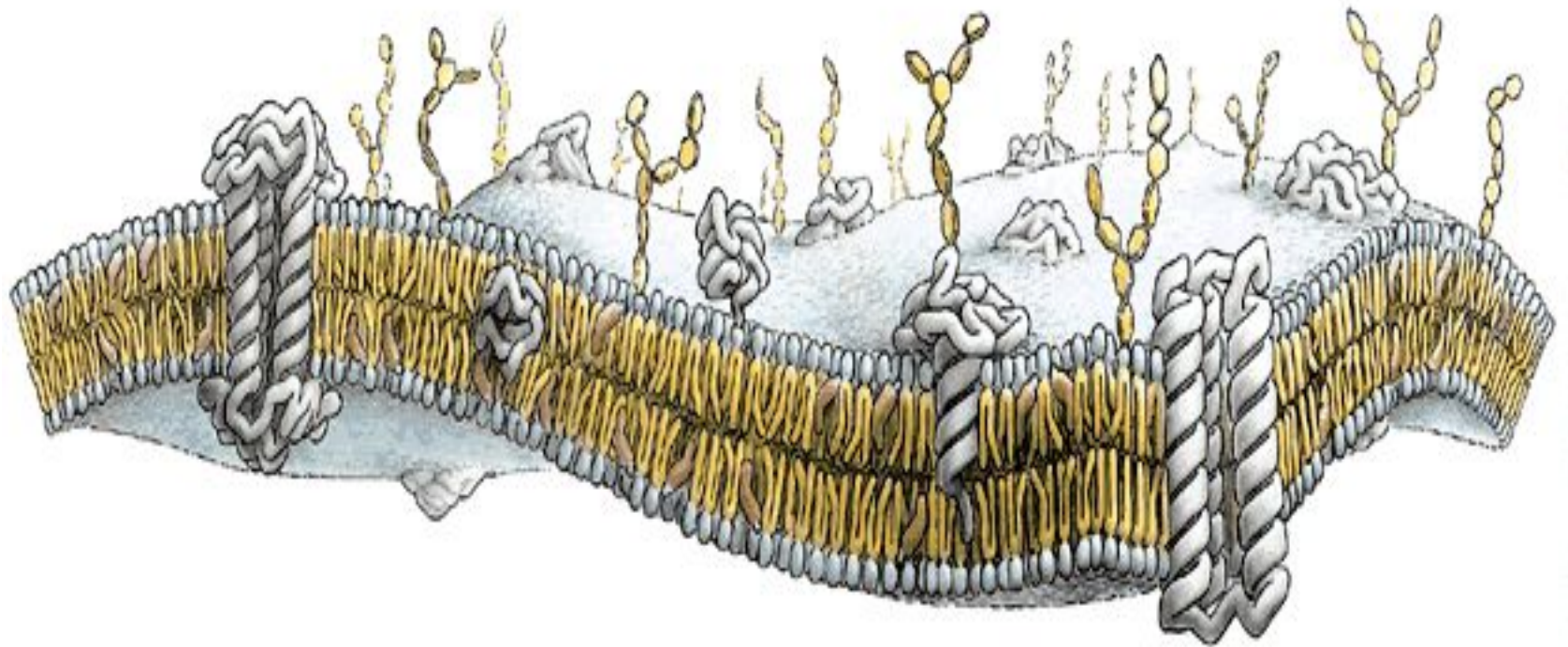
Фосфатидилэтаноламин (кефалин) содержит этаноламин, который присоединяется к остатку фосфорной кислоты эфирной связью. Фосфатидилэтаноламины, так же как и фосфатидилхолины, являются главными липидными компонентами, формирующими билипидный матрикс биологических мембран.

