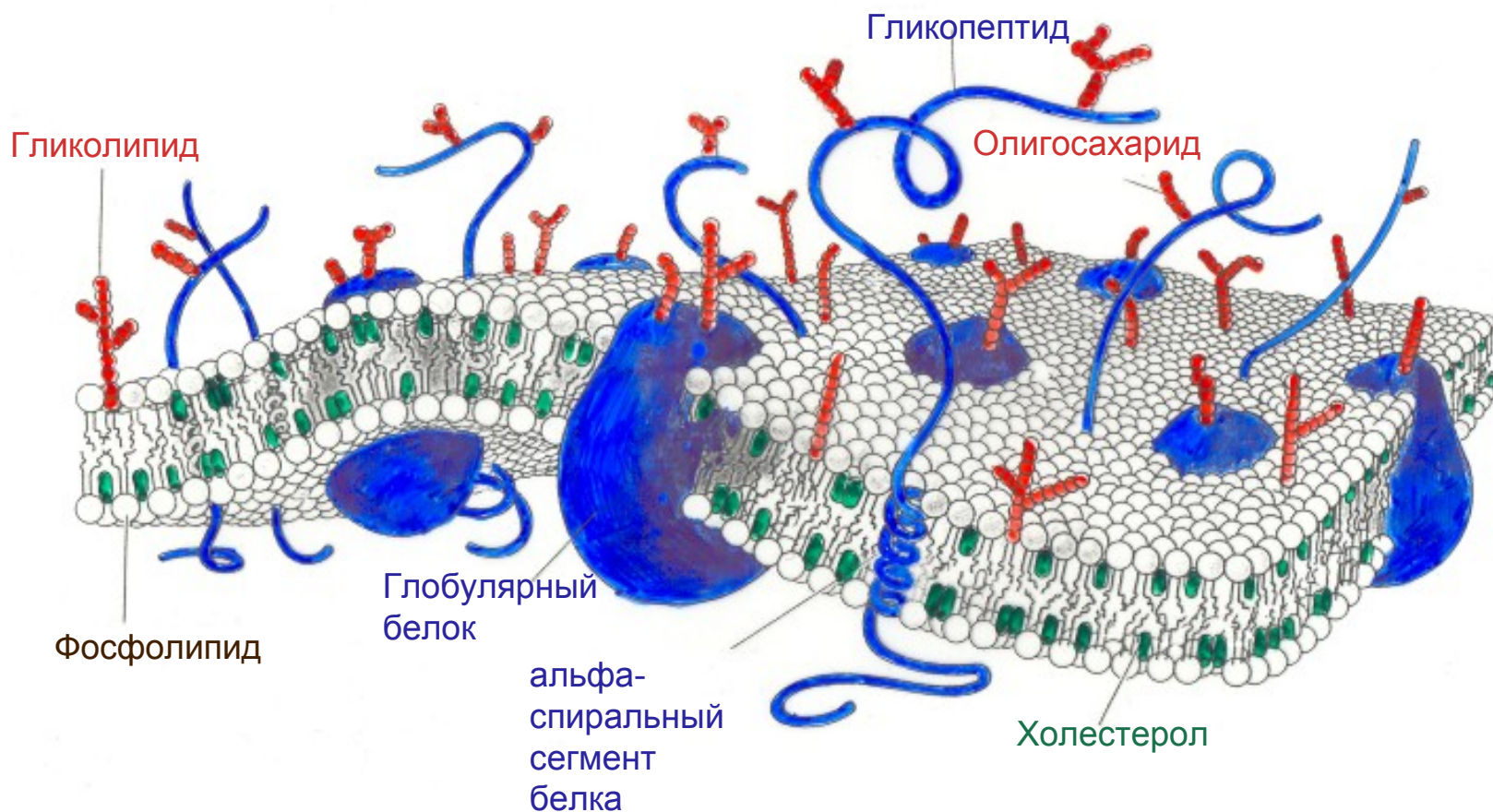


# Строение и функции клеточных мембран

Модель строения плазматической мембраны эритроцита



## Доля мембран каждого типа в общей массе мембран клетки, %

Тип мембраны	Кишечная палочка	Зрелый эритроцит	Гепатоцит	Экзокрин. клетка поджел. железы
Плазматическая мембрана	100	100	2	5
Мембраны шероховатой ЭПС	-	-	35	60
- « - гладкой ЭПС	-	-	16	0,3
- « - аппарата Гольджи	-	-	7	10
Митохондрии:				
наружная мембрана	-	-	7	4
внутренняя мембрана	-	-	32	17
Ядерные мембраны	-	-	0,2	0,7
Мембраны лизосом, пероксисом, секреторных пузырьков	-	-	0,8	3

## Содержание (по массе, % ) белков и жирорастворимых соединений в различных мембранах

	Бел- ки	Жирораств. соедине- ния	Отношение белок/ж.-р.с.
Бактерии	76	24	3,1
Эритроциты	60	40	1,5
Митохондрии			
Внутренняя мембрана	75	25	3,0
Внешняя мембрана	6	94	0,06
Плазматическая мемб- рана Швановских клеток	20	80	0,25

В состав мембран входят  
**белки**, в том числе гликопептиды,  
**липиды**, в том числе гликолипиды,  
и некоторые другие **жирорастворимые соединения**:

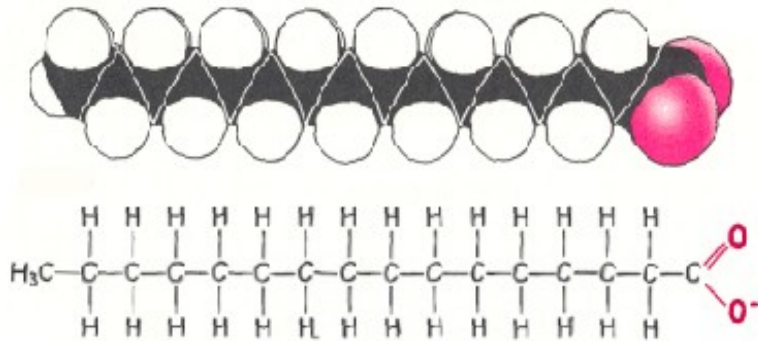
Липиды - жирные кислоты (простые липиды)  
и их производные (сложные липиды)

Производные изопрена

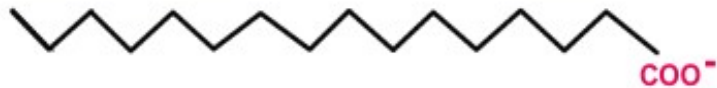
Жирорастворимые соединения в составе мембран являются амфипатическими молекулами.

Жирные кислоты у эубактерий и эукариот - всегда линейные молекулы, различной длины, насыщенные или ненасыщенные (с разным числом двойных связей), .

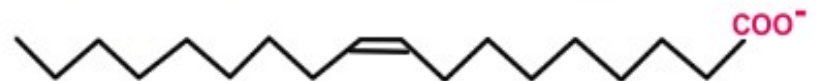
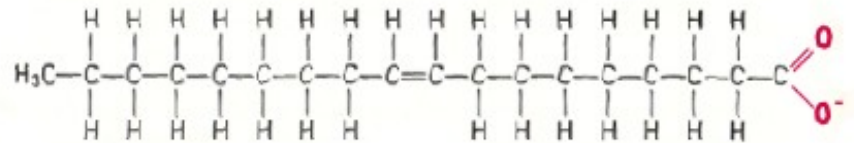
### Насыщенные



Пальмитиновая кислота



### Ненасыщенные



### Насыщенные жирные кислоты:

<i>Лауриновая</i>	$C_{12}$
<i>Миристиновая</i>	$C_{14}$
<i>Пальмитиновая</i>	$C_{16}$
<i>Стеариновая</i>	$C_{18}$

### Ненасыщенные жирные кислоты:

#### Моноеновые:

<i>Пальмито-олеиновая</i>	$C_{16}$	$CH_3 - (CH_2)_5 - CH = CH - (CH_2)_7 COOH$
<i>Олеиновая</i>	$C_{18}$	$CH_3 - (CH_2)_7 - CH = CH - (CH_2)_7 COOH,$ или (18:1n-9)



#### Диеновые:

<i>Линолевая</i>	$C_{18}$	(18:2n-9)
------------------	----------	-----------

A red zigzag line representing the hydrocarbon chain of linoleic acid. It starts with a methyl group on the left and ends with a carboxyl group (COOH) on the right. There are two double bonds located at the 9th and 12th carbons from the methyl end.

#### Триеновые:

<i>Линоленовая</i>	$C_{18}$	(18:3n-9)
--------------------	----------	-----------

#### Тетраеновые:

<i>Арахидоновая</i>	$C_{20}$	(20:4n-5)
---------------------	----------	-----------

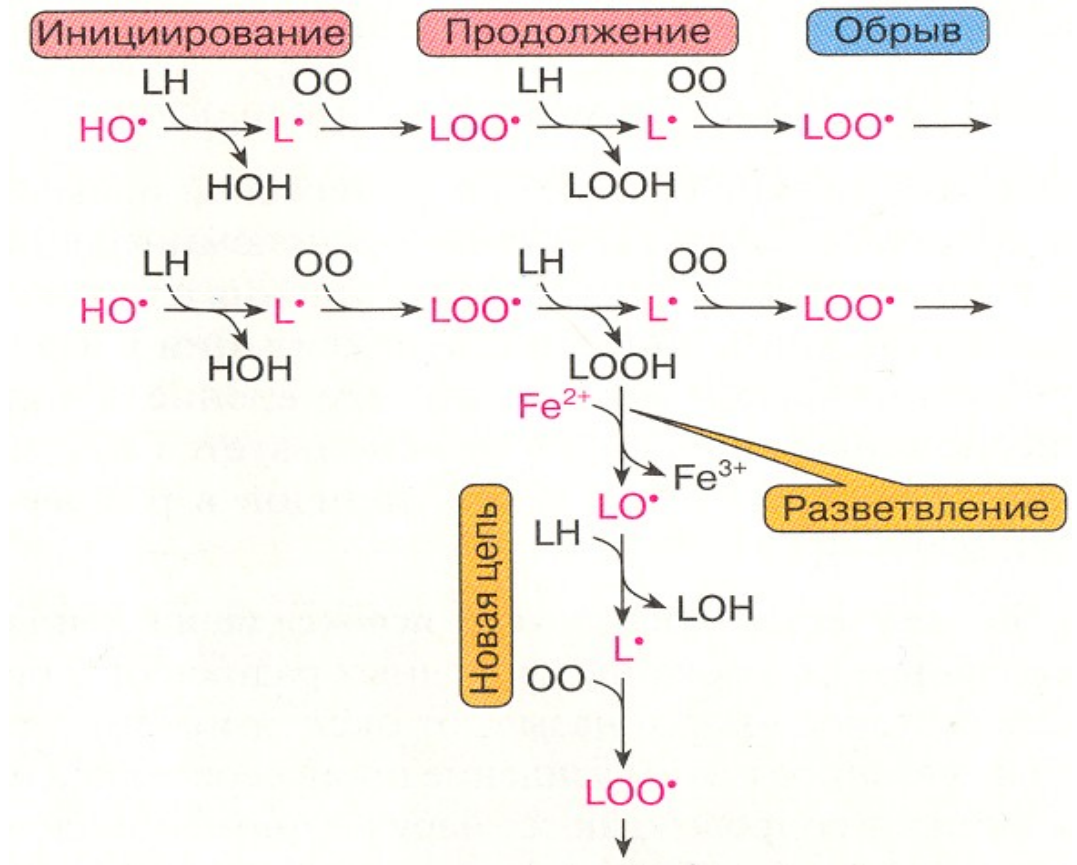
#### Пентаеновые:

<i>Эйкозопентаеновая</i>	$C_{20}$	(20:5n-5)
--------------------------	----------	-----------

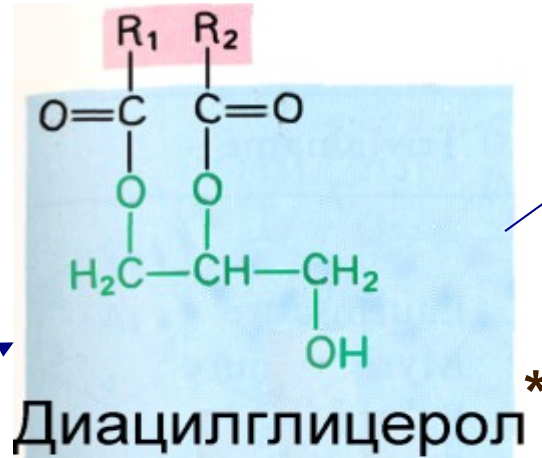
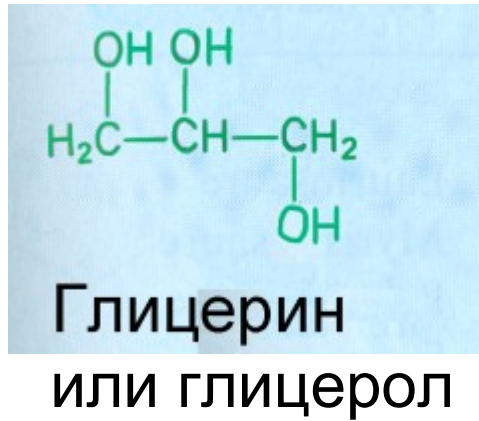


Ненасыщенные жирные кислоты могут окисляться под действием активных радикалов, например, кислорода или гидроксила, после этого начинается цепь реакций окисления (**перекисное окисление липидов**). Цепь может оборваться, а в присутствии двухвалентных катионов — разветвиться. Начинается каскад реакций окисления.

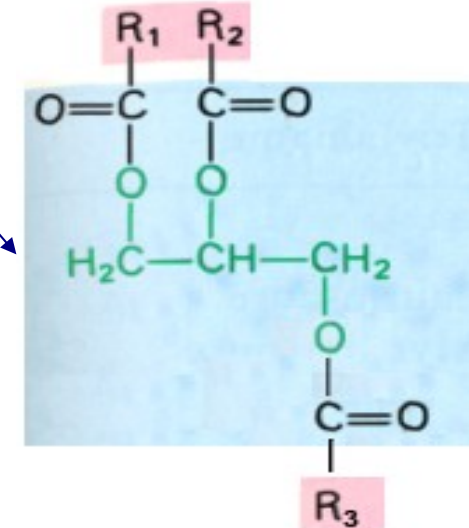
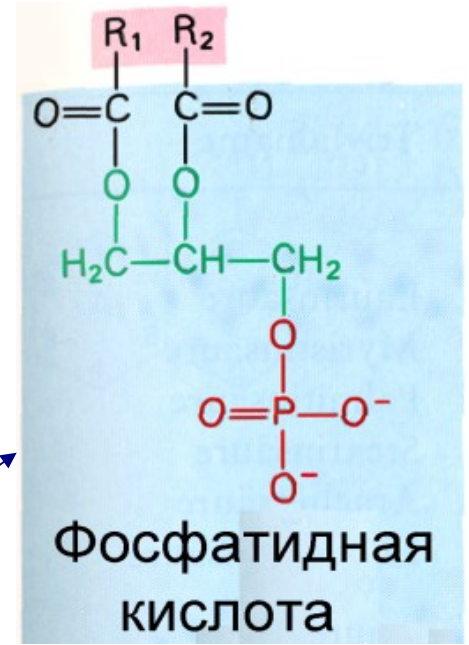
В этом случае мембрана повреждается.



Основным компонентом клеточных мембран являются сложные липиды-**глицеролипиды**, большинство из них содержат фосфатную группу, это - **фосфоглицеролипиды**

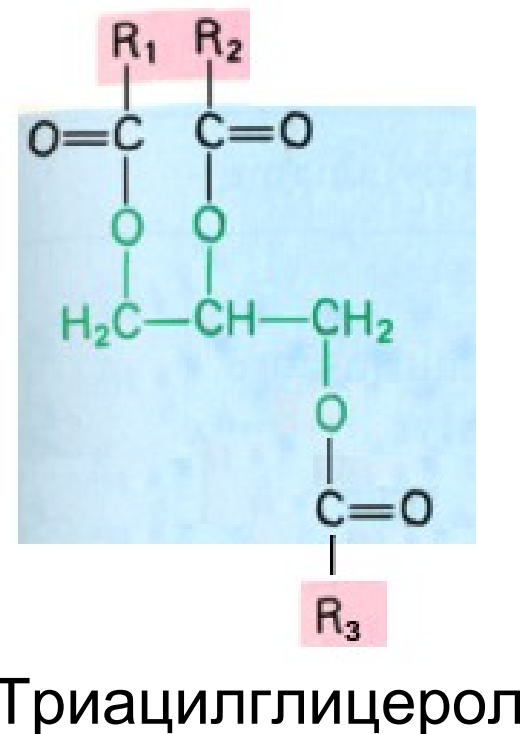
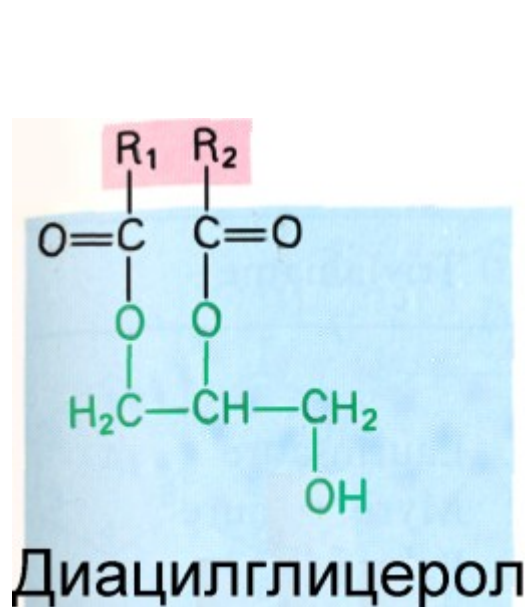


\* ацил — жирная кислота





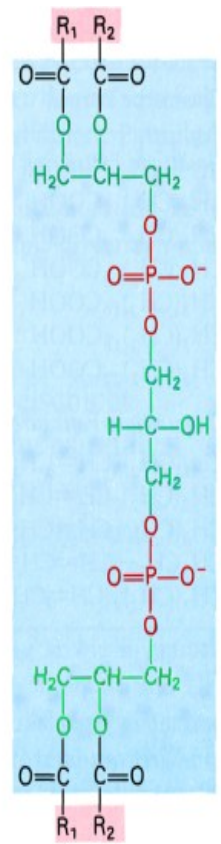
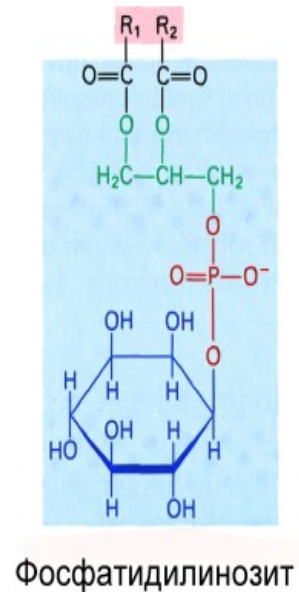
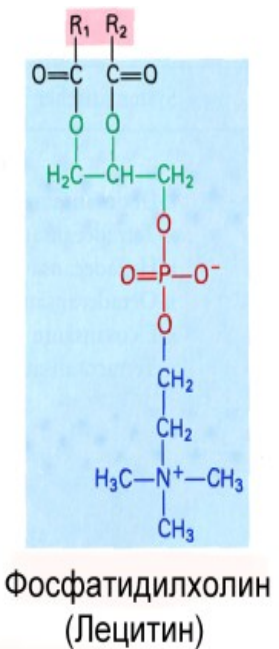
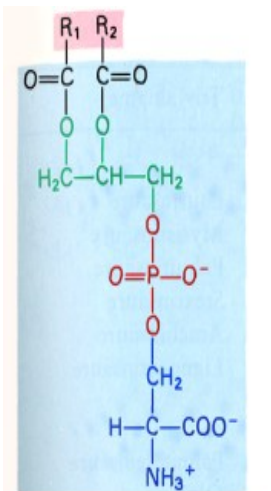
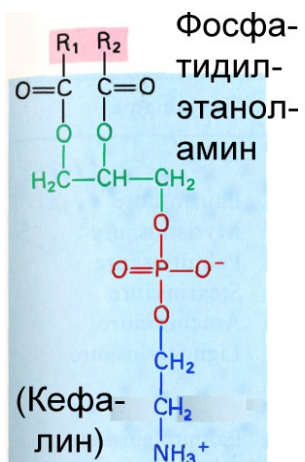
- Триацилглицеролы являются **запасными веществами**. У животных они содержат в основном насыщенные жирные кислоты (их называют жирами), у растений преобладают ненасыщенные (это масла).



Диацилглицеролы входят в состав мембран или самостоятельно, или служат основой для более сложных липидов.

В состав многих глицеролипидов входят аминокспирты. Они присоединяются к фосфатной группе.

К фосфату могут присоединяться и другие группы



## Сложные липиды-глицеролипиды

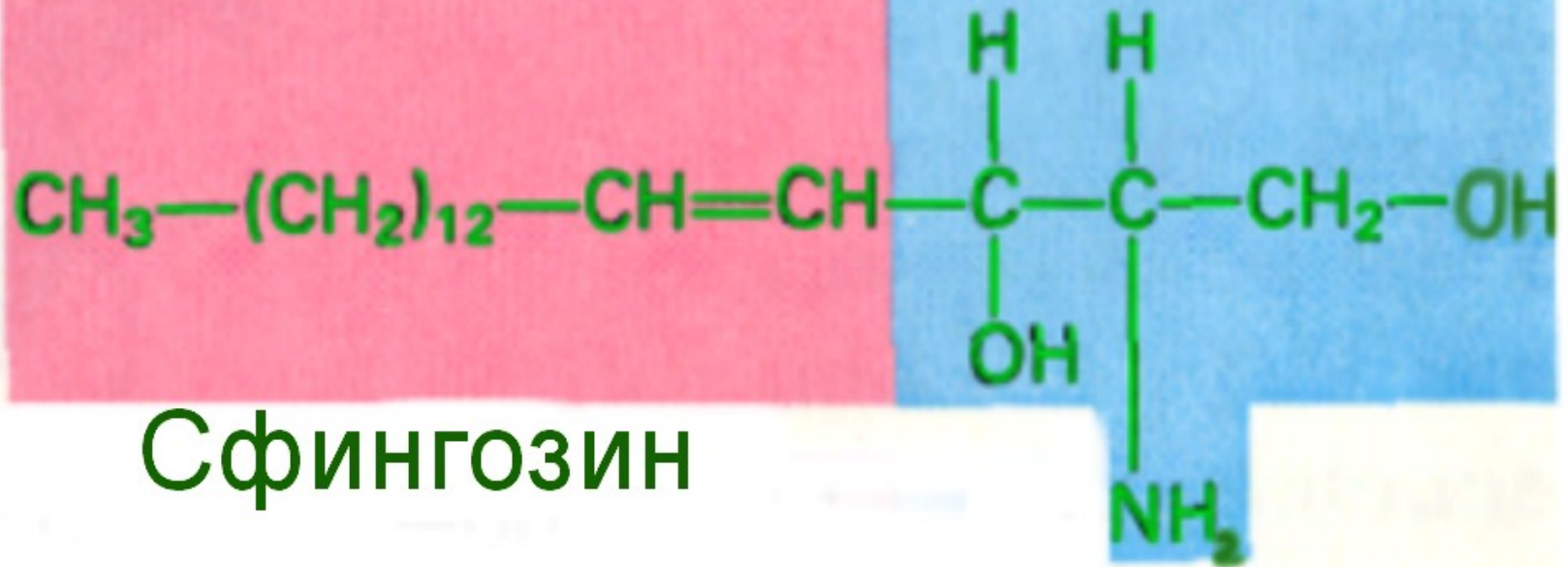
Глицерол + 2 жирных кислоты = диацилглицерол

Диацилглицерол + фосфатная группа = фосфатидная кислота

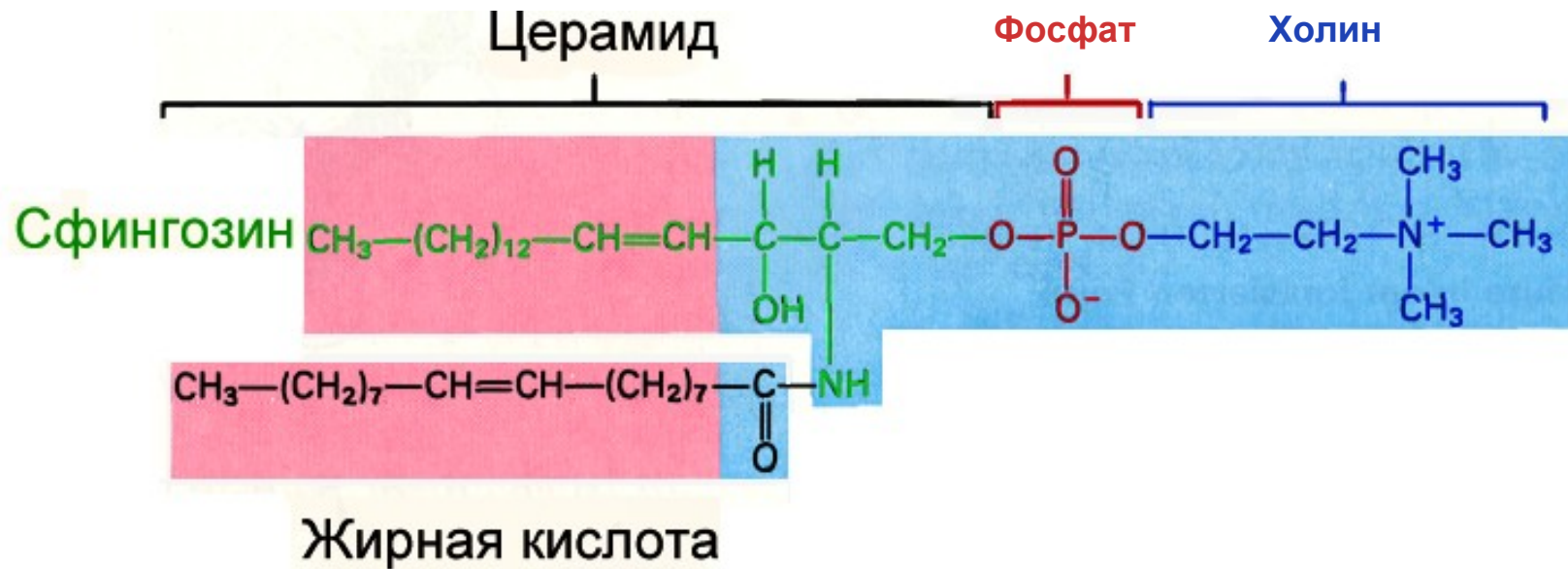
Фосфатидная кислота x 2	+ Глицерол	→	Кардиолипин
	+ Этаноламин	→	Фосфатидил-этаноламин (Кефалин)
	+ Холин	→	Фосфатидилхолин (Лецитин)
	+ Серин	→	Фосфатидилсерин
	+ Инозитол	→	Фосфатидилинозит

## Сложные липиды — сфинголипиды.

Так же как глицерол является основой глицеролипидов, основой сфинголипидов является аминоспирт сфингозин.



Некоторые сфинголипиды похожи на фосфоглицеролипиды, у которых моноацилглицерол заменен на сфингозин.



Сфингомиелин

Другие сфинголипиды содержат в своем составе сахара, т. е. являются гликолипидами.

Сфингозин + Жирная кислота = Церамид

Церамид + Фосфатная группа + Холин  $\longrightarrow$  Сфингомиелин

Гликолипиды

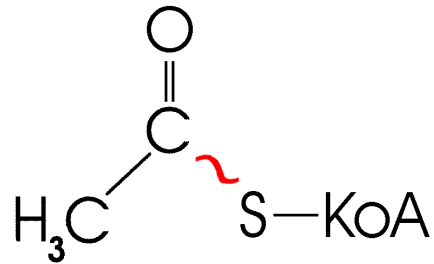
+ Галактоза (глюкоза)  $\longrightarrow$  Цереброзид

+ Олигосахарид  $\longrightarrow$  Ганглиозид

+ Гал SO<sub>3</sub>H (Глю SO<sub>3</sub>H)  $\longrightarrow$  Сульфоллипид

## Производные изопрена в составе мембран

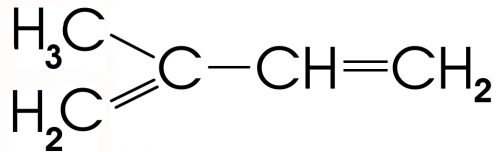
Ацетил-коэнзим А



3 молекулы

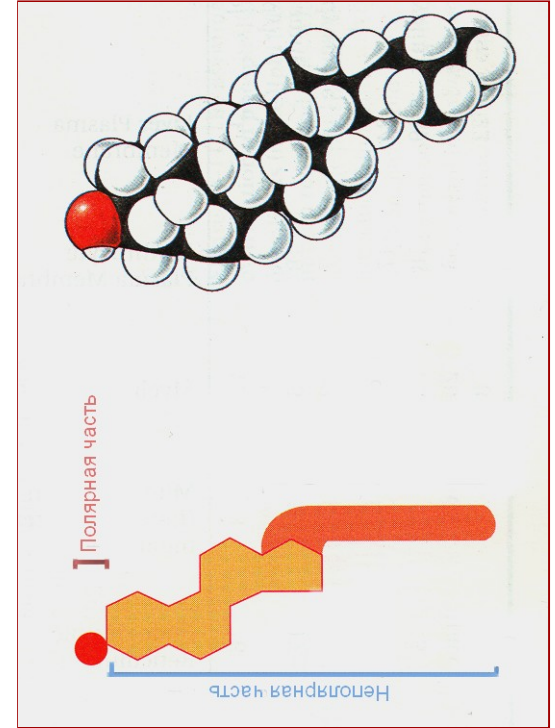
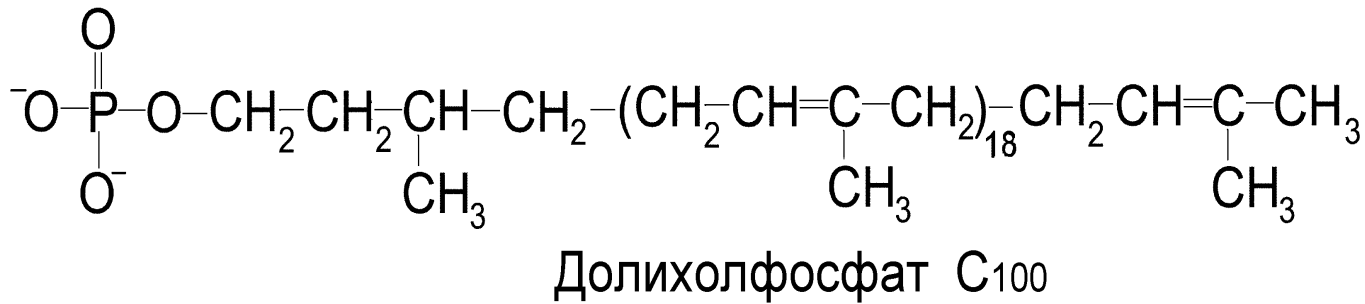
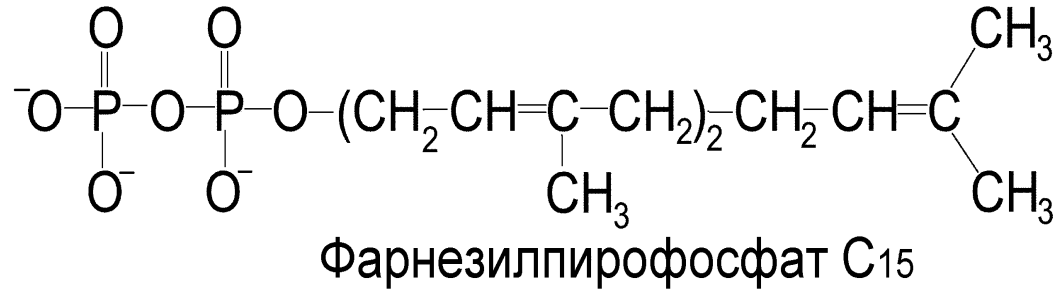
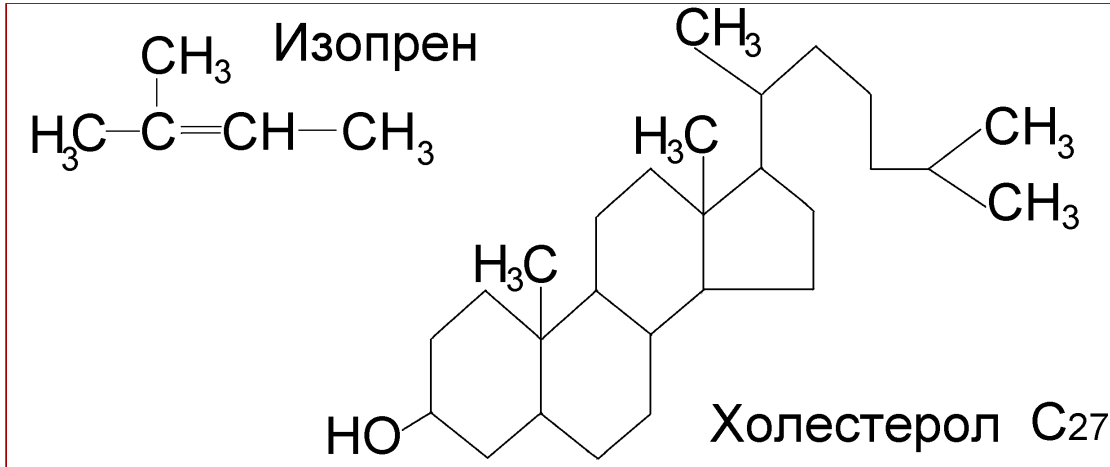
Мевалоновая  
кислота

Активный  
изопрен



Изопрен

# Производные изопрена





## Состав липидов в различных мембранах, %

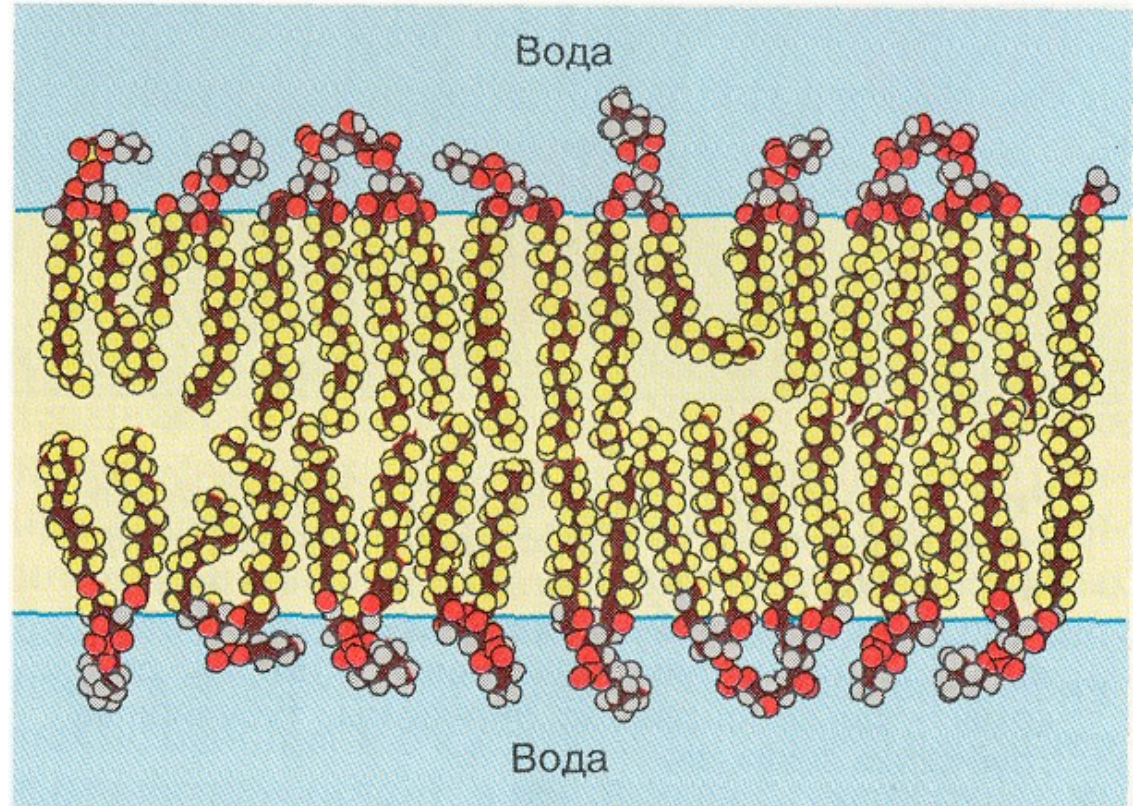
	ты				
Фосфатидилхолин	17	39	40	52	0
Фосфатидилэтаноламин	18	35	17	23	70
Фосфатидилсерин	7	2	5	4.2	~0
Холестерол	23	3	6	3.5	0
Сфингомиелин	18	0	5	9.8	0
Гликолипиды	3	~0	~0	-	~0
Другие: кардиолипин, фофатидилинозит и др.	14	21	27	10.5	30

# Липиды в двуслойной мембране частично перекрываются своими длинными жирными кислотами

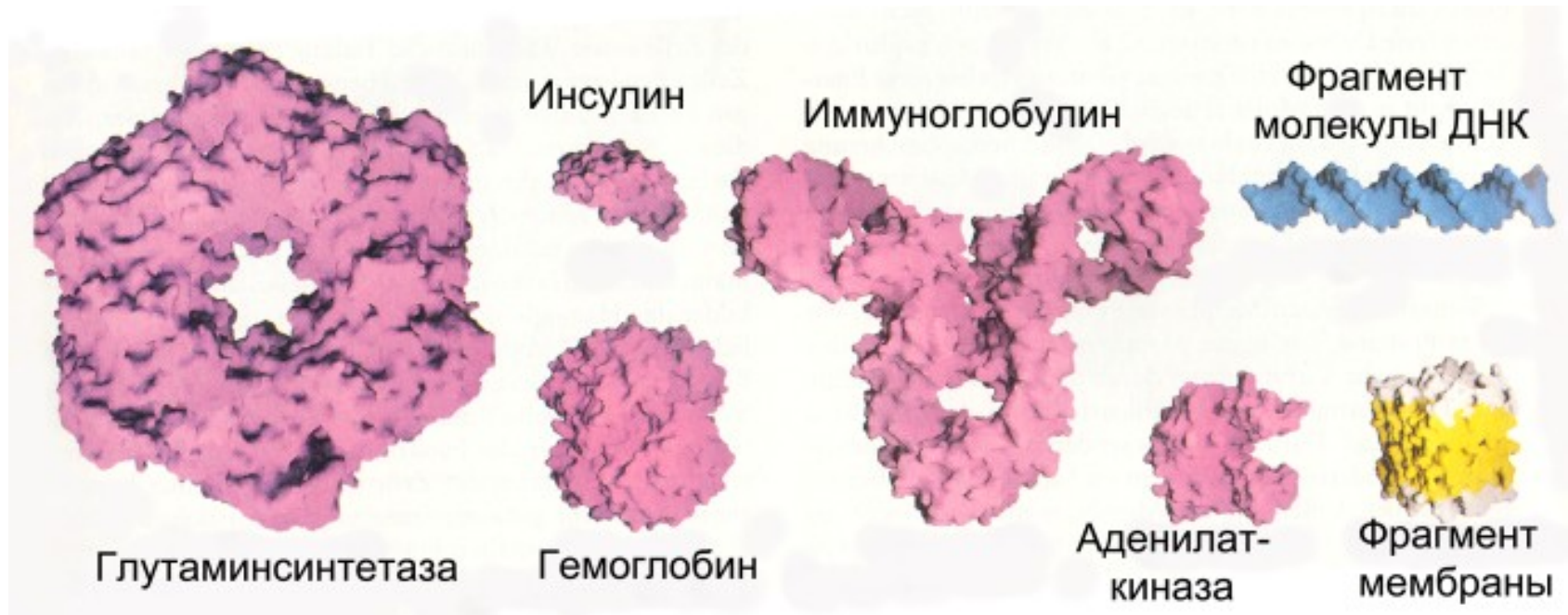
Гидрофильная  
часть

Гидрофобная  
часть

Гидрофильная  
часть

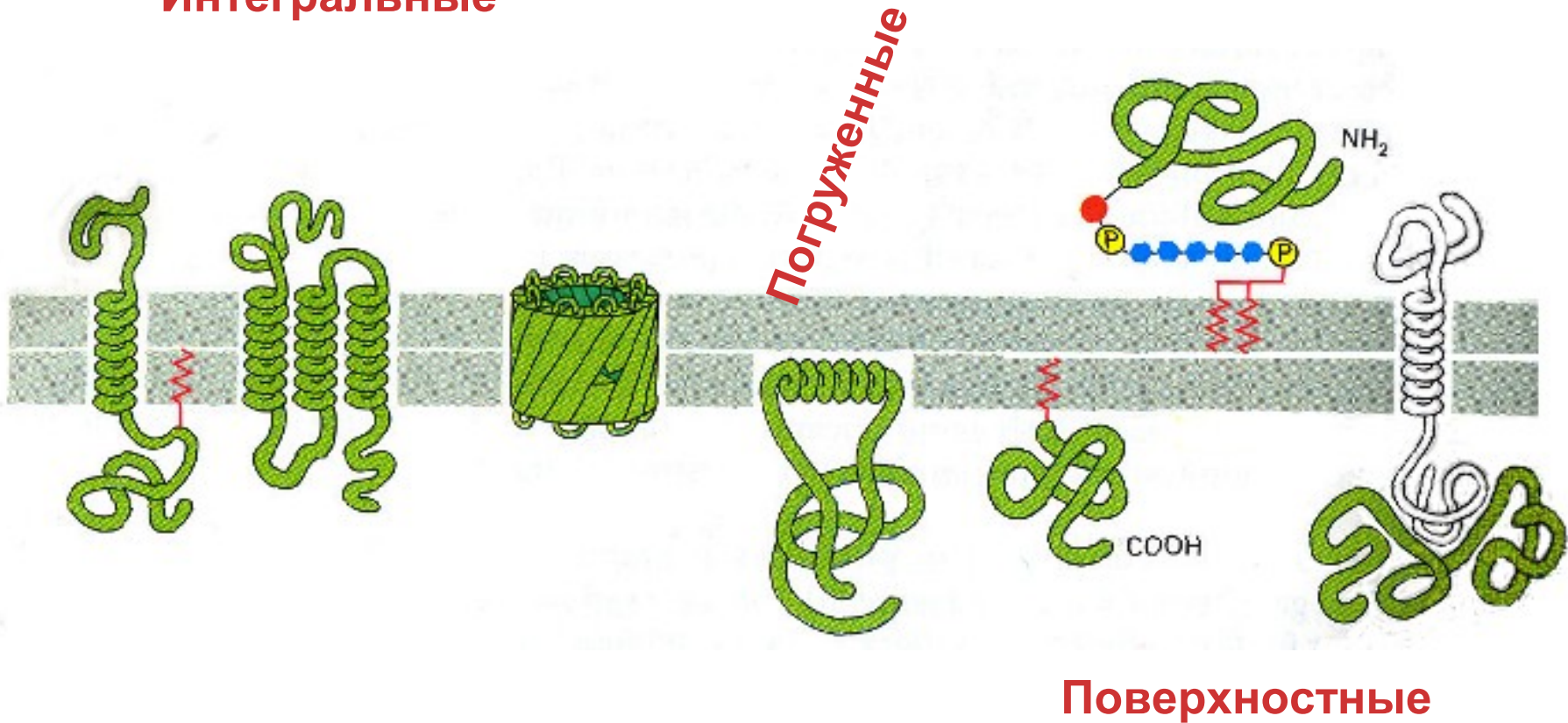


# Относительные размеры макромолекул и мембраны

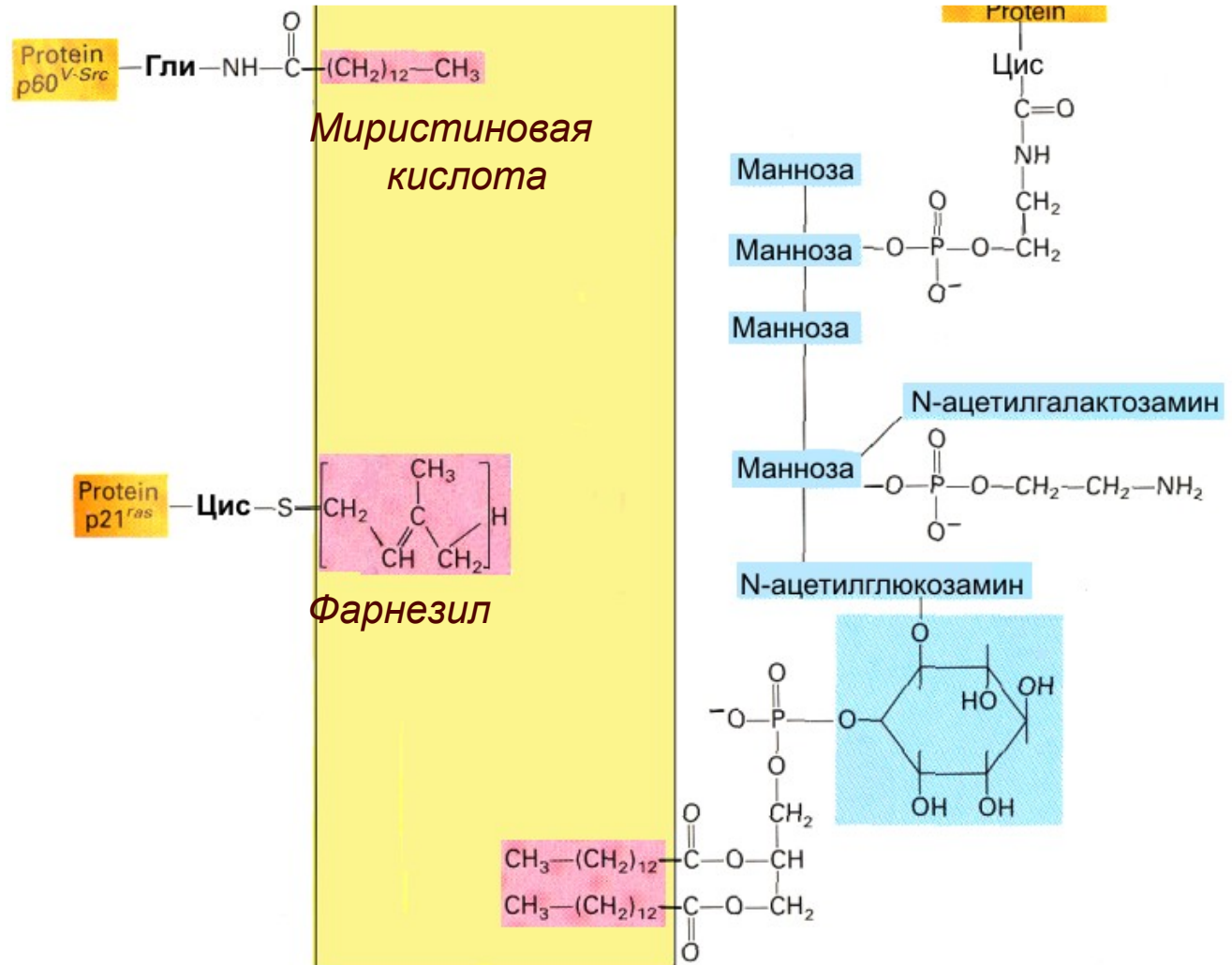


# Белки в составе мембран

Интегральные

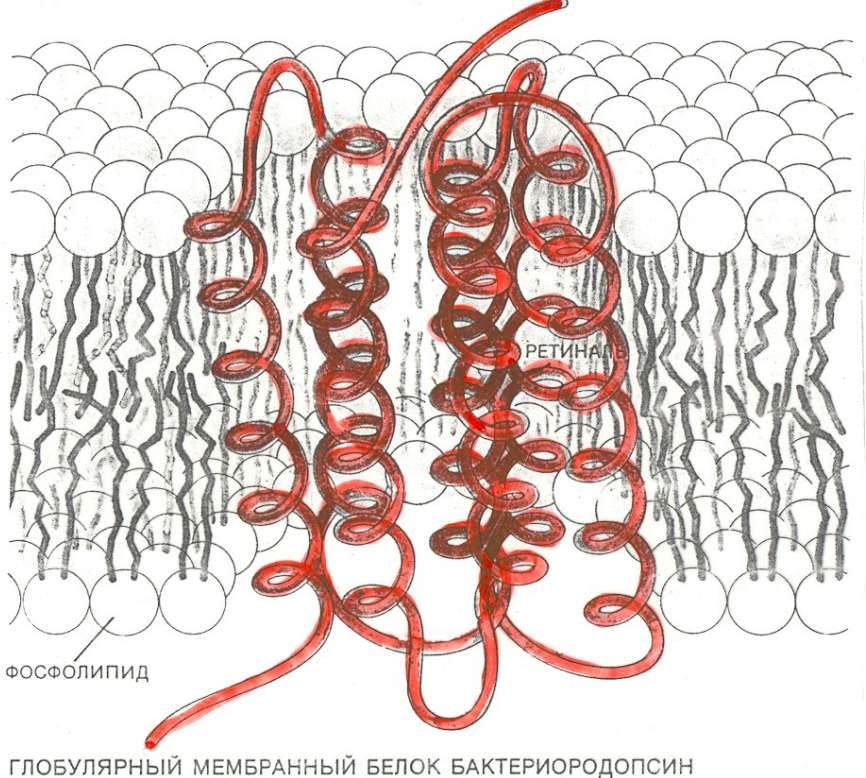
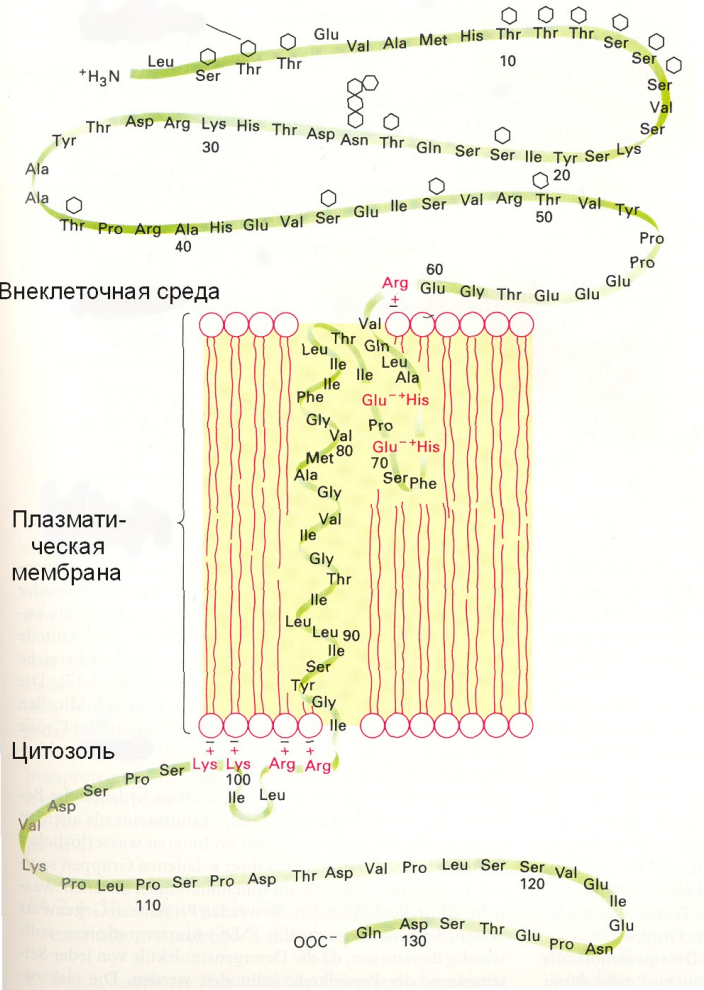


# Поверхностные белки связаны с интегральными белками или заякорены в липидном слое

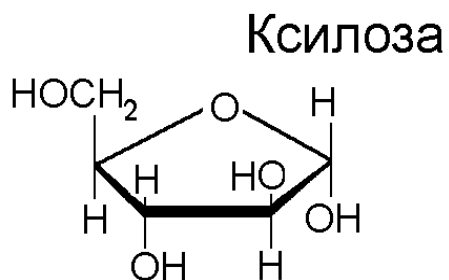
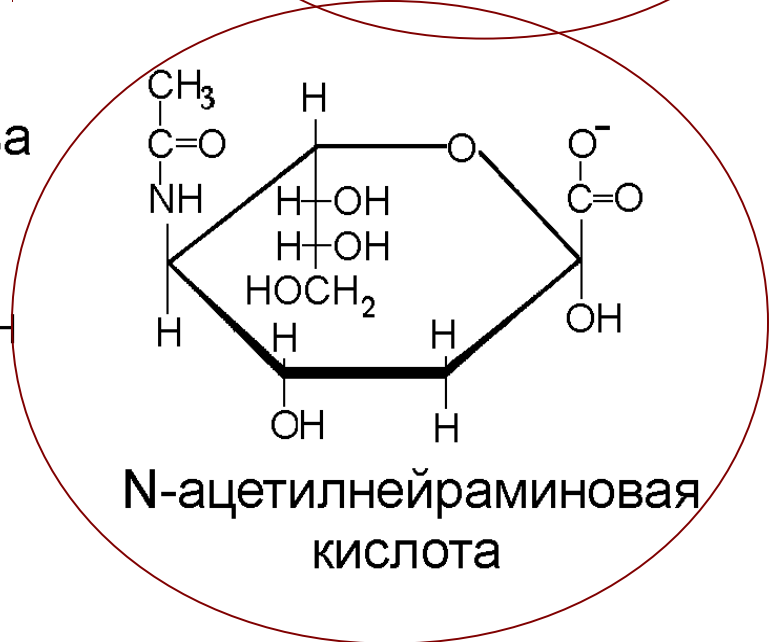
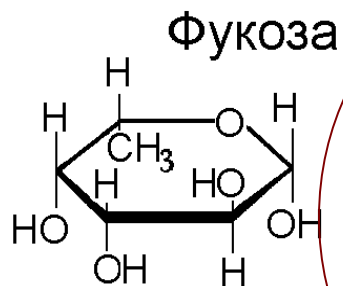
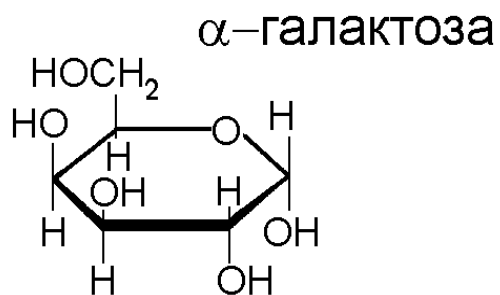
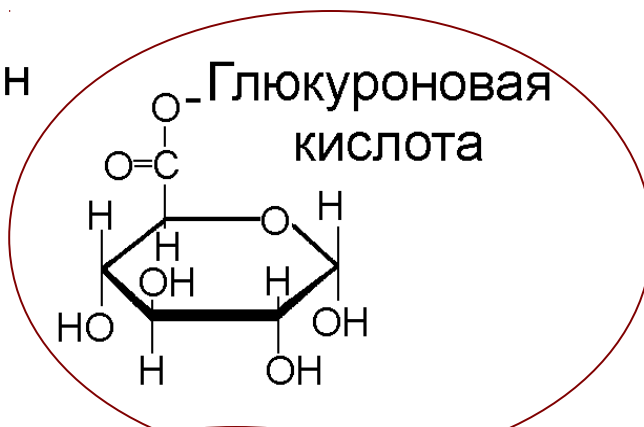
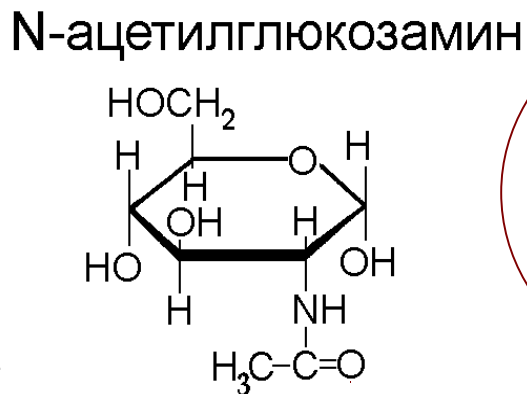
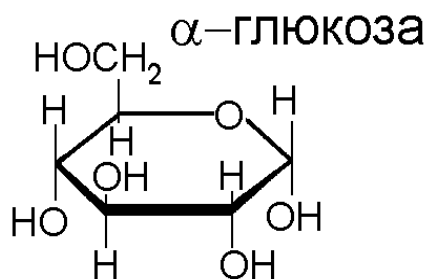


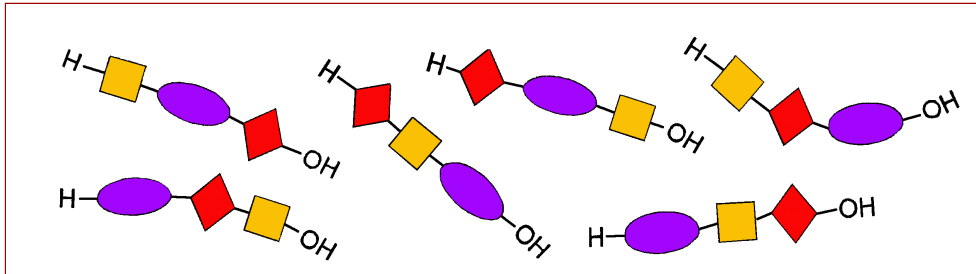
Фосфатидилинозит-фосфолигосахарид

# Интегральные белки могут пронизывать мембрану один или несколько раз

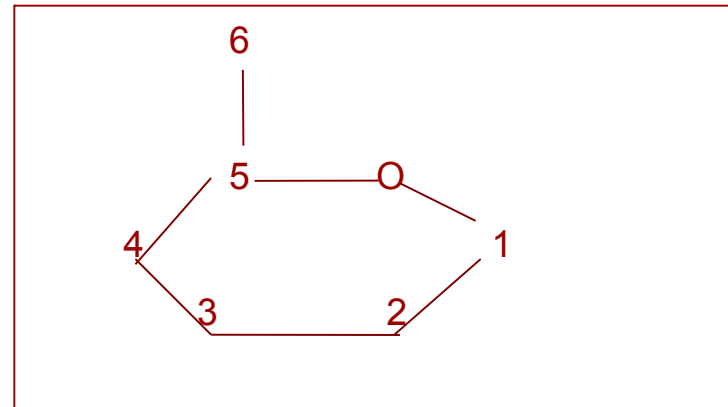


# Сахара в составе гликолипидов и гликопептидов



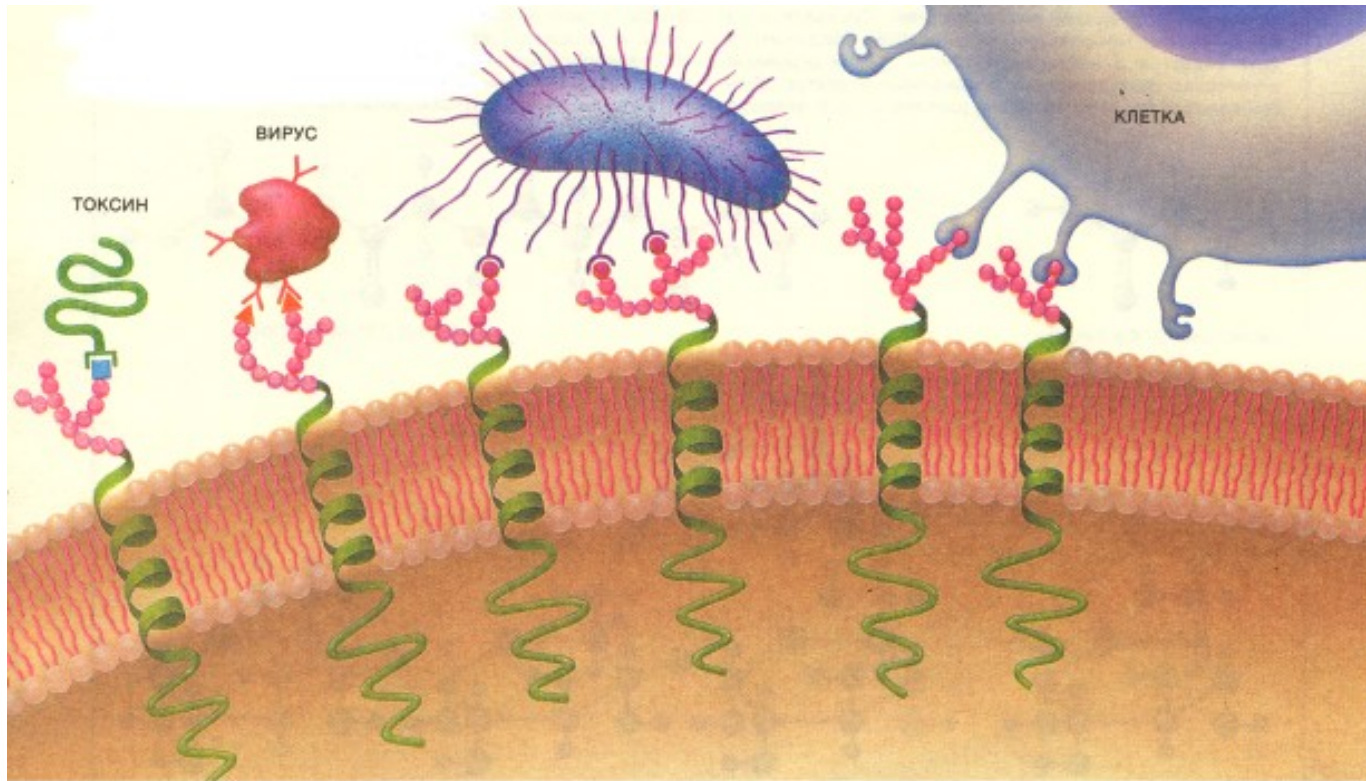


Из сахаров можно создать гораздо большее количество олигомеров, чем из аминокислот, так как у них имеется несколько гидроксильных групп.





Олигосахариды в составе гликолипидов и гликопептидов являются опознавательными знаками на поверхности клетки. Эти олигосахариды узнаются белками поверхности вирусов, бактерий, других клеток, а также некоторыми токсинами.



# Гликолипиды на поверхности клеток человека определяют группу крови.

Антигены

групп крови  
человека

Олигосахара в составе гликолипидов

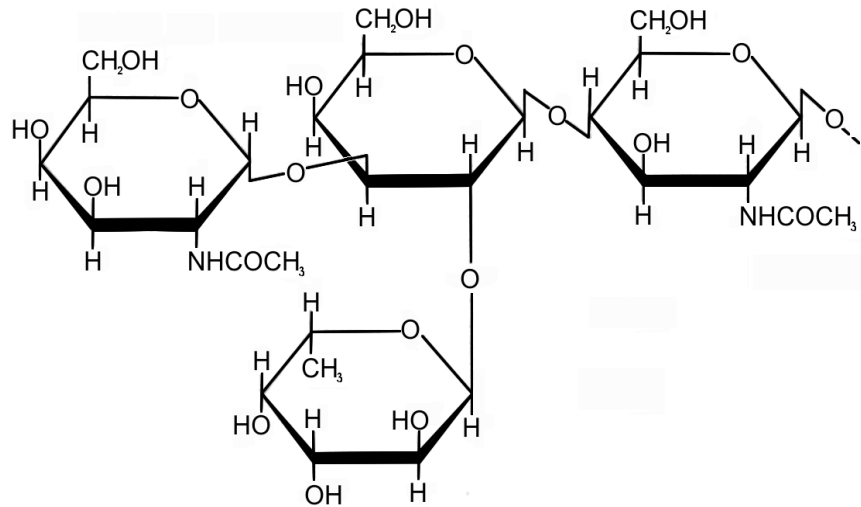
**Н** Фукоза - Гал - N-ацетилглюкозамин - Гал - Глк - липид

**А** Фукоза - Гал - N-ацетилглюкозамин - Гал - Глк - липид

N-ацетилгалактозамин

**В** Фукоза - Гал - N-ацетилглюкозамин - Гал - Глк - липид

Гал

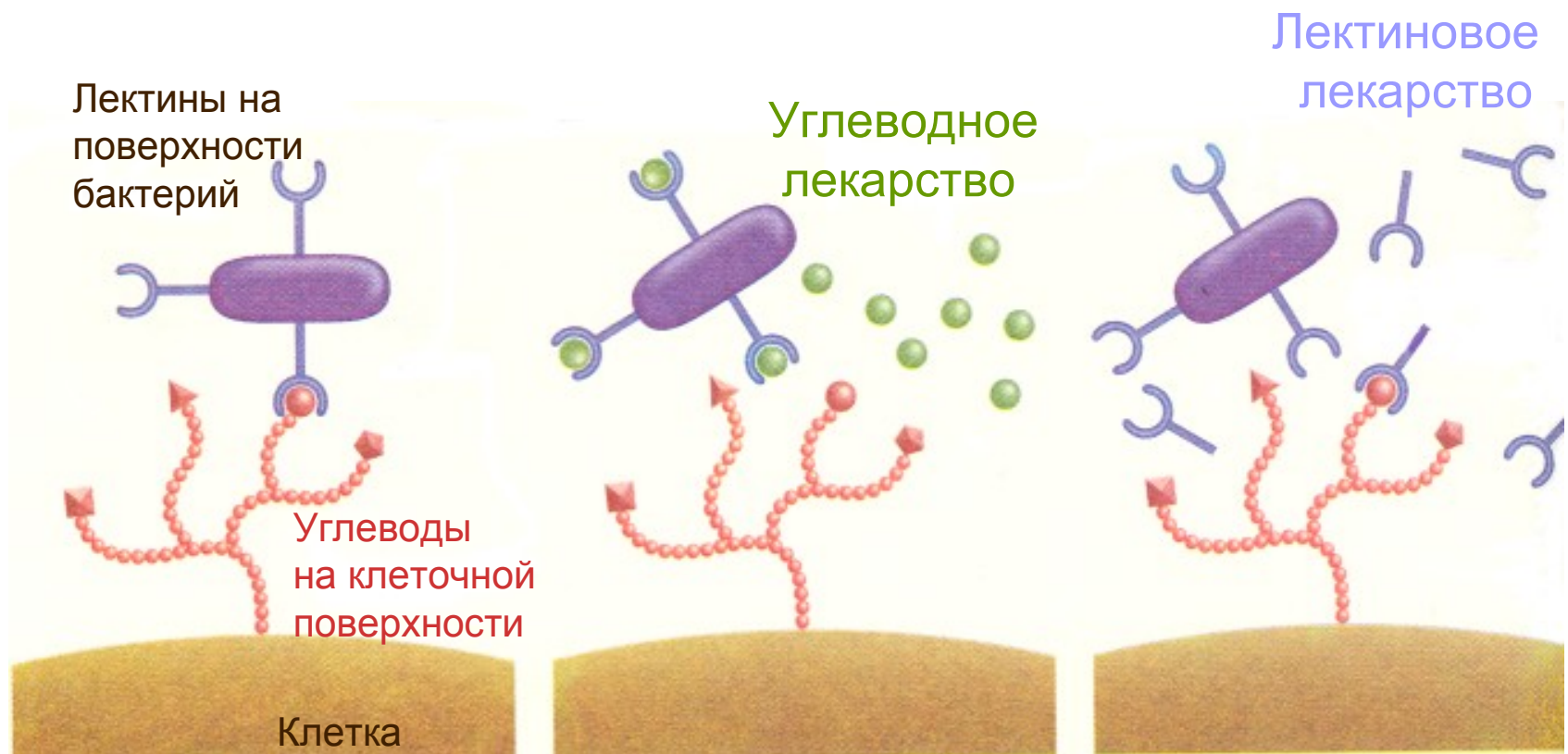


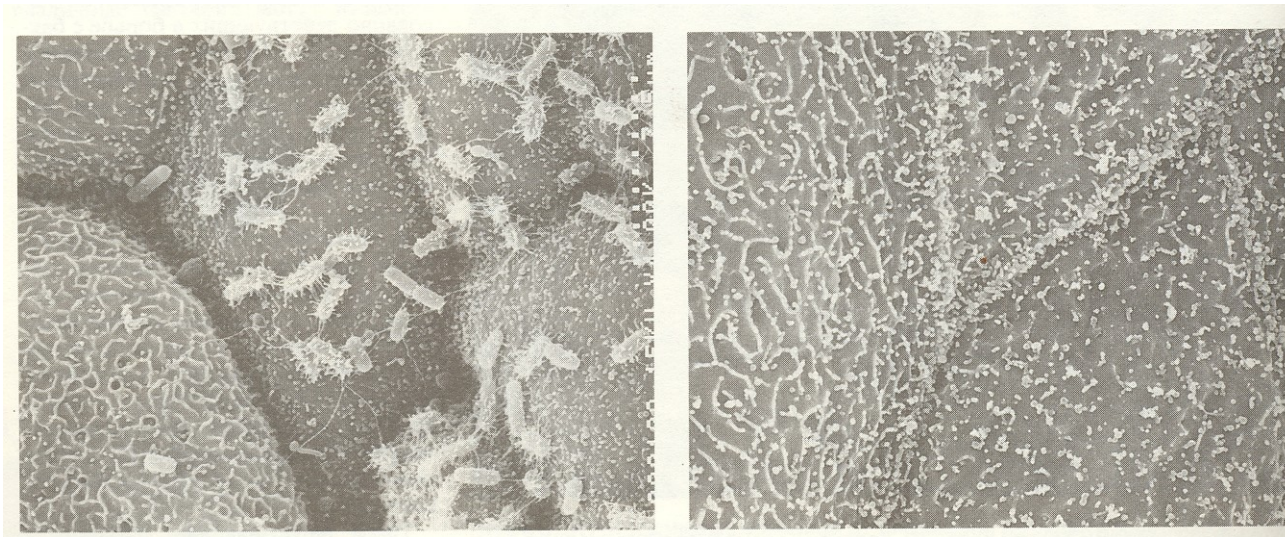
**A**

Фукоза - Гал - N-ацетилглюкозамин - Гал - Глк - липид

/  
N-ацетилгалактозамин

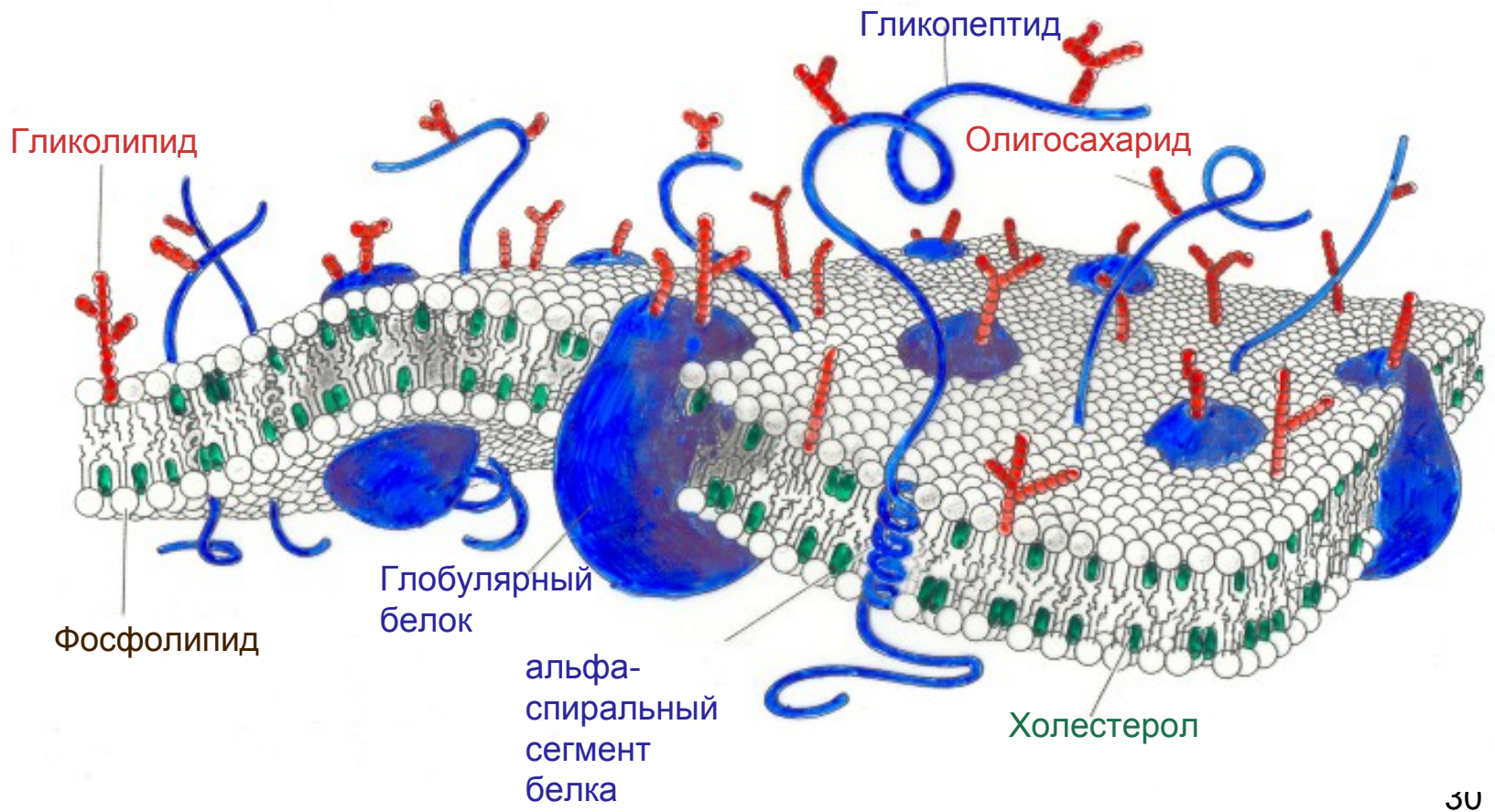
Белки на поверхности бактерий, которые узнают сахара в гликолипидах и гликопептидах, называют **лектинами**. Эти особенности узнавания можно использовать для лечения и профилактики заболеваний.



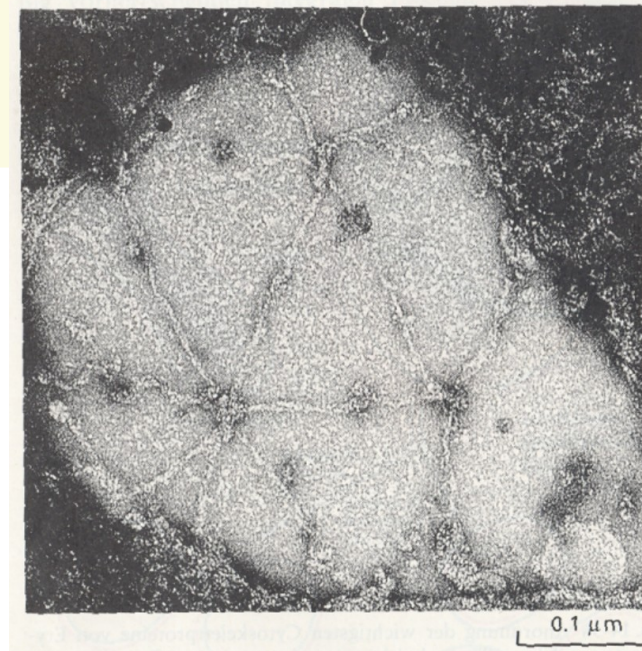
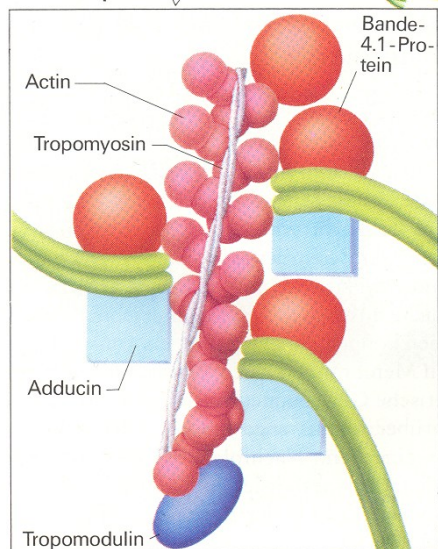
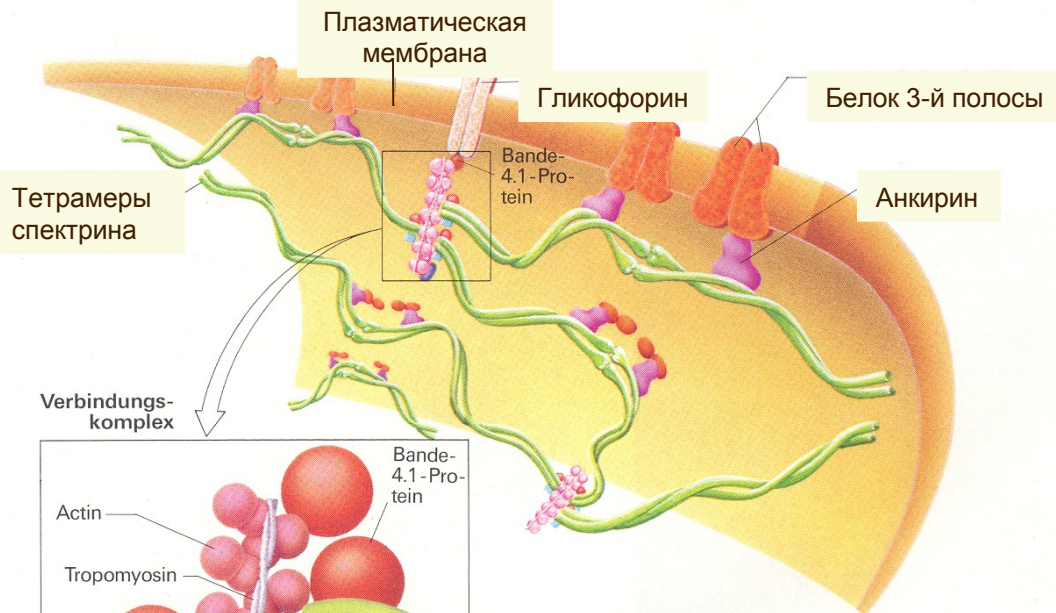


Клетки мочевого пузыря обработали «углеводным лекарством» против кишечной палочки (справа). Слева - необработанные клетки

Схема строения мембраны основана на результатах изучения плазматической мембраны эритроцитов млекопитающих.



# Схема и фотография участка плазматической мембраны эритроцита



	Размер	Кол-во в клетке
Гликофорин	131 а.к.	6 00000
Белок 3-й полосы	800 а.к.	5 00000
Спектрин	2000 а.к.	3 00000
Аддуцин, анкирин, актин, тропомиозин, белок 4-й полосы и др.		

# Свойства мембран

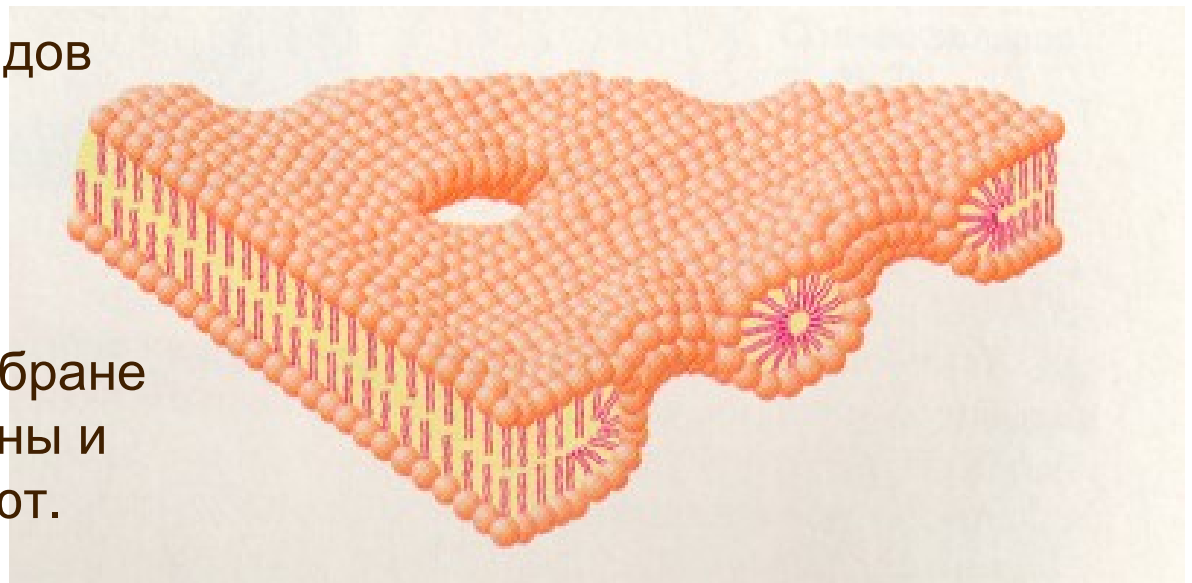
1. Замкнутость
2. Текучесть
3. Асимметричность
4. Избирательная проницаемость



# Свойства мембран

## 1. Замкнутость

Движение липидов иногда может приводить к возникновению пульсирующих отверстий в мембране. Они нестабильны и быстро исчезают.



# Свойства мембран

1. Замкнутость

2. Текучесть *зависит от:*

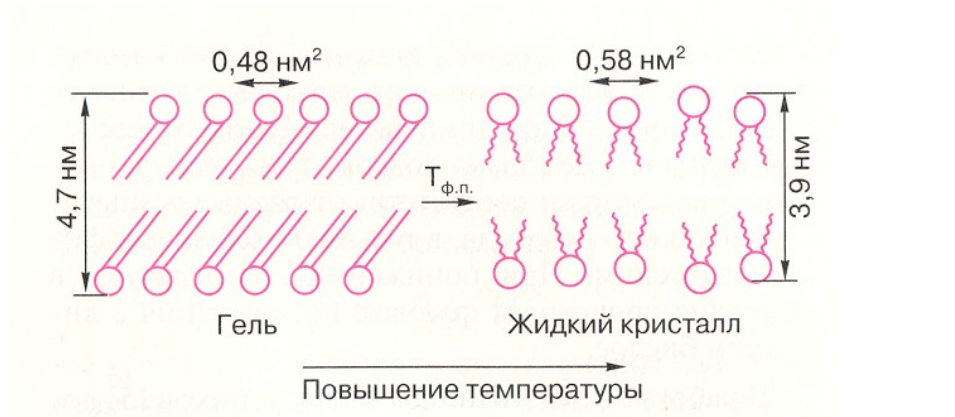
а) количества липидов на единицу площади

б) соотношения насыщенных и ненасыщенных жирных кислот

в) длины жирных кислот

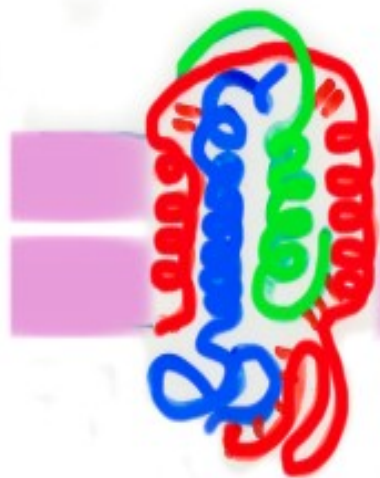
г) температуры

д) концентрации холестерина



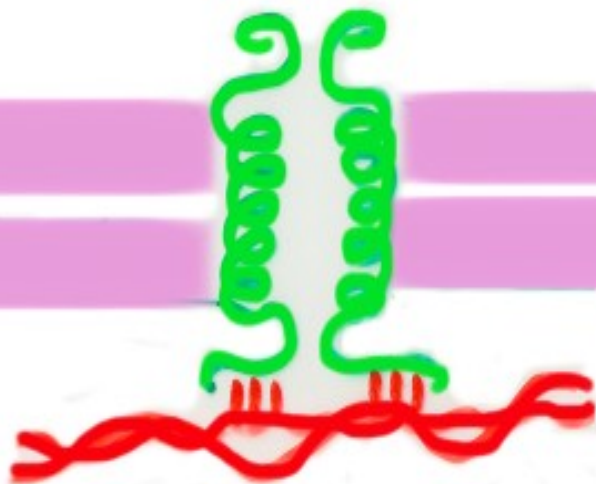
# Различные способы ограничения подвижности белков в мембране

1



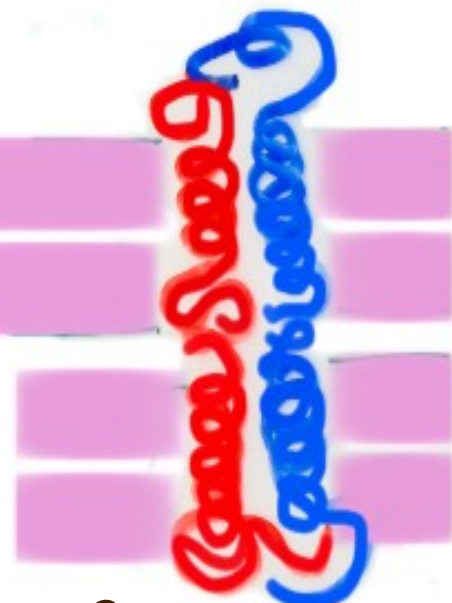
Соединение пептидов в стабильный комплекс.

2



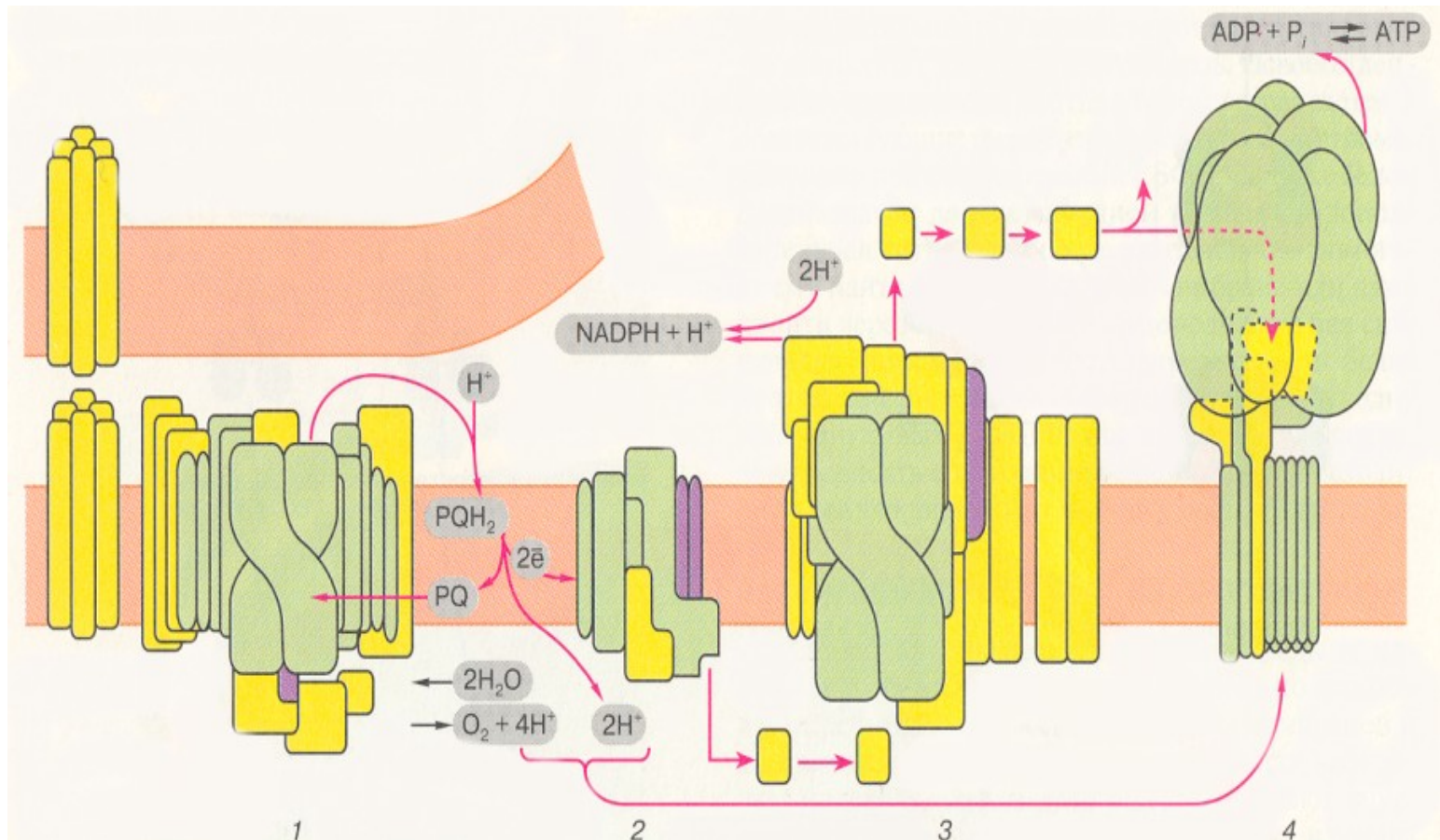
Соединение с белками в цитозоле.

3



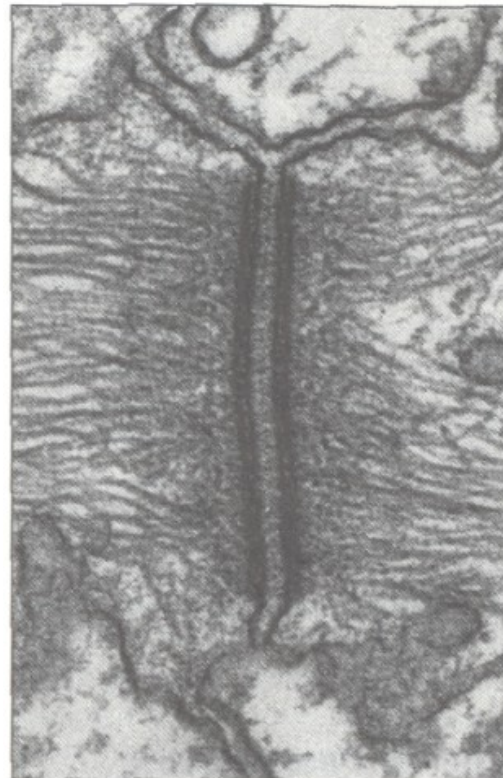
Соединение интегральных белков соседних клеток<sup>35</sup>

**Белковые комплексы в цепи переноса электронов в хлоропластах. Каждый из них соединяет десятки пептидов, соединенных в стабильную четвертичную структуру.**

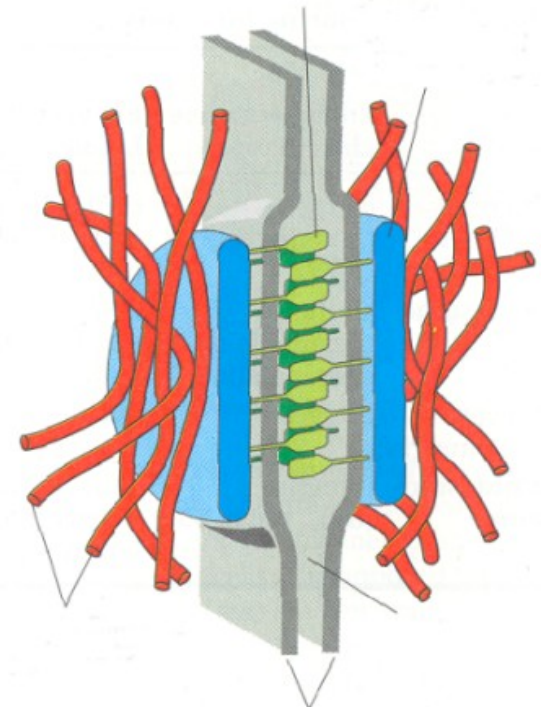


# Десмосомы — пример ограничения подвижности интегральных белков

Скрепляющие интегральные белки - кадгерины



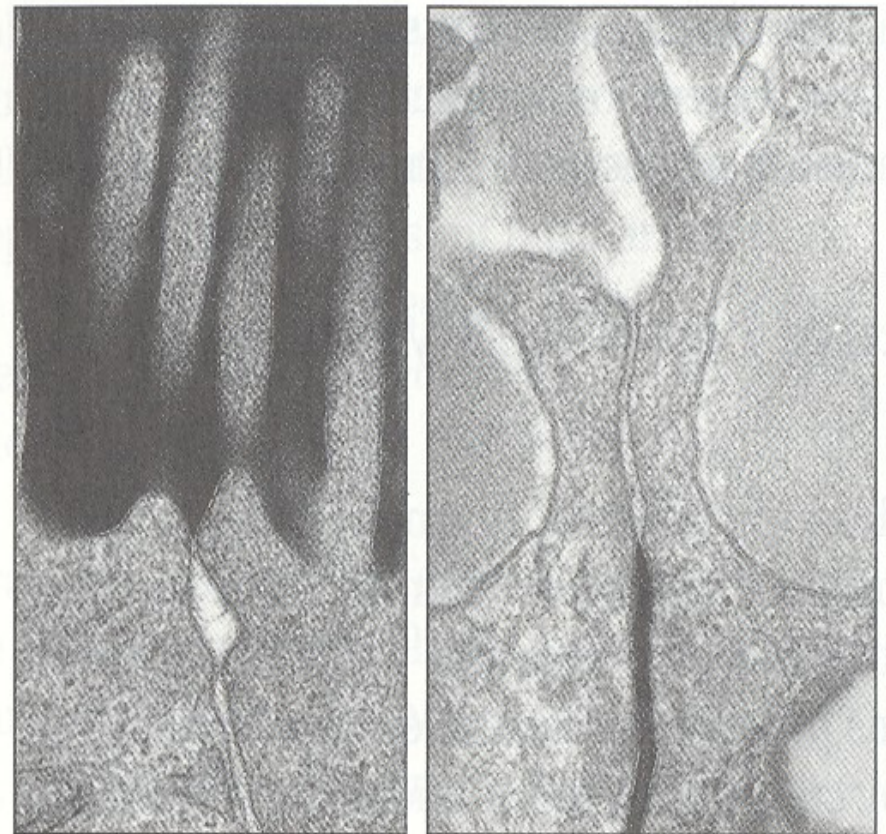
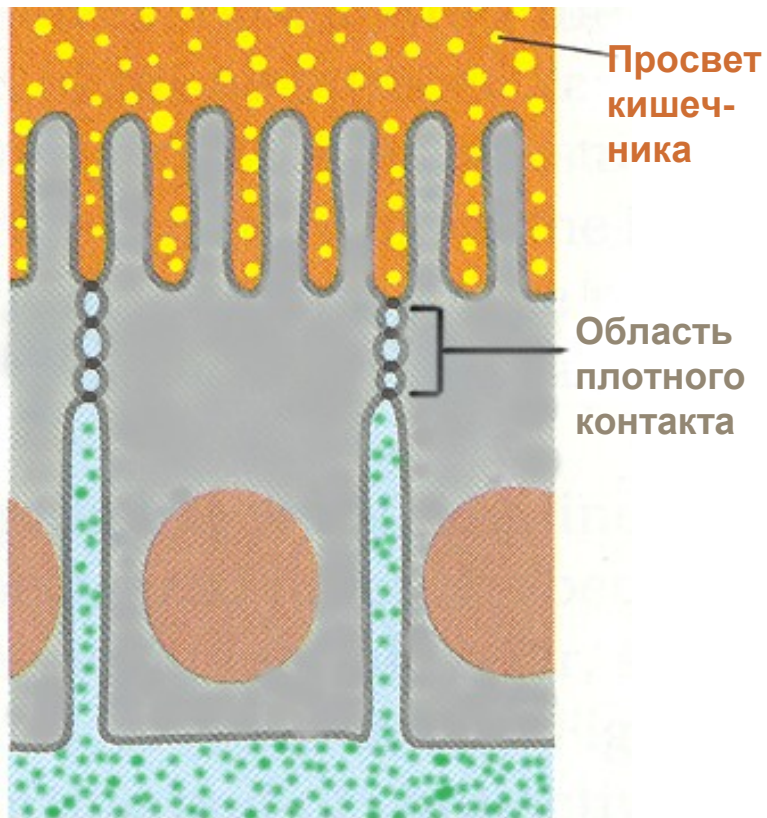
0,1 мкм



Мембраны соседних клеток

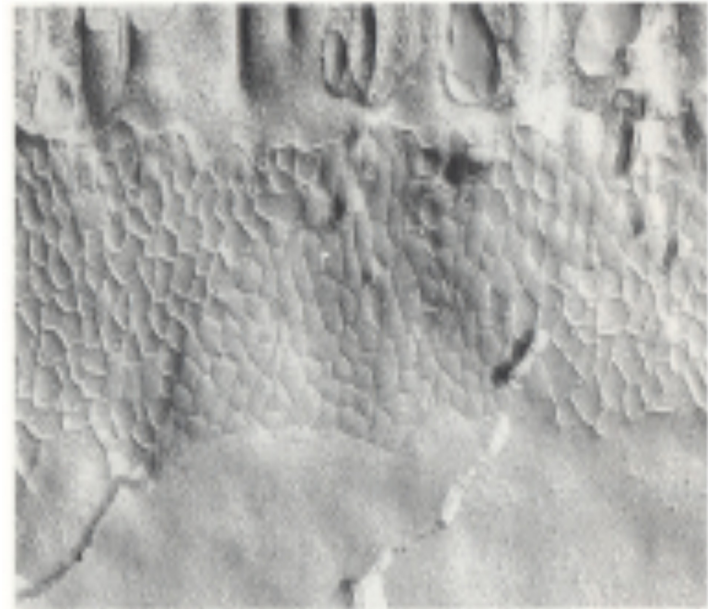
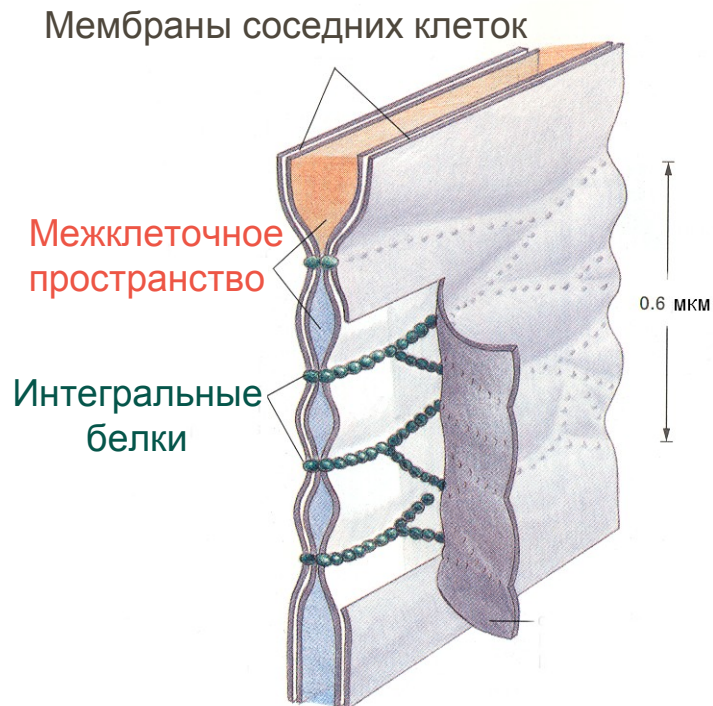
Плотные контакты — еще один такой пример.  
Благодаря интегральным белкам соседние клетки так  
тесно связаны друг с другом, что между ними не могут  
проникнуть никакие вещества.

*Плотные контакты  
в эпителии кишечника*



# Свойства мембран

## *Плотные контакты в эпителии кишечника*



# Свойства мембран

1. Замкнутость

2. Текучесть

3. **Асимметричность** зависит от того, с какой стороны мембраны встраивается липид, или в какой ориентации Синтезируется белок. Самопроизвольно переворачиваться внутри мембраны они не могут — мешают гидрофильно-гидрофобные взаимодействия.

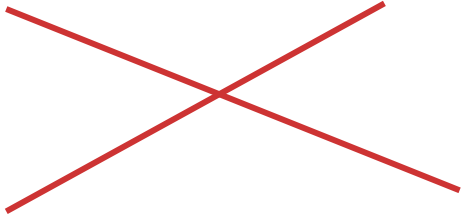
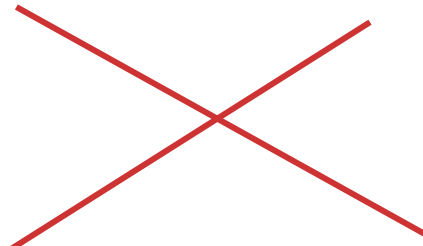
Некоторые липиды с помощью специальных белков перемещаются с одной стороны мембраны на другую с затратой энергии.

<i>Состав липидов в мембране эритроцитов</i>	
<i>Внешняя сторона</i>	<i>Внутренняя сторона</i>
<i>Лецитин</i>	<i>Фосфатидилсерин</i>
<i>Сфингомиелин</i>	<i>Кефалин</i>
<i>Гликолипиды</i>	<i>Фосфатидилинозит</i>
<i>Холестерол</i>	<i>Холестерол</i>



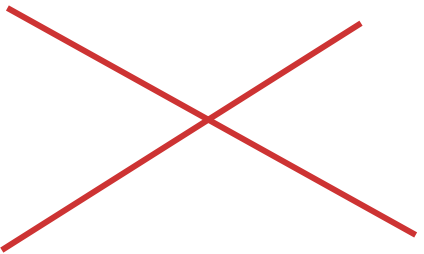
# Свойства мембран.

## 4. Избирательная проницаемость.

	По градиенту концентрации	Против градиента концентрации
Через липидный бислой		
Через белковые каналы: -регулируемые -нерегулируемые		
Через белки-переносчики		

# Свойства мембран.

## 4. Избирательная проницаемость.

	По градиенту концентрации	Против градиента концентрации
Через липидный бислой	Небольшие липофильные вещества, вода	
Через белковые каналы: -регулируемые <del>-нерегулируемые</del>	Ионы, низкомолекулярные соединения. Вода	
Через белки-переносчики	Ионы, низкомолекулярные соединения	Ионы (активный транспорт), низко- и высокомолекулярные соединения

# Свойства мембран.

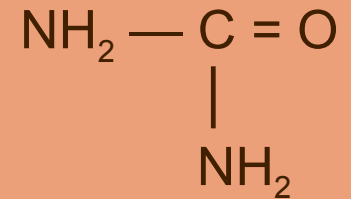
## 4. Избирательная проницаемость.

Через  
липидный  
бислой

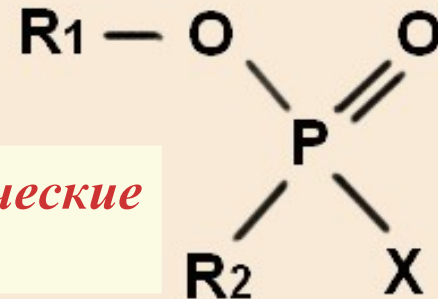
По градиенту  
концентрации

Небольшие  
липофильные  
вещества, вода

$O_2$ ,  $CO_2$   
бензол, глицерол  
мочевина



*Фосфоорганические  
соединения*



## Аквапорины - пример белкового канала для транспорта воды через плазматическую мембрану

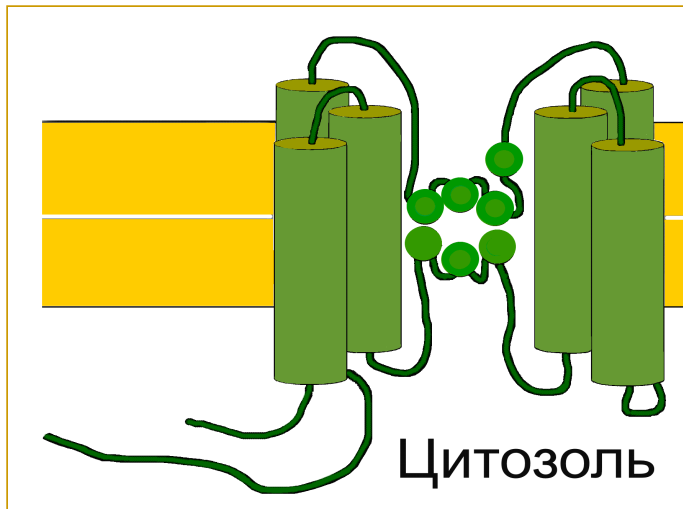


Схема строения аквапорина

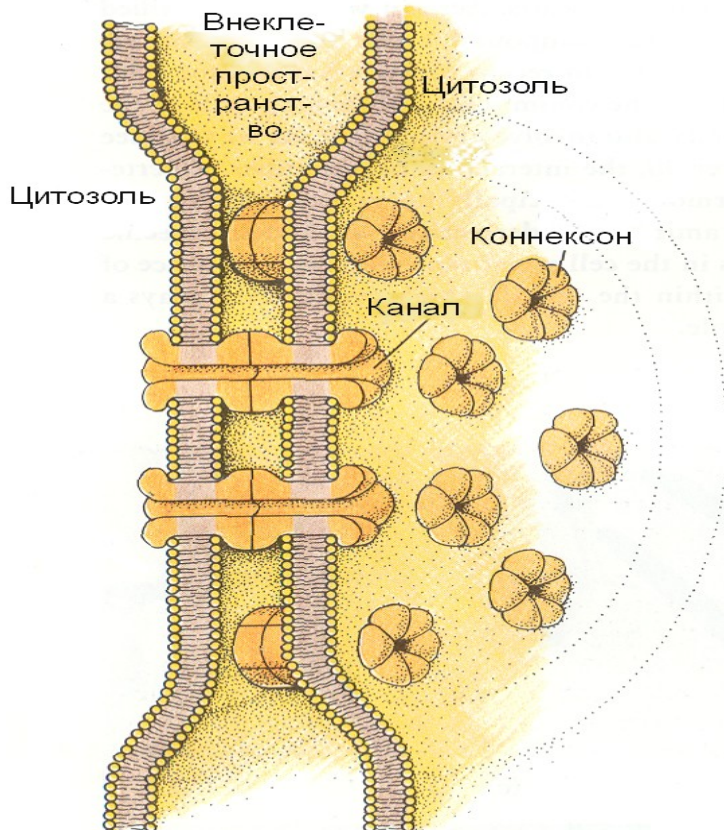
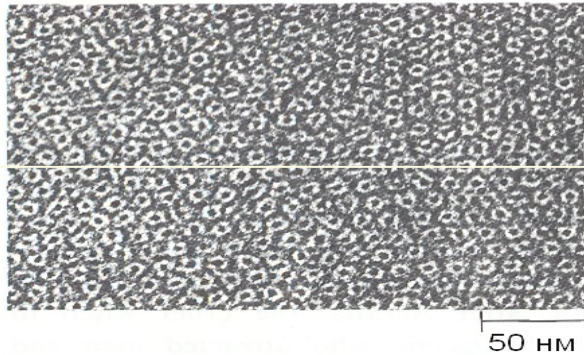
**Аквапорины** всегда находятся в открытом состоянии. Тем не менее, клетка регулирует транспорт воды.

Каналы встроены в мембраны внутриклеточных пузырьков. По внешнему сигналу эти пузырьки сливаются с плазматической мембраной, и аквапорины транспортируют воду до тех пор, пока следующий сигнал не приведет к концентрации аквапоринов в определенных участках плазматической мембраны и отщеплению пузырьков с аквапоринами внутрь клетки.

## Концентрации ионов внутри и снаружи типичной животной клетки

<i>Ионы</i>	<i>Концентрация в цитозоле, мМ/л</i>	<i>Концентрация вне клетки, мМ/л</i>
Катионы		
Na <sup>+</sup>	5-15	145
K <sup>+</sup>	140	5
Mg <sup>++</sup>	0,5	1-2
Ca <sup>++</sup>	10 <sup>-4</sup>	1-2
H <sup>+</sup>	10 <sup>-7,1</sup>	10 <sup>-7,4</sup>
Анионы		
Cl <sup>-</sup>	5-15	110

Клетка поддерживает определенную концентрацию ионов. Ионы могут перемещаться через мембрану по градиенту концентрации либо через белковые каналы, либо через белки

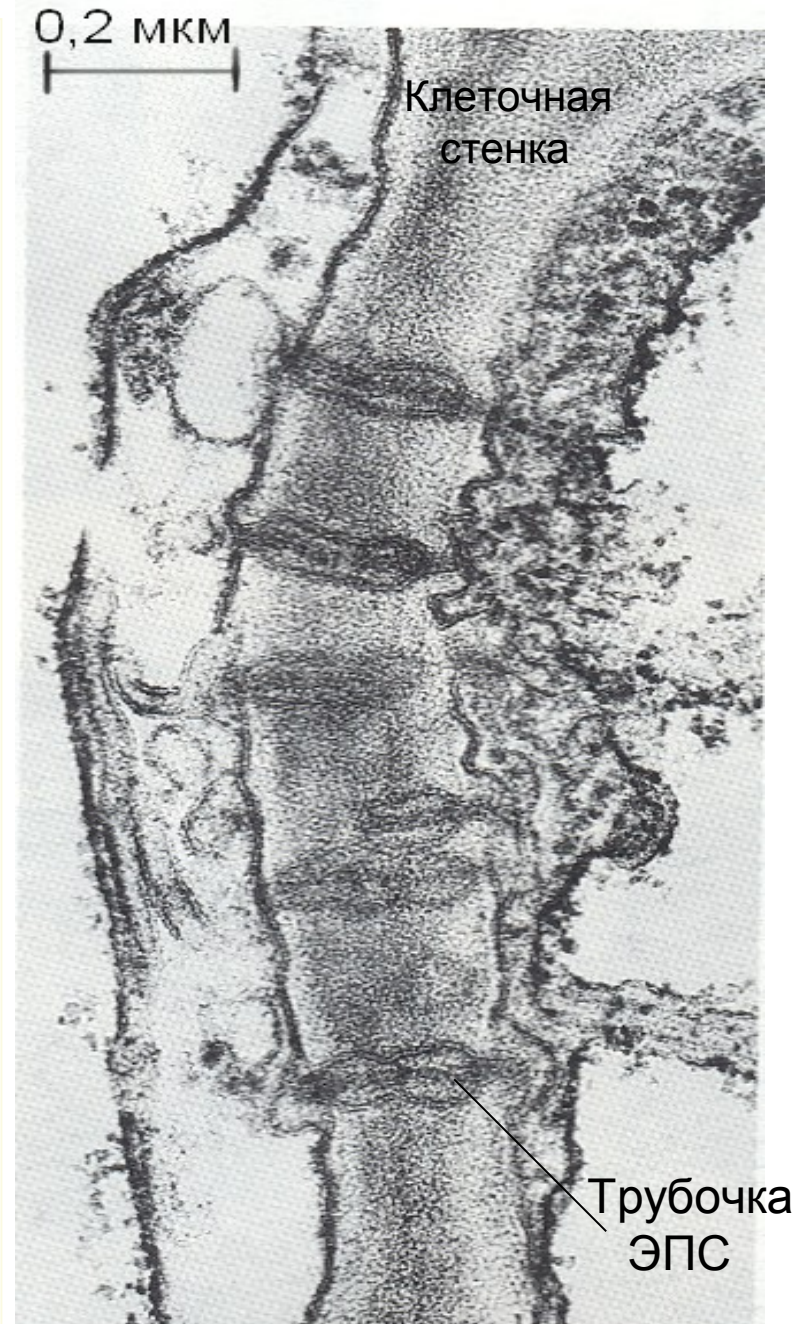


**Коннексоны** — пример каналов, через которые соседние клетки животных обмениваются ионами и низкомолекулярными веществами. Они собраны в большие группы, и в этих местах плазматические мембраны соседних клеток сближены, поэтому скопления коннексонов получили название **щелевых контактов**.

При изменении конформации белков, образующих коннексоны, канал может открываться и закрываться.

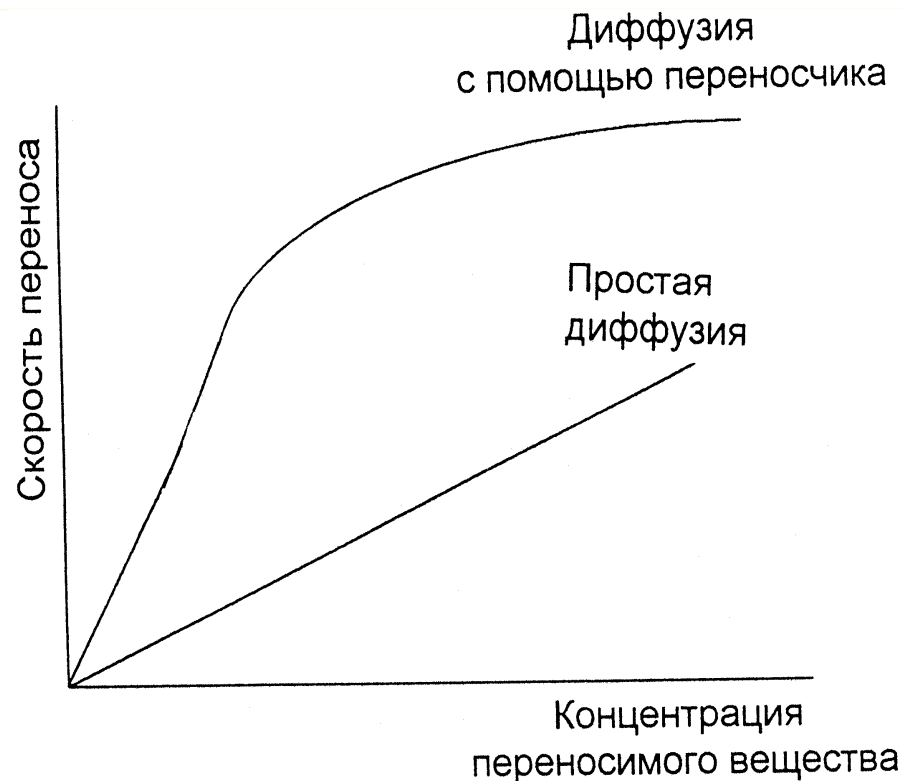
У растений межклеточные каналы называются **плазмодесмы**. Они пронизывают клеточную стенку и через них проходят тонкие трубочки эндоплазматической сети, т. е. сообщается не только цитозоль соседних клеток, но и полость ЭПС.

Через плазмодесмы клетки растений обмениваются ионами и низкомолекулярными веществами, например, по плазмодесмам идут сахара от фотосинтезирующих клеток к клеткам, не имеющим фотосинтеза.



**Облегченная диффузия** - это транспорт веществ по градиенту концентрации через интегральные белки, не образующие канал. Такие белки называют **белками-транспортерами**, или **белками-переносчиками**.

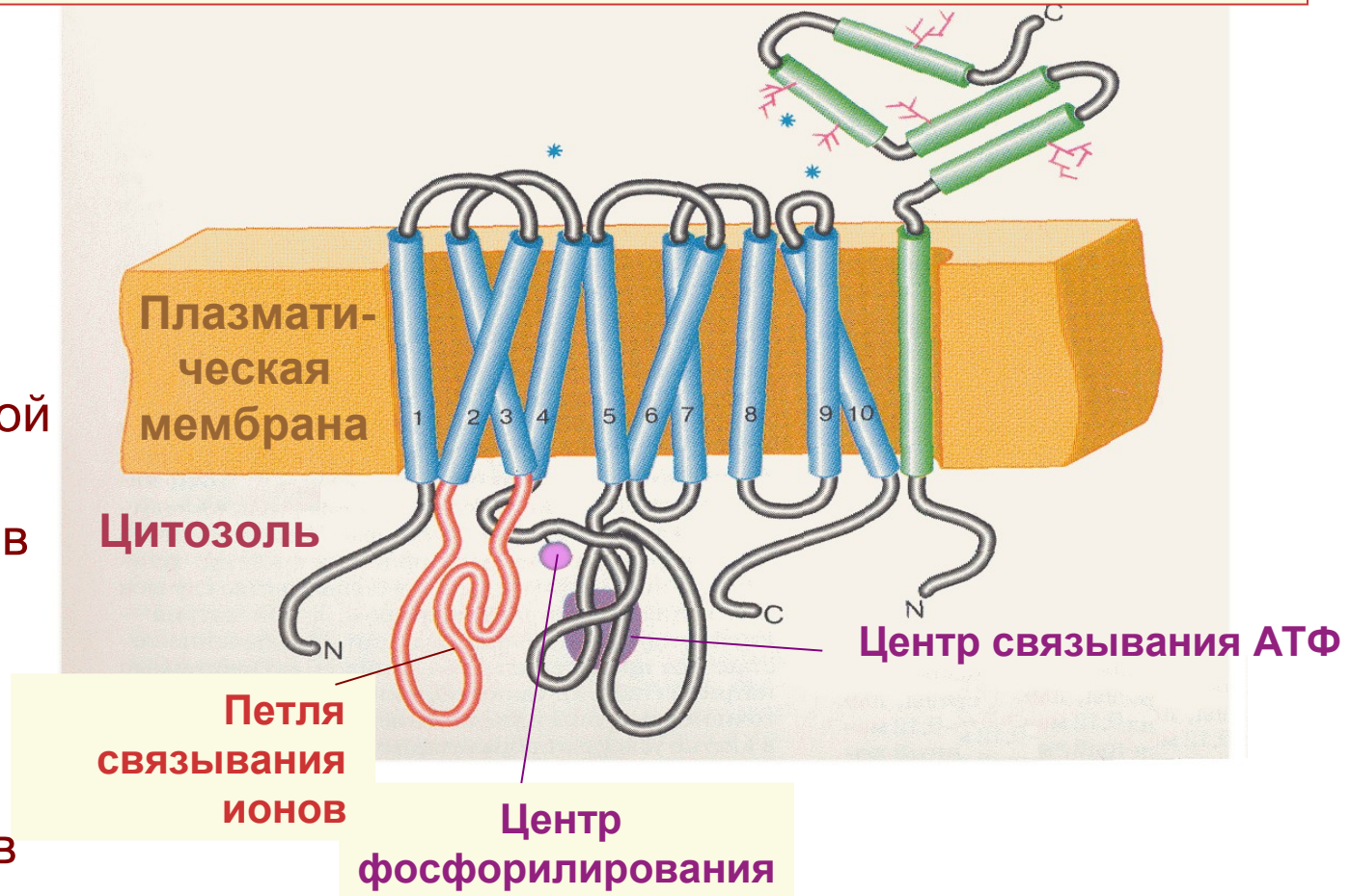
Ионы или низкомолекулярные вещества присоединяются к белку-транспортеру, он меняет свою конформацию и «пропускает» их через себя.





**$K^+/Na^+$ -зависимая АТФаза** — пример белка, осуществляющего транспорт веществ против градиента концентрации. Это активный транспорт. Для него необходима энергия макроэргических связей.

С помощью  $K^+/Na^+$ -зависимой АТФазы клетка поддерживает в цитозоле высокую концентрацию ионов калия и низкую — ионов натрия.



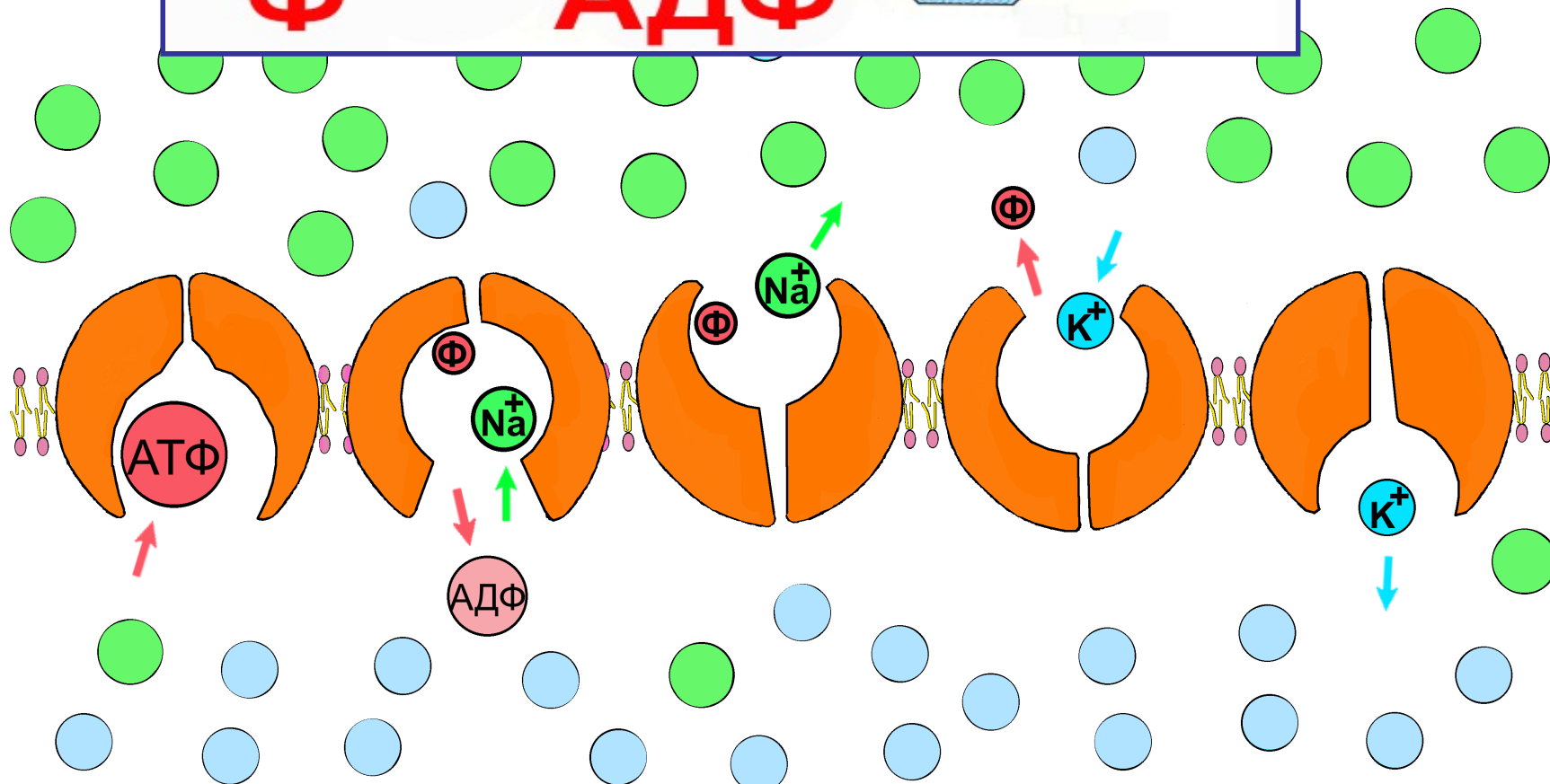
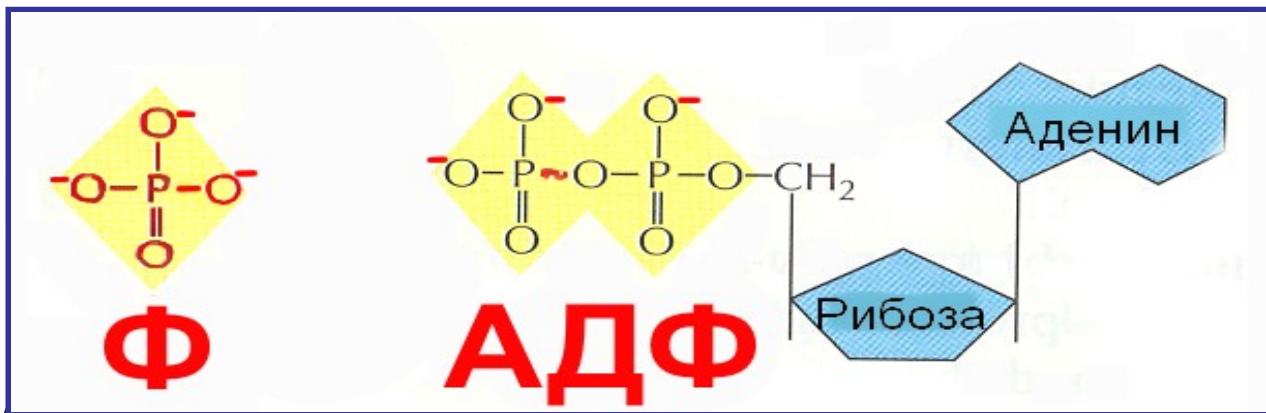


Схема последовательных превращений K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>зависимой АТФазы во время транспорта ионов калия и натрия

**Антипорт** - транспорт двух веществ в противоположных направлениях с помощью одного механизма. Например, транспорт ионов калия и натрия с помощью  $K^+/Na^+$ -зависимой АТФазы.

**Симпорт** - транспорт двух веществ в одном направлении с помощью одного механизма. Пример: транспорт Ионов натрия и глюкозы через плазматическую мембрану в гепатоциты.

**Унипорт** — транспорт одного вещества с помощью одного белка-транспортера. Так глюкоза поступает в клетки мозга.