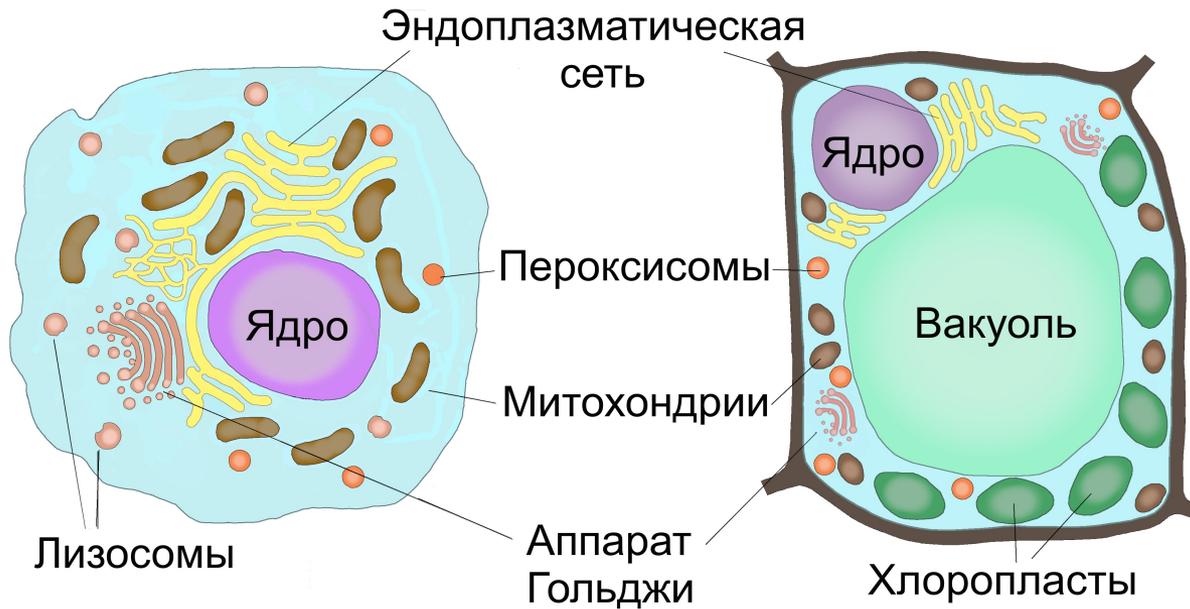


## Органоиды и цитозоль животной и растительной клеток



Каждый компартмент отличается от других компартментов по химическим реакциям  
В митохондриях и пластидах компартмент не один.

## **Нужно знать:**

В каком компартменте клетки находятся ДНК, РНК, белки, липиды, полисахариды?

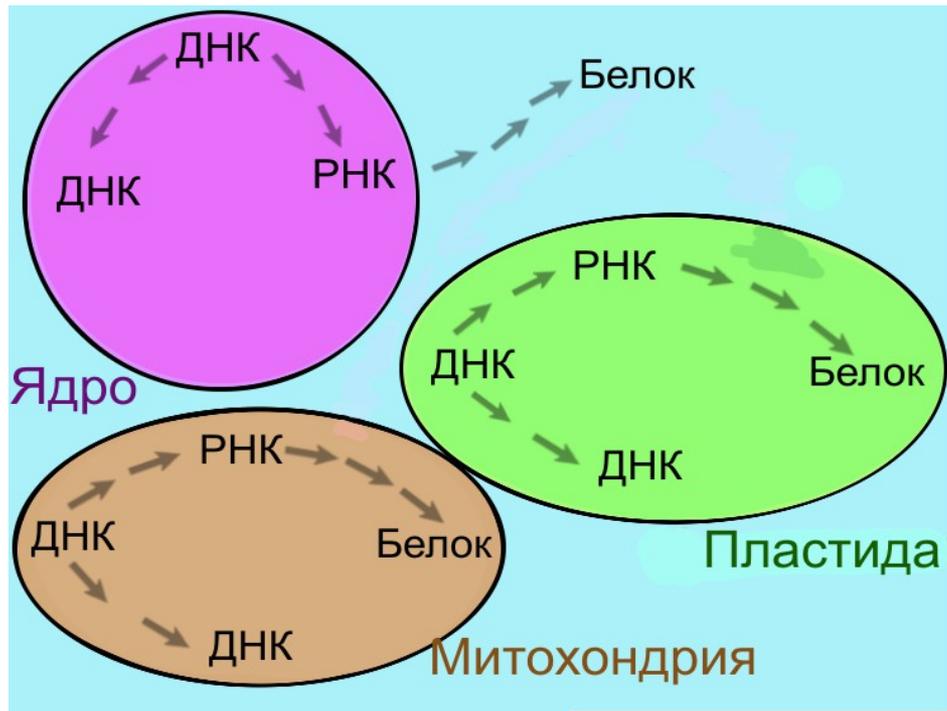
Где они синтезируются?

---

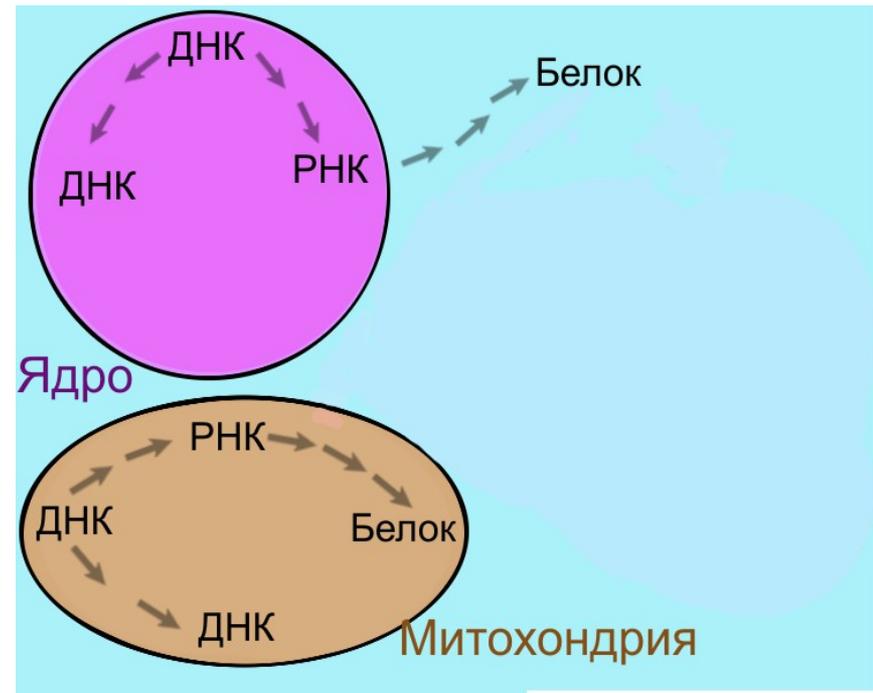
Какие процессы идут в каждом компартменте?

Где в клетке находится ДНК?  
Где в клетке находится РНК?  
Где в клетке идет репликация?  
Где в клетке идет транскрипция?  
Где в клетке идет трансляция?

### У растений



### У животных

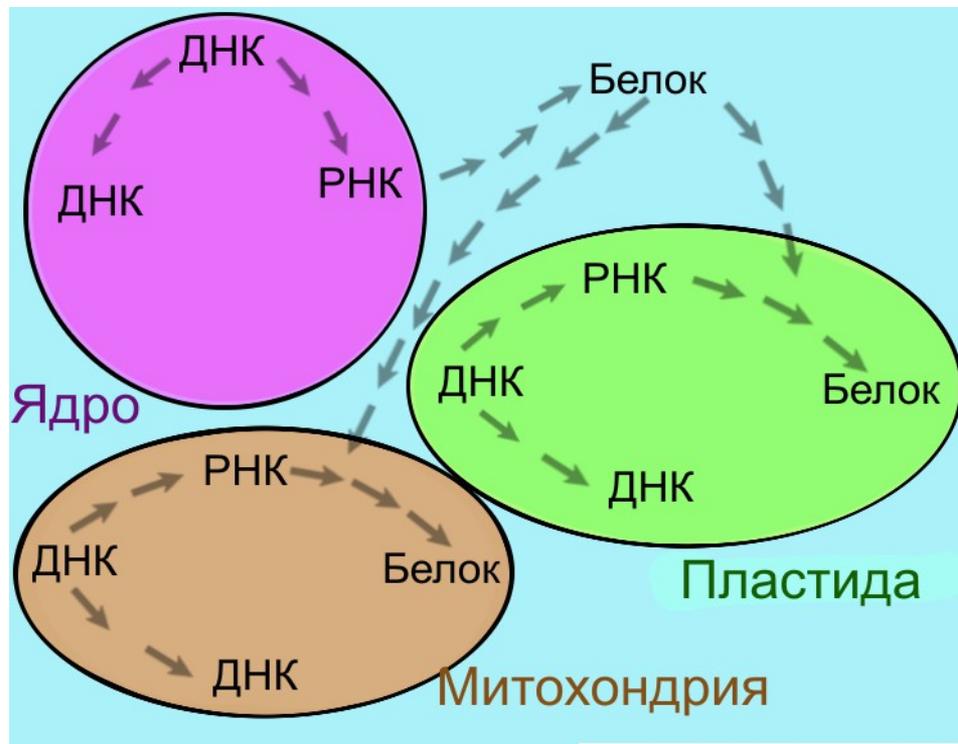


## Где в клетке находятся белки?

Ответ: «Везде!»