# Кардиолипин

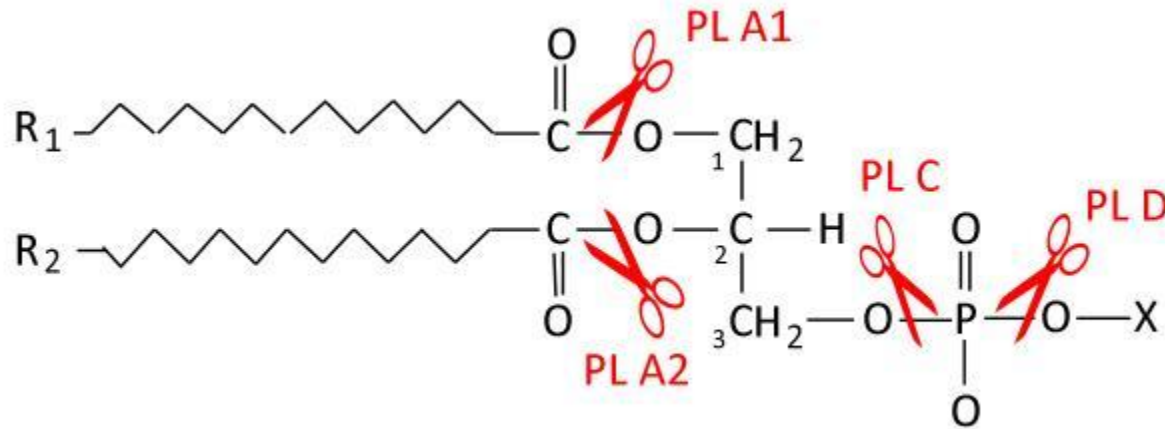
Кардиолипины можно рассматривать как производное фосфатидилглицеролов, у которых 3-гидроксигруппа второго остатка молекулы глицерола этерифицирована молекулой фосфатидной кислоты.



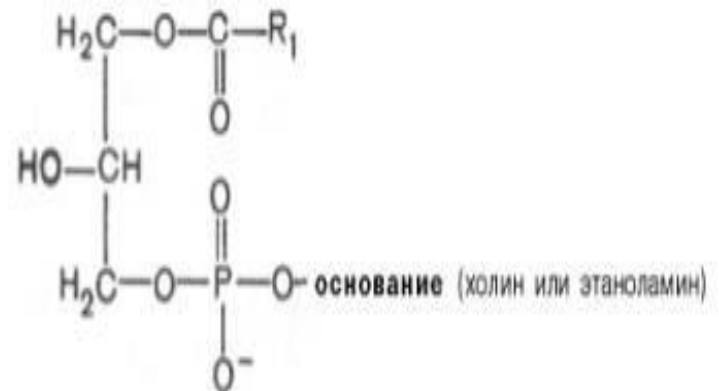
# Плазматическая мембрана



# Образование



Под действием фосфолипазы A2  
глицерофосфолипиды теряют остаток  
жирной кислоты у второго атома  
углерода спирта глицерола  
с образованием лизофосфолипида.



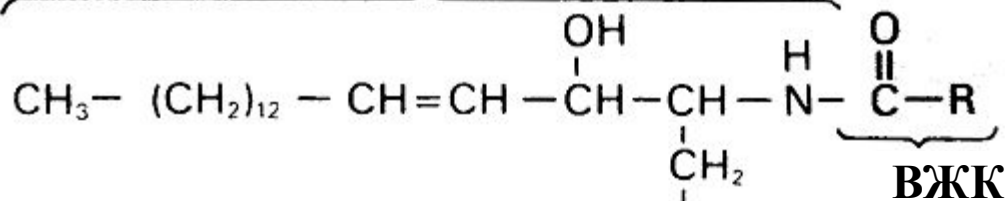
Лизофосфатидилхолин или лизофосфатидилэтанолламин



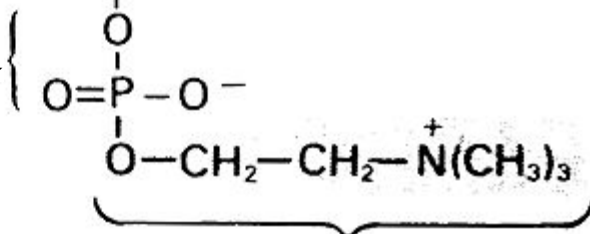
Сфинголипиды (много в нервной ткани, особенно в мозге) не содержат глицерина, в их молекуле имеются 2 длинные углеводородные цепи, одна из которых - остаток жирной кислоты, другая – остаток сфингозина, кроме того в молекуле имеется фосфорная кислота и азотистое основание (холин, этаноламин и др.). Сфинголипид, имеющий в своем составе холин, называется сфингомиелином.

### Церамид

#### Сфингозин



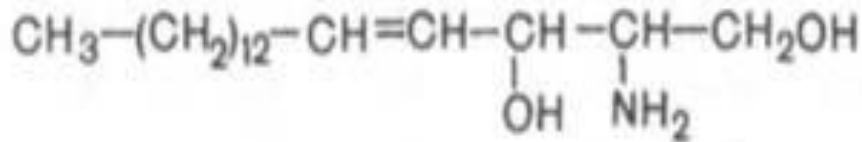
Фосфорная кислота



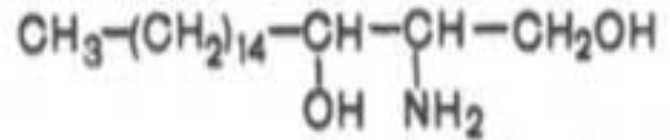
Холин

## Сфингозин

Сфинголипиды являются производными 18-атомного, ненасыщенного дигидроксиаминоспирта – сфингозина или его насыщенного аналога – дигидросфингозина.



Сфингозин



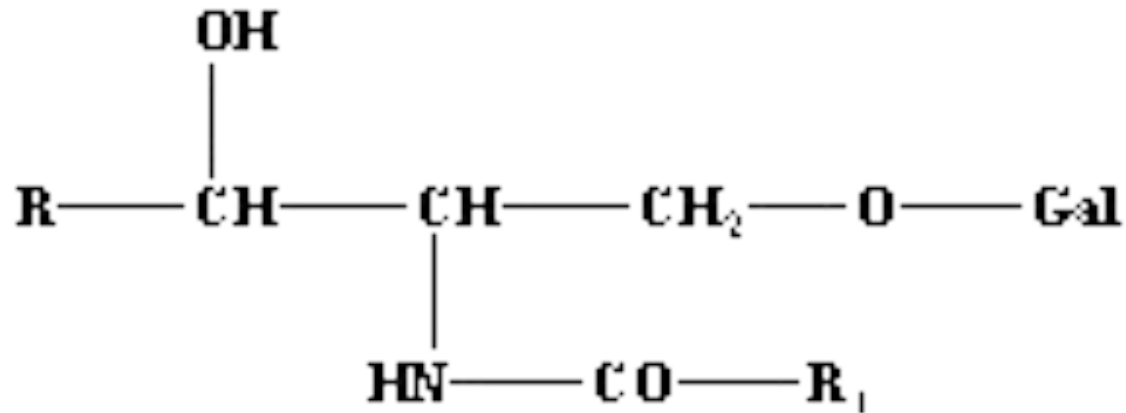
Дигидросфингозин

# Сфингомиелины



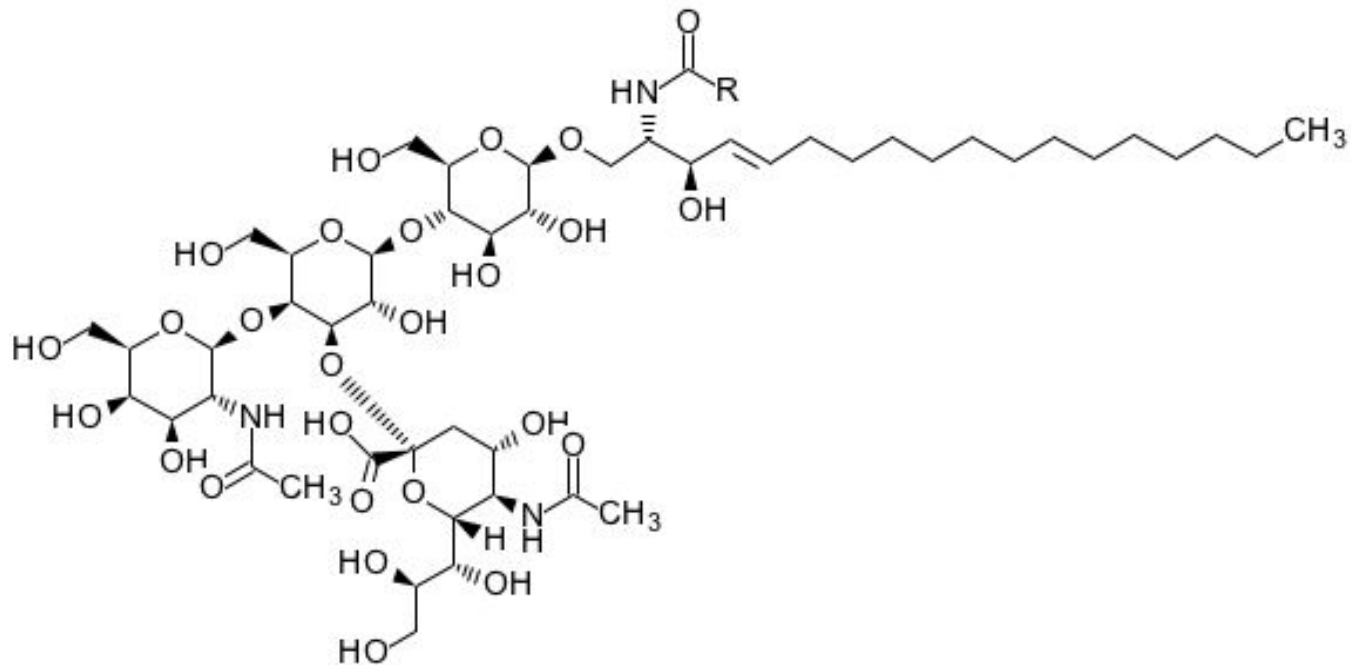
Это наиболее распространенные сфинголипиды. В основном они находятся в мембранах животных и растительных клеток. Особенно богата ими нервная ткань. Сфингомиелины обнаружены также в ткани почек, печени и других органов.

# Церамиды



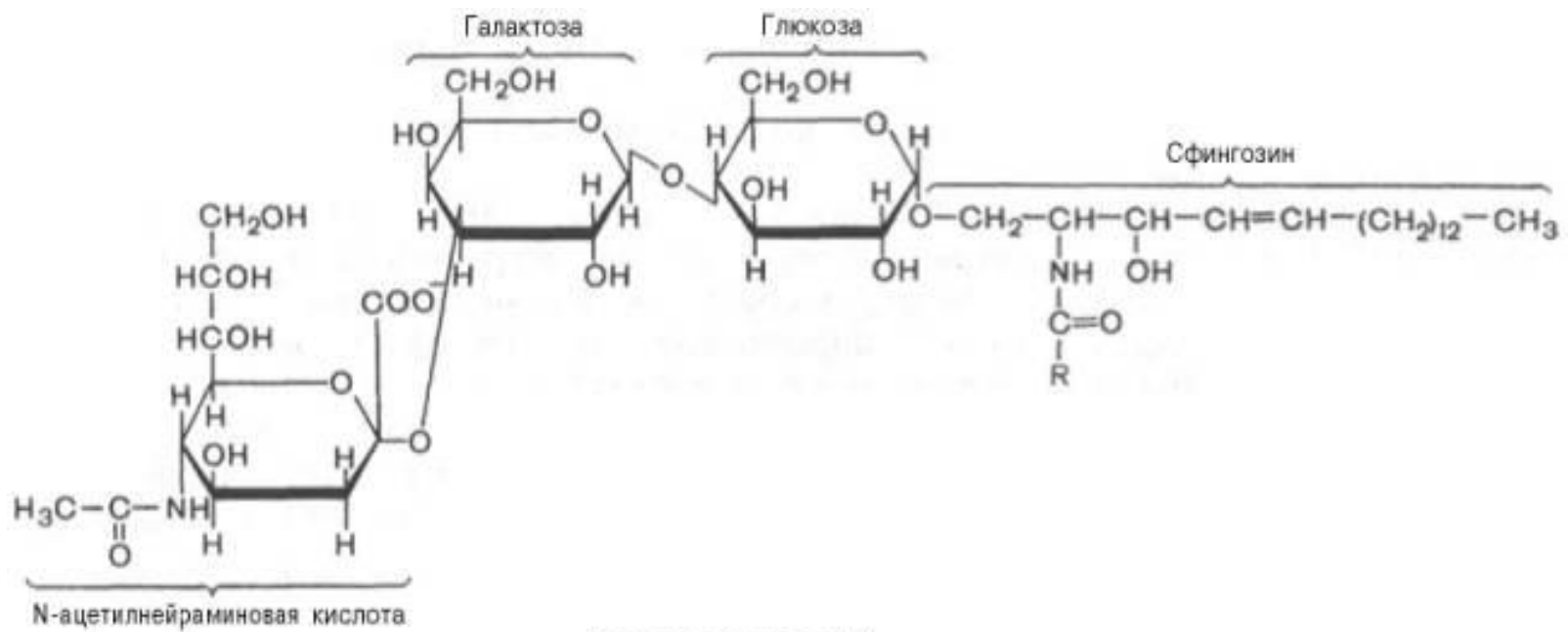
Гликолипиды – ещё одна большая и разнообразная группа сложных липидов, основу которых составляют церамиды, где водород их гидроксильной группы замещен на разные углеводные фрагменты. Если углеводный компонент представлен галактозой, то церамид будет называться цереброзидом.

# Ганглиозид Gm2



Наиболее сложные по составу липиды – это ганглиозиды. В их состав кроме нескольких углеводных остатков входит N-ацетилнейраминная кислота.

# Гематозид (ганглиозид)



Гематозид (ганглиозид)