Белок, синтезированный в митохондриях и пластидах, используется только внутри этих органоидов.

Белок, синтезированный в цитозоле, используется и в цитозоле, и во **всех** органоидах.

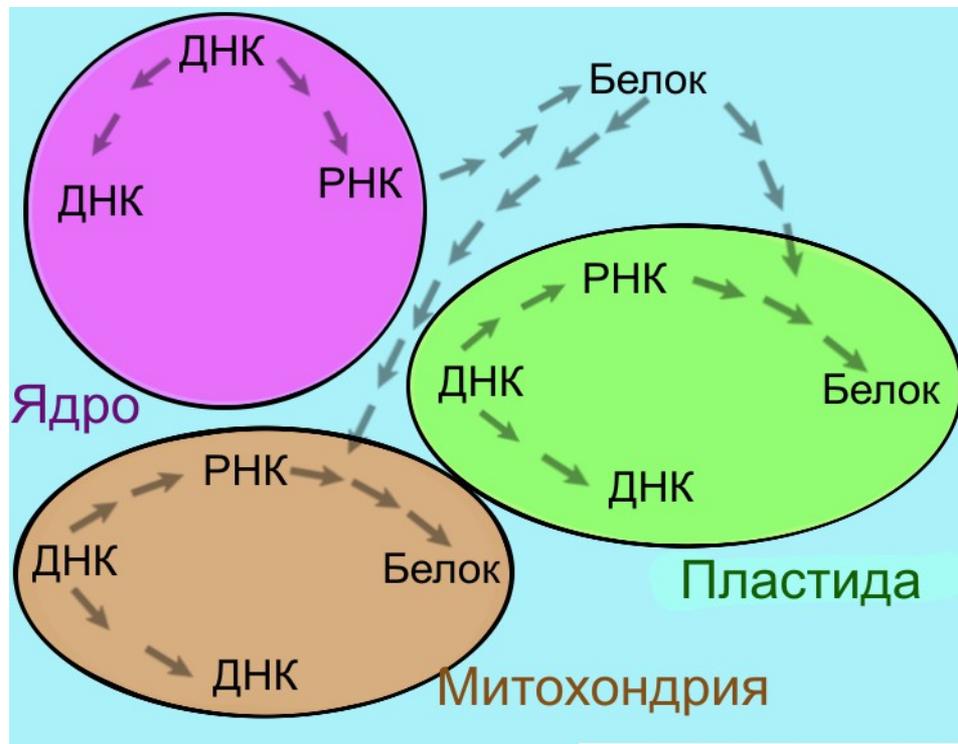


# Где в клетке находятся белки?

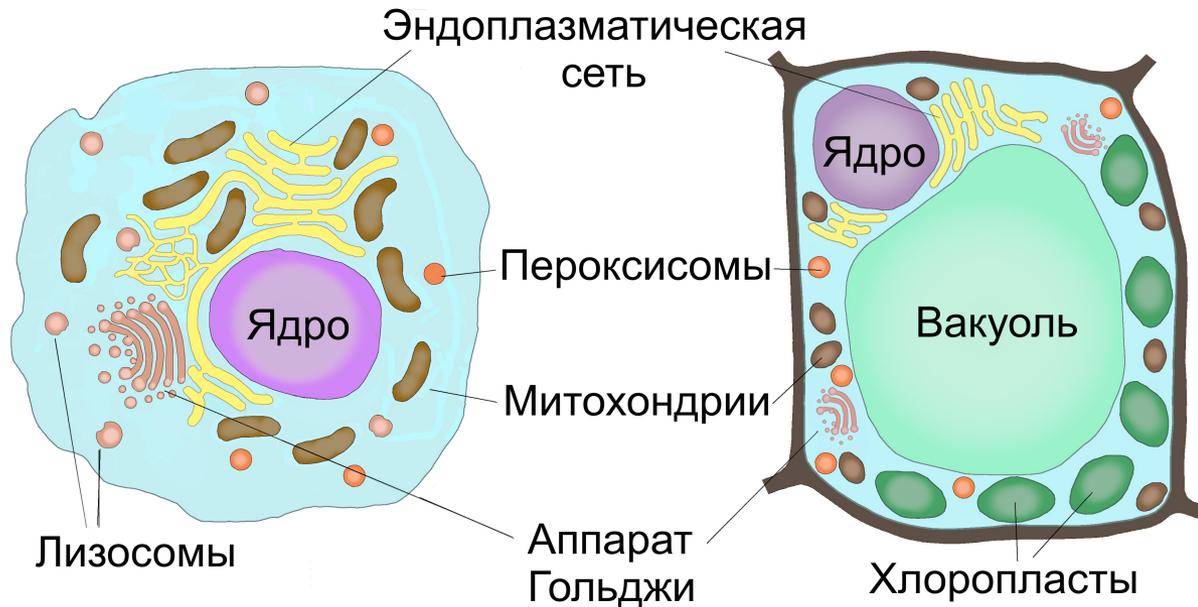
Ответ: «Везде!»

Белок, синтезированный в митохондриях и пластидах, используется только внутри этих органоидов.

Белок, синтезированный в цитозоле, используется и в цитозоле, и во **всех** органоидах.



В клетках растений есть вакуоль и пластиды – таких органоидов нет в клетках животных. Поэтому в клетках животных и растений некоторые процессы распределяются между компартментами по-разному.



Процесс	Локализация	
	У животных	У растений
Анаэробный гликолиз	Цитозоль	Цитозоль
Образование предшественников синтеза нуклеиновых кислот, белков, сахаров и липидов	Цитозоль	Пластиды
Синтез и хранение запасных липидов и полисахаридов	Цитозоль (гликоген)	Пластиды (крахмал)

Через цитозоль идет транспорт между органоидами

## Митохондрии

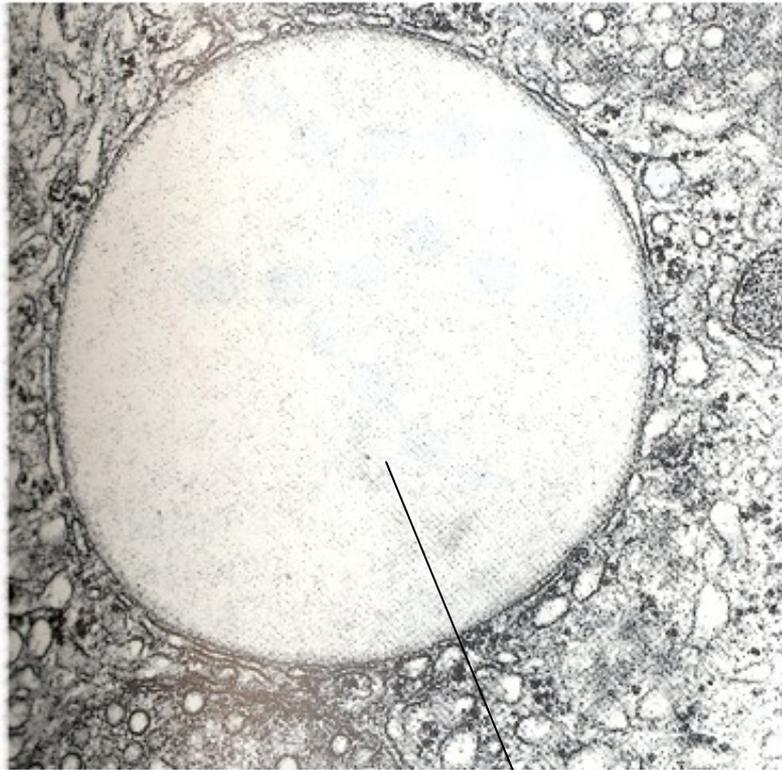
1. Окислительное фосфорилирование
2. Терморегуляция
3. Распад жирных кислот, аминокислот, пирувата
4. Удлинение цепей жирных кислот
5. Синтез порфиринов
6. Досинтез стероидных гормонов
7. Участие в апоптозе

## Пластиды

1. Фотофосфорилирование
2. Фотолиз воды (хлоропласты)
3. Фиксация углерода
4. Синтез моносахаров, аминокислот, азотистых оснований.
5. Синтез жирных кислот
6. Синтез и хранение запасных липидов и полисахаридов

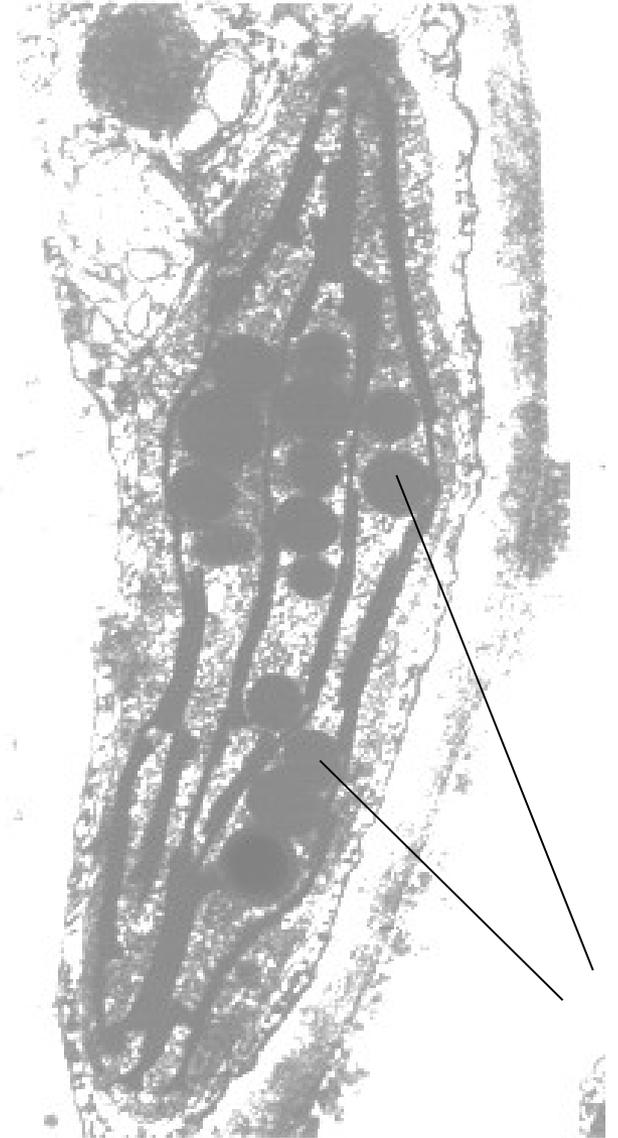
**Репликация, транскрипция, трансляция**

## *Запасные липиды*



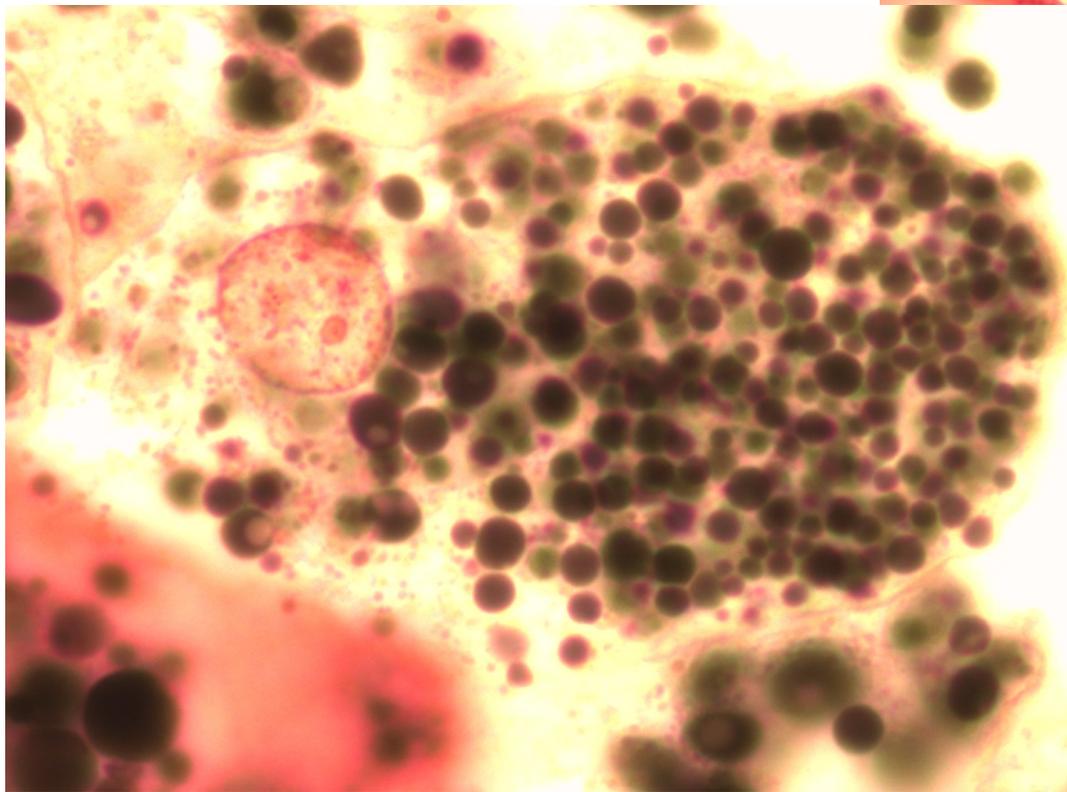
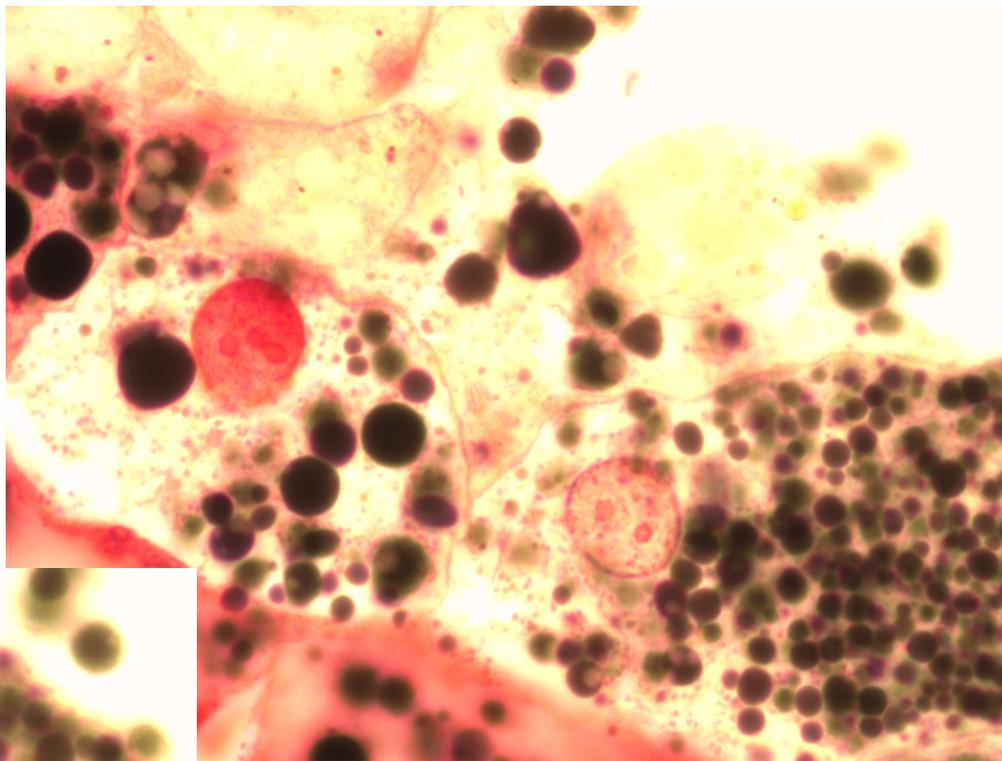
1 мкм

*У животных - в цитозоле*



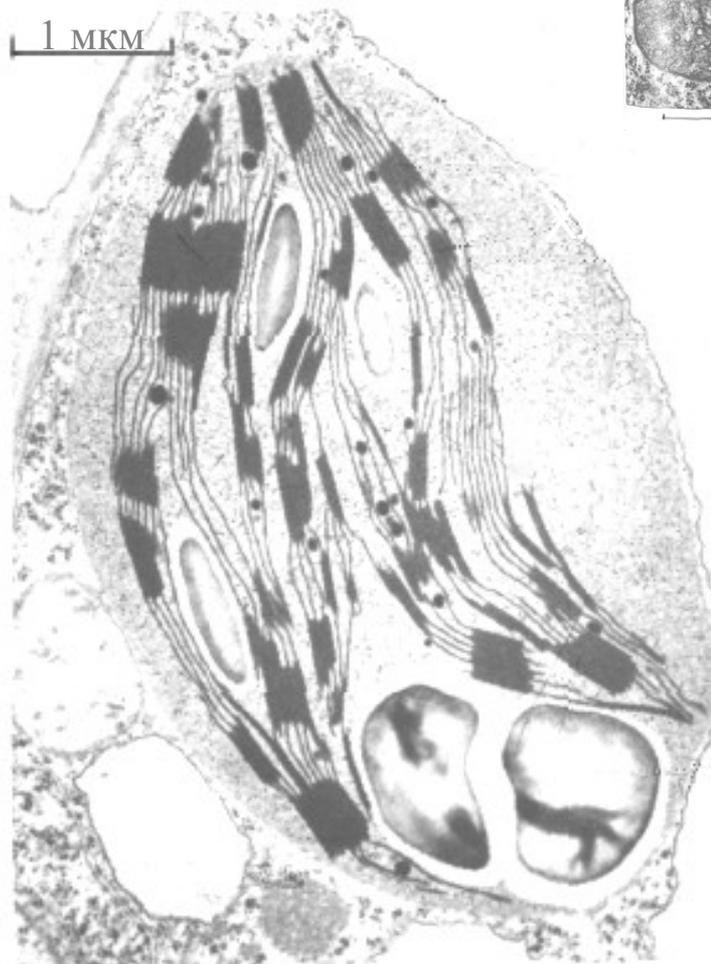
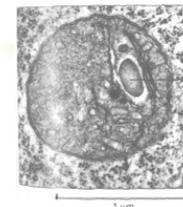
*У растений - в пластидах*

Жировые капли в клетках печени  
(световой микроскоп).



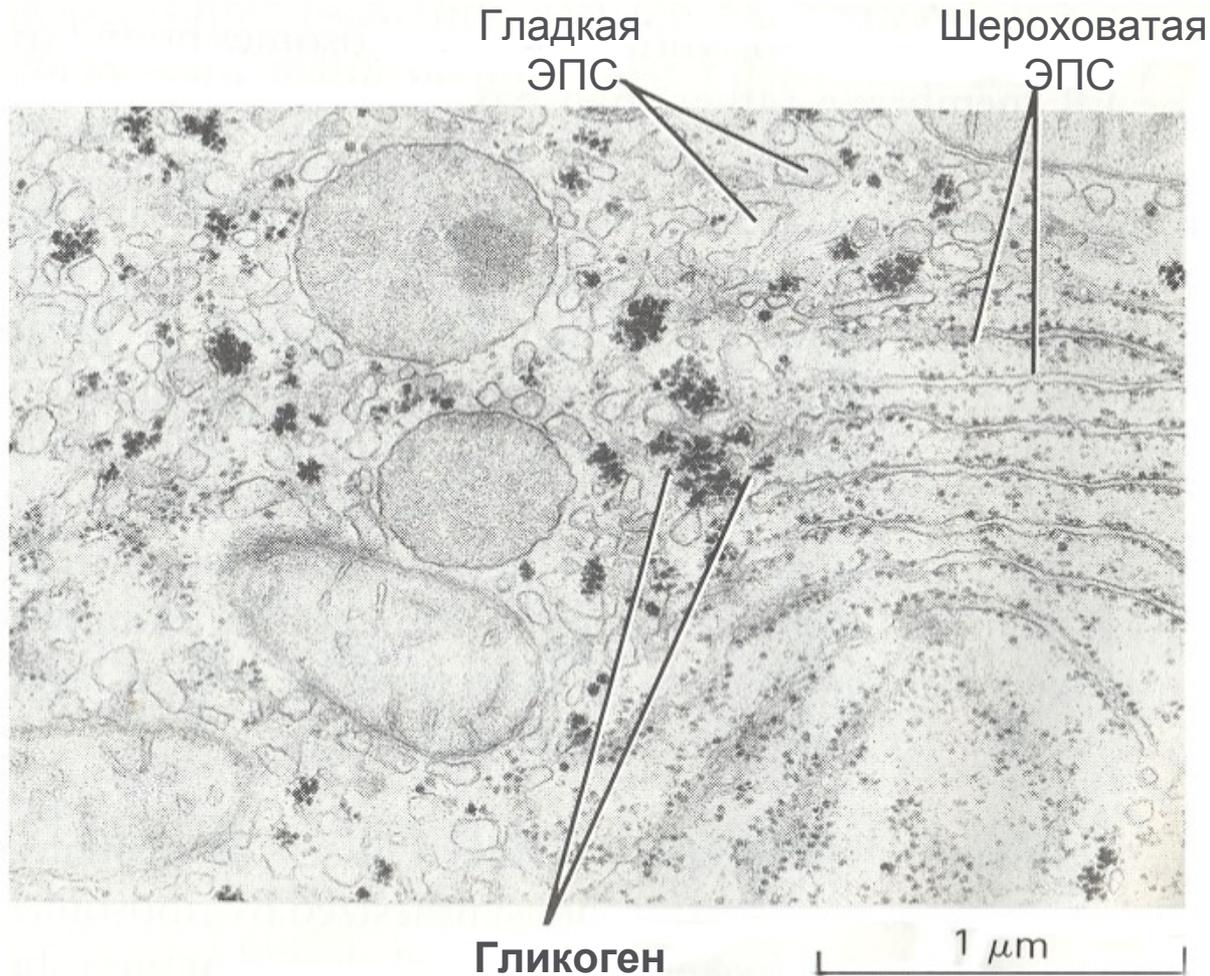
*Запасные полисахариды  
(крахмал) у растений –  
в пластидах*

Пропластида

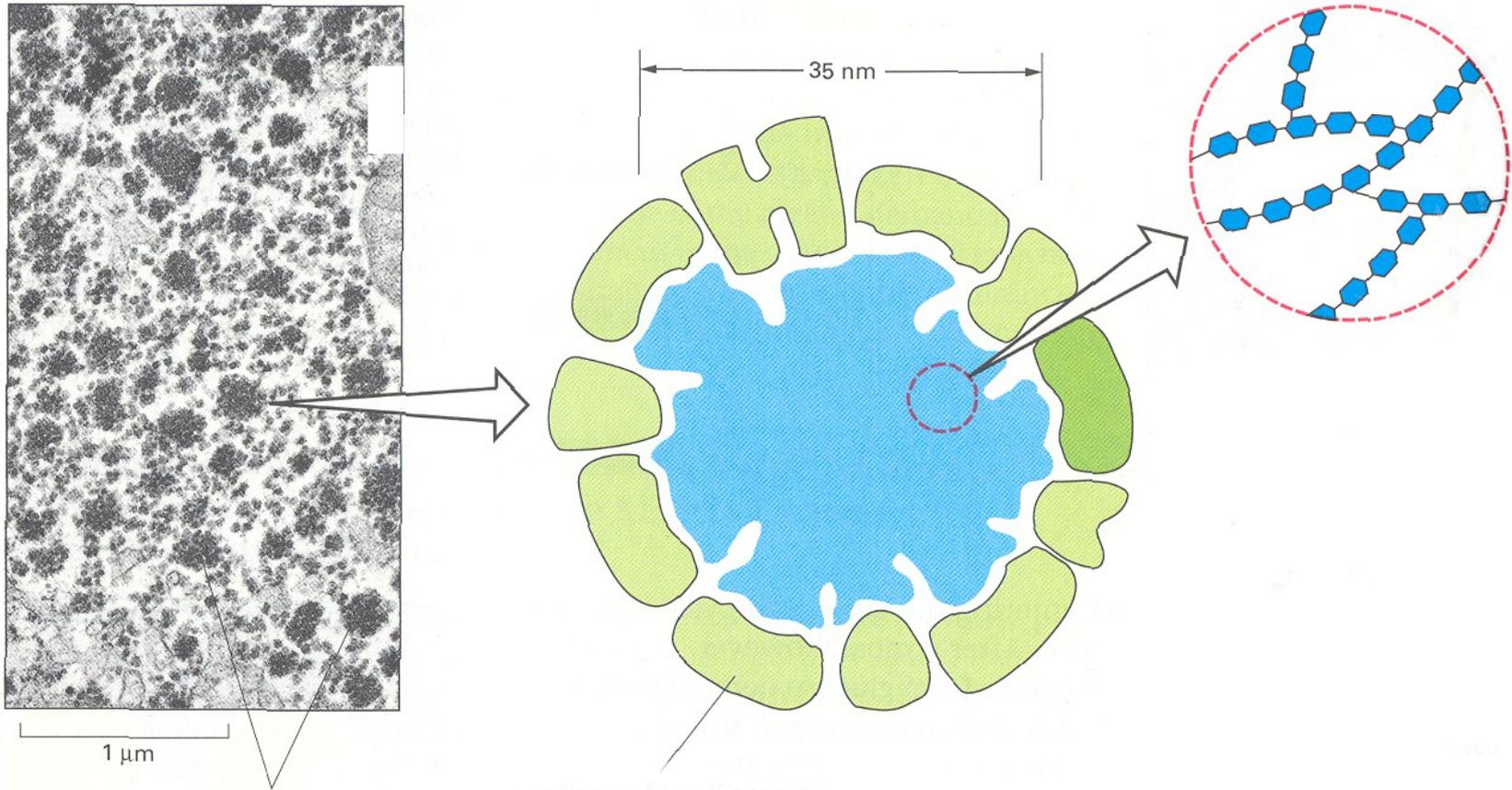


Лейкопласт

# Запасные полисахариды (гликоген) у животных – в цитозоле



# Строение гранул гликогена



**Гликоген**

**Ферменты синтеза и  
расщепления гликогена**

Белок, синтезированный в митохондриях и пластидах, используется только внутри этих органоидов.

Белок, синтезированный в цитозоле, используется и в цитозоле, и во **всех** органоидах.

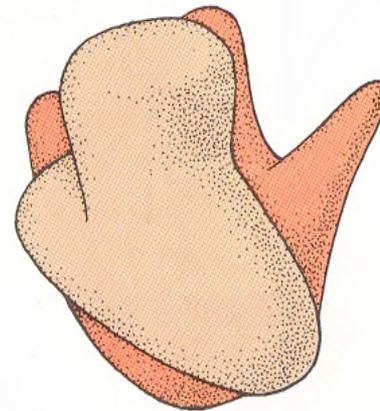
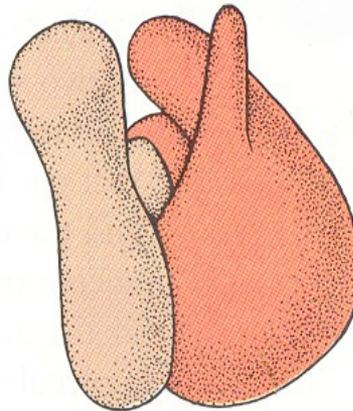
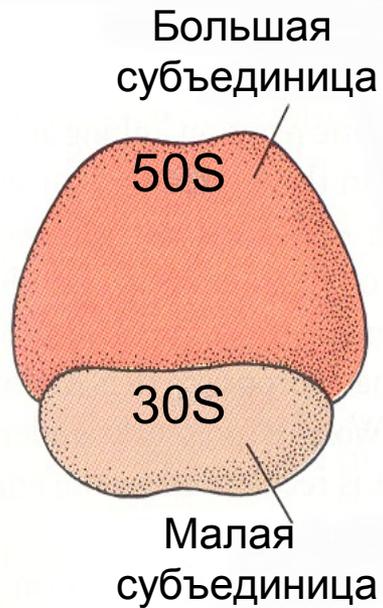
**Как они попадают в разные компартменты?**

# Синтез, созревание и транспорт белков

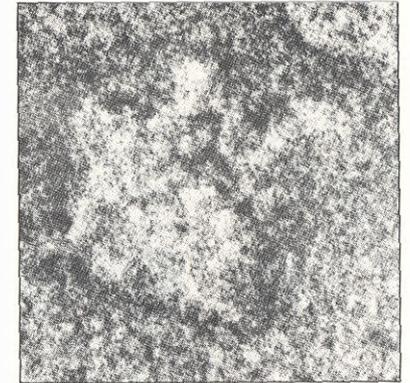
## *Этапы «жизни» белковой молекулы в клетке:*

- *Синтез*
- *Образование вторичной и третичной структуры*
- *Созревание - разрезание, модификации*
- *Формирование четвертичной структуры*
- *Деградация испорченных или отработавших молекул*
- *Транспорт в нужный компартмент*

# Синтез белка осуществляется только на рибосомах

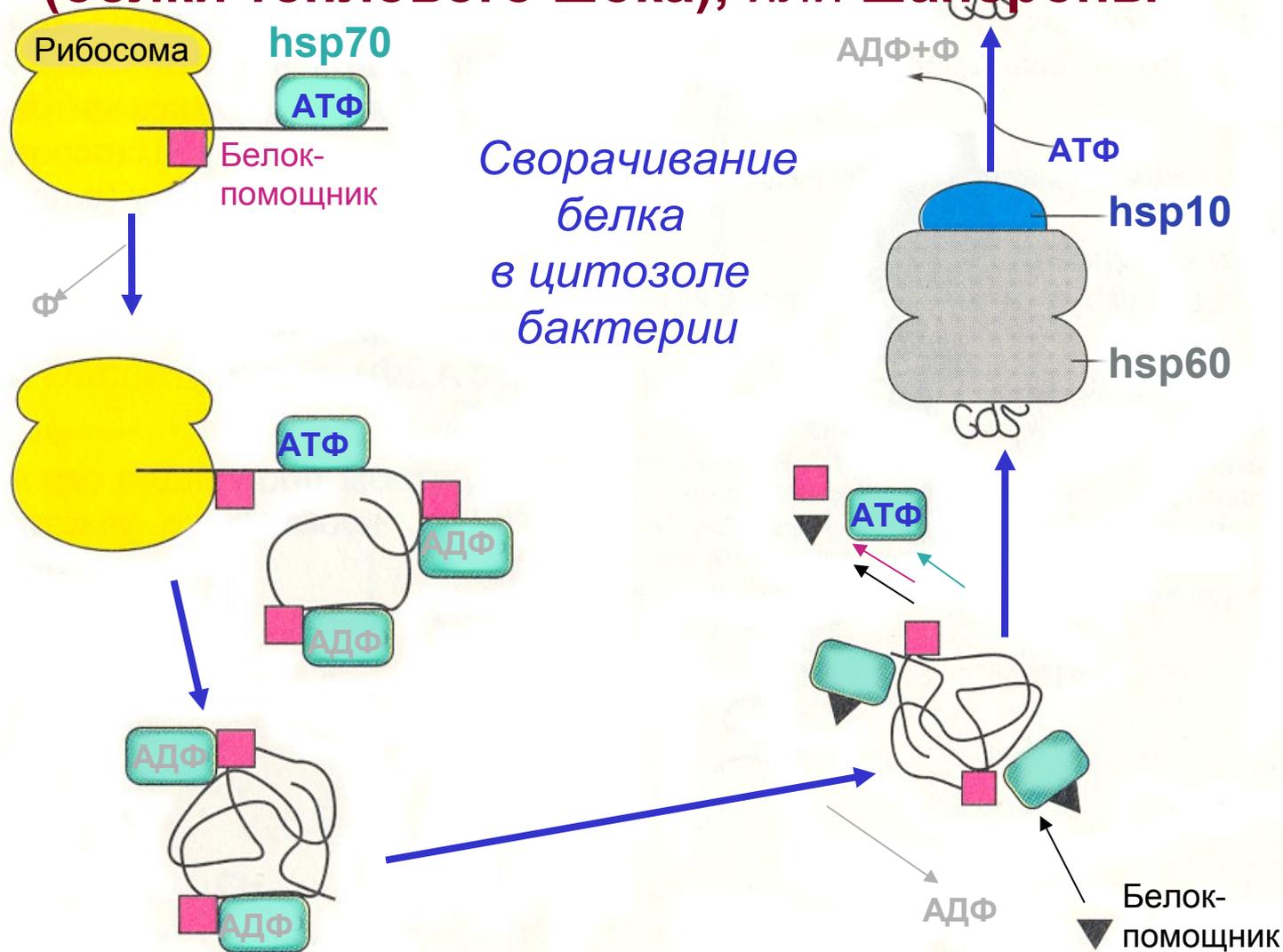


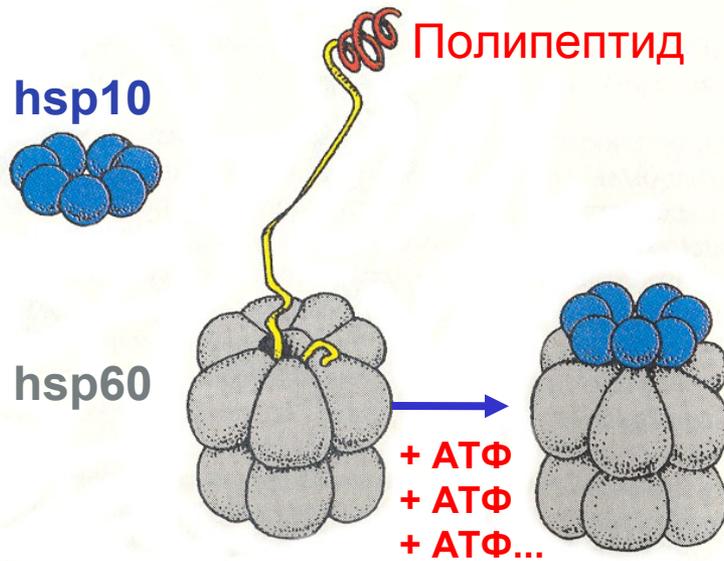
*70S рибосома прокариот*



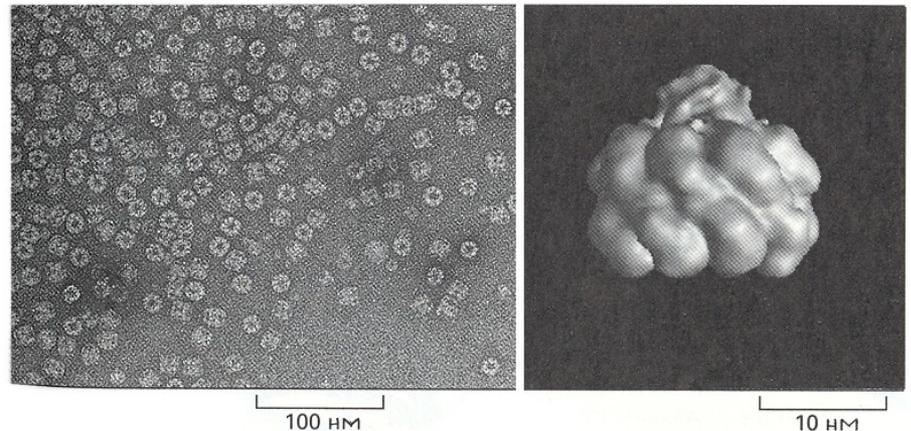
10 нм

Третичная структура может не одна, а несколько разных вариантов. Для «правильного» сворачивания полипептида нужны вспомогательные белки — **hsp** (белки теплового шока), или шапероны





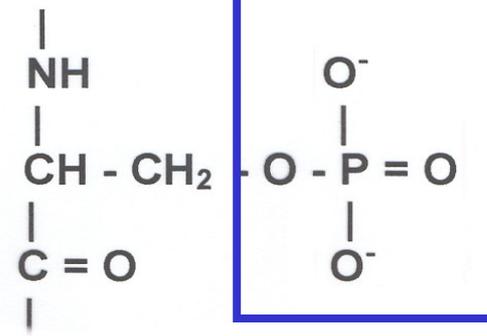
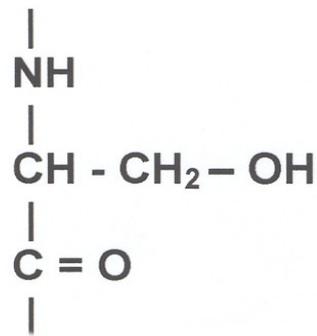
*Одни шапероны поддерживают линейное состояние полипептидов, другие помогают им правильно свернуться*



Очень часто белки модифицируются, т. е. к ним присоединяются разные химически активные группы

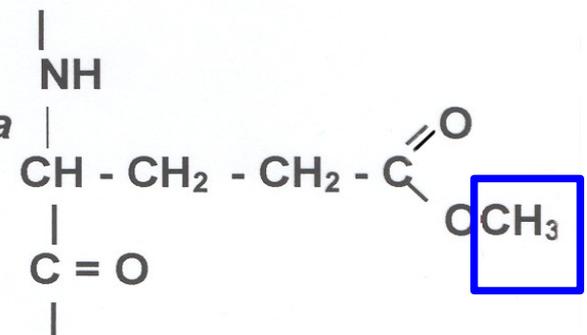
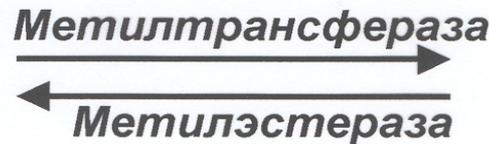
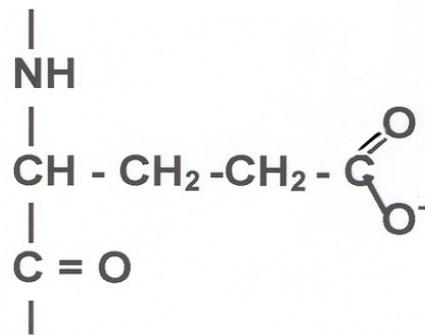
Тре, Тир, Сер

Фосфатная



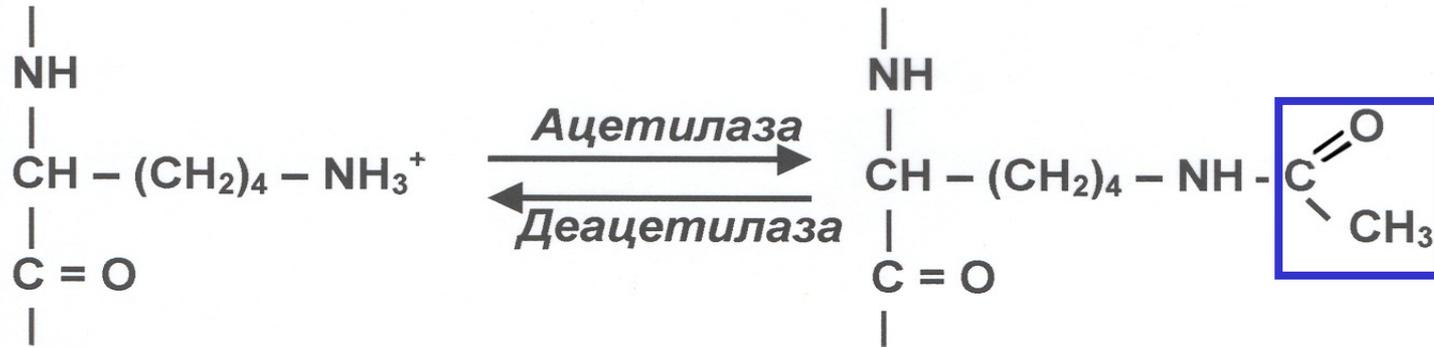
Асп, Глу,

Метильная



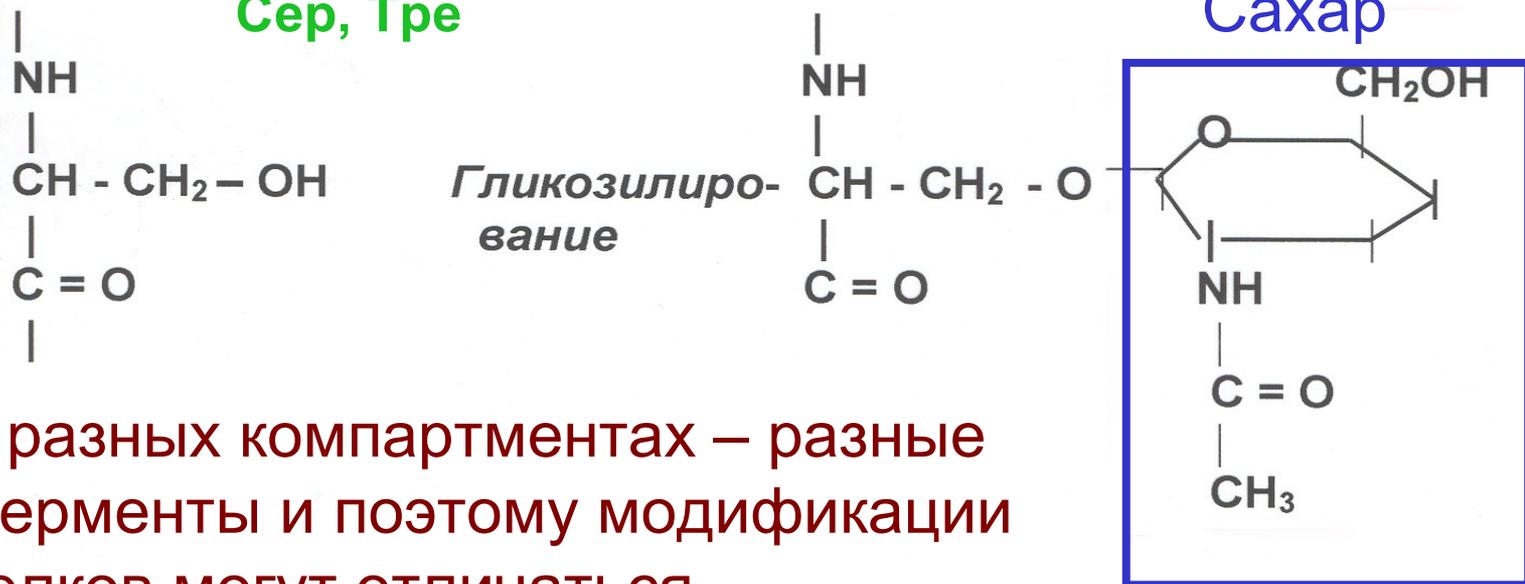
Лиз, Арг

Ацетильная



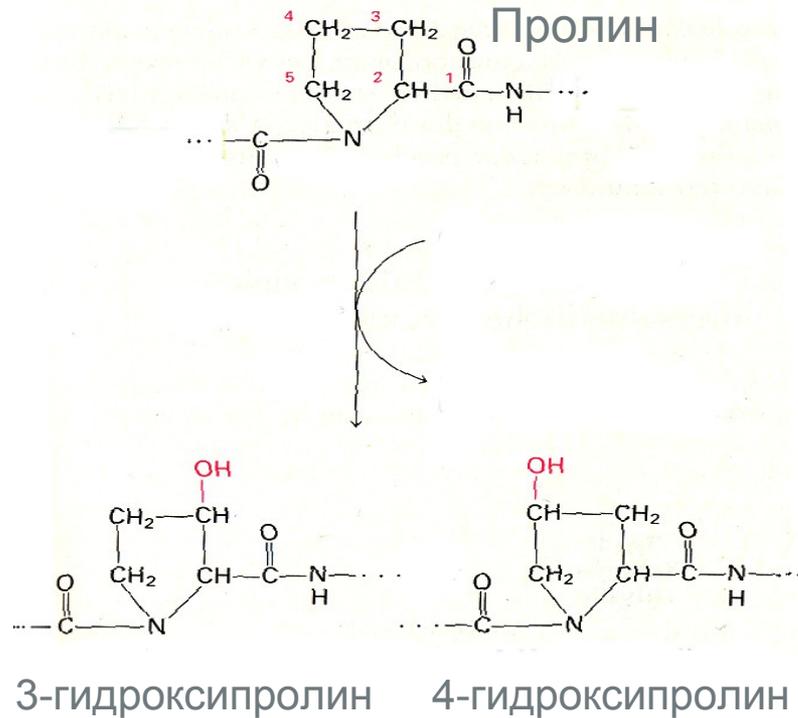
Сер, Тре

Сахар

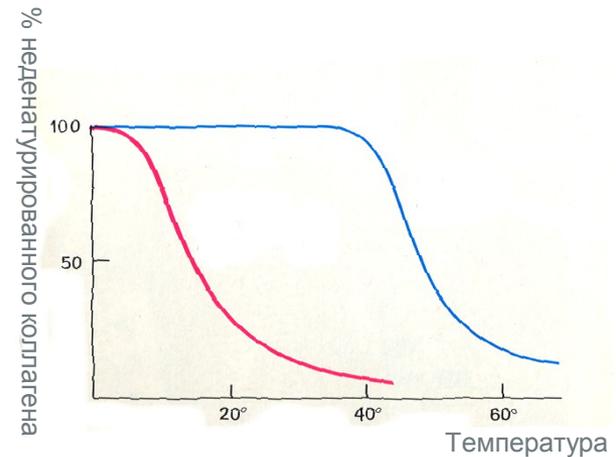


В разных компартментах – разные ферменты и поэтому модификации белков могут отличаться.

## Гидроксилирование – один из вариантов модификации

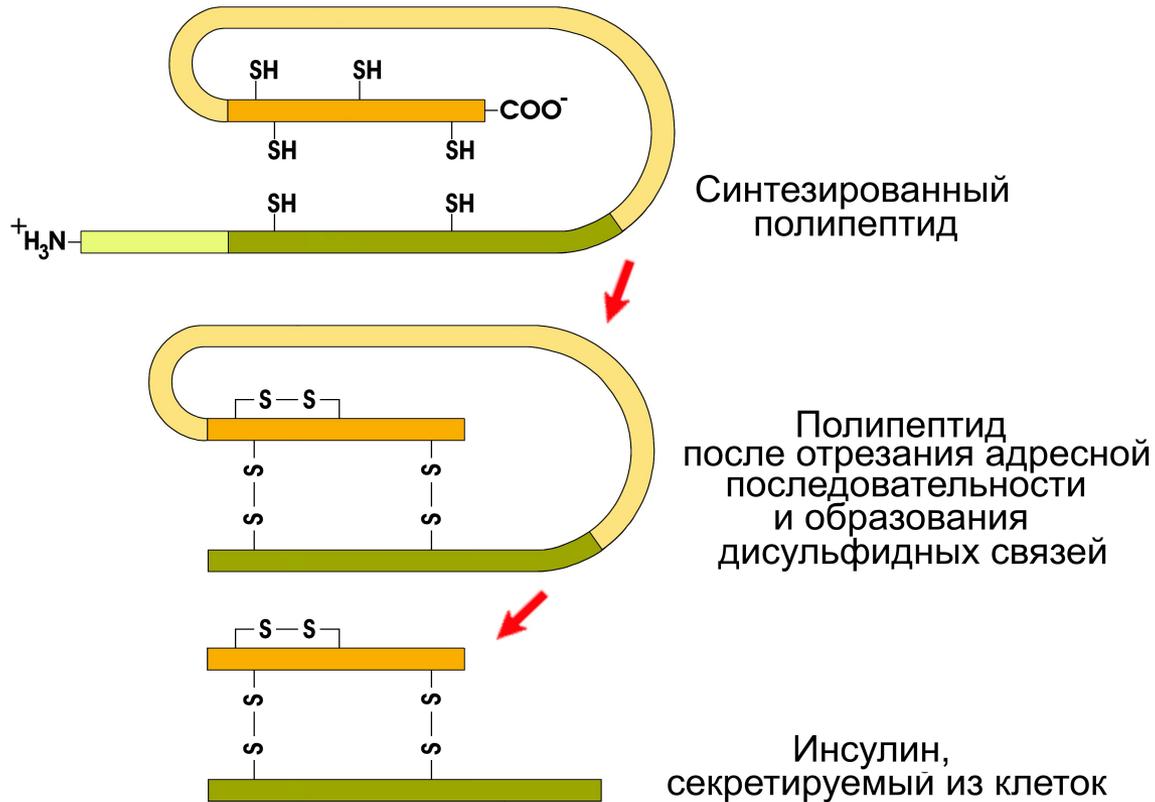


*Кривые денатурации  
нормального коллагена  
и коллагена, содержащего  
негидроксилированные  
пролины*



**Модификации меняют свойства белков**

# После синтеза полипептиды могут укорачиваться и сшиваться.



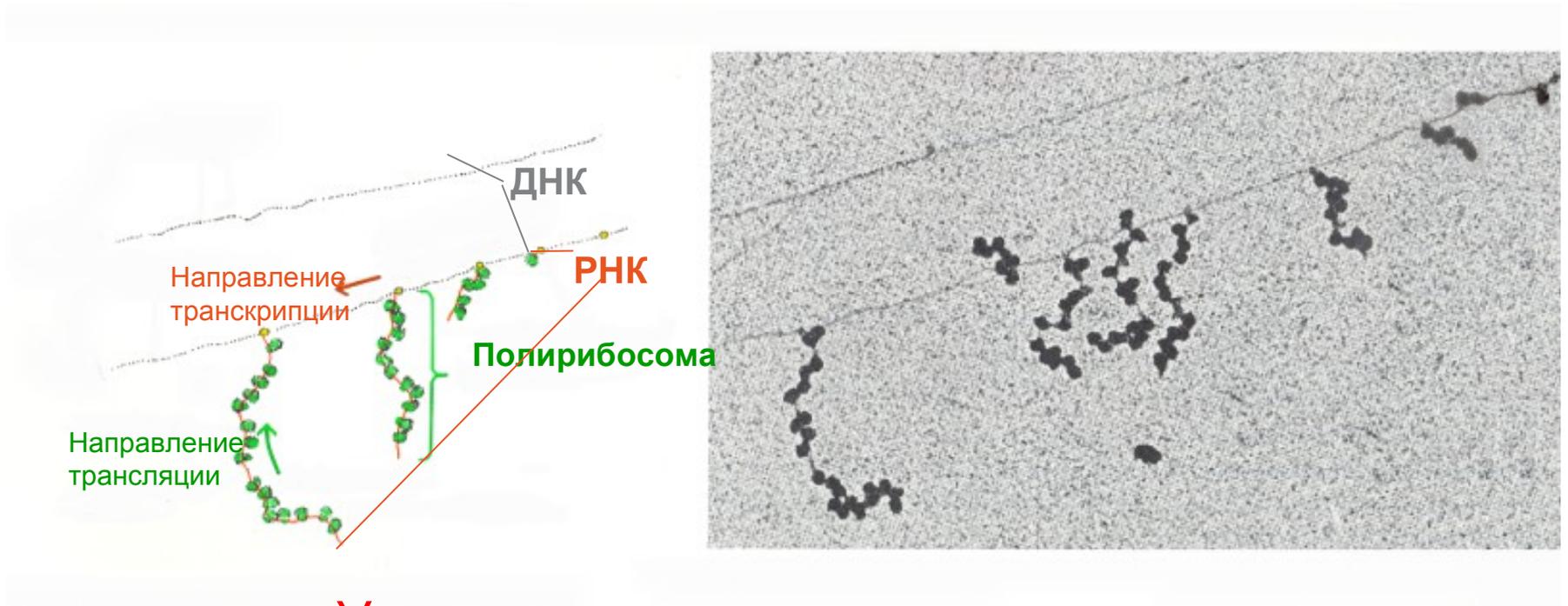
*Этапы созревания  
молекулы инсулина*

Разрушение белков до аминокислот происходит во вторичных **лизосомах** и в цитозоле при участии **протеасом**

**В лизосомах** разрушаются все белки

**В протеасомах** разрушаются белки **неработающие** (неправильно свернутые, не связавшиеся в комплексы, поврежденные); **короткоживущие** (у которых есть специальная метка, как у циклинов).

У прокариот транскрипция, трансляция и функционирование белка происходят в одном компартменте



У эукариот транскрипция, трансляция и функционирование белка могут осуществляться в разных компартментах

Существует консервативная система распределения белков по клеточным компартментам.

Трансляция идёт либо на свободных рибосомах в цитозоле, либо на рибосомах, прикрепленных к мембране ЭПС со стороны цитозоля

**ЦИТОЗОЛЬ**  
Начало трансляции

Конец трансляции

Деградация

**ЭПС**

Конец трансляции  
упаковка, модификация

**Аппарат Гольджи**

Сортировка,  
модификация

**Лизосомы**

**Секреторные гранулы**

**Плазматическая мембрана,  
внеклеточное пространство**

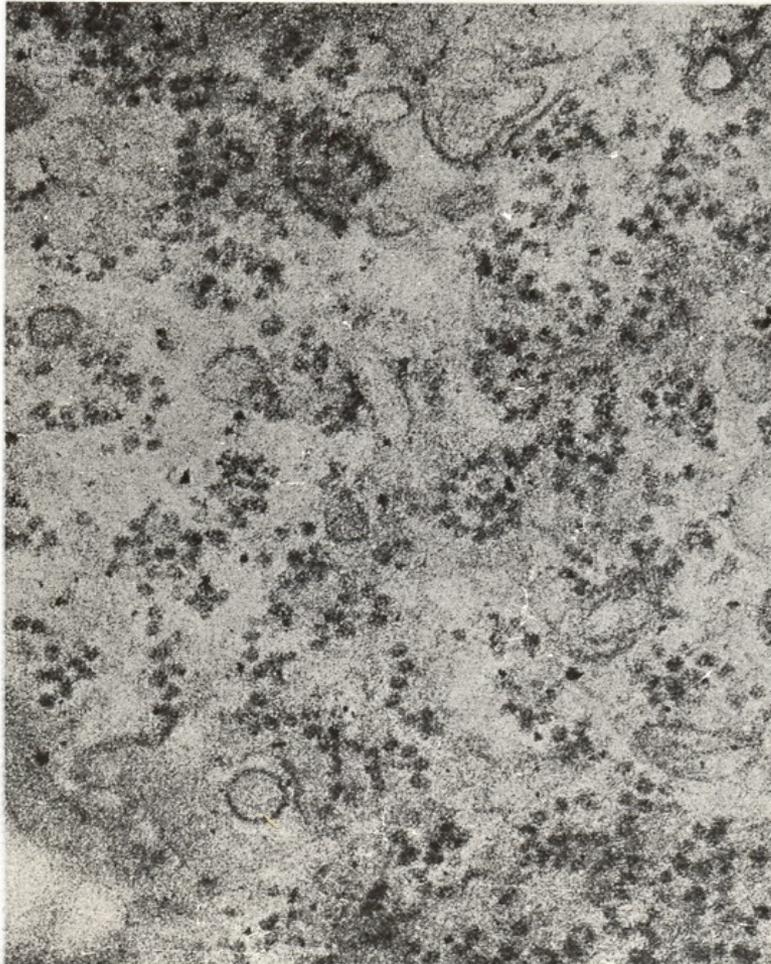
**ЦИТОЗОЛЬ**  
Упаковка,  
модификация

**Ядро, пероксисомы,  
митохондрии и пластиды**

**Начинается трансляция всегда на свободных рибосомах**



***Свободные рибосомы  
в цитозоле***



***Шероховатая ЭПС и  
свободные рибосомы***



## Клеточные компартменты на примере гепатоцита

Компартмент	% клеточного объема	Количество в клетке
Ядро	6	1
Цитозоль	54	1
Митохондрии	22	1700
Пероксисомы	1	400
ЭПС шероховатый	9	
ЭПС гладкий + аппарат Гольджи	6	
Лизосомы	1	300

Белки, которые работают в ядре, пероксисомах, митохондриях и пластидах, синтезируются в цитозоле на свободных рибосомах от начала до конца, затем модифицируются и цитозольные белки начинают работать в цитозоле, остальные транспортируются в ядро, пероксисомы, митохондрии и пластиды.

Белки, которые необходимо транспортировать в ЭПС, начинают синтезироваться тоже в цитозоле на свободных рибосомах. Затем эти рибосомы прикрепляются к ЭПС, и трансляция продолжается одновременно с транспортом пептида в полость ЭПС.

Для транспорта в нужный компартмент необходима **адресная, или сигнальная, последовательность** — аминокислотная последовательность в каком-то участке пептида. Эта последовательность различается у разных «адресов».

В полость ЭПС	$H_2N(\dots)$ - Мет-Мет-Сер-Фен-Вал-Сер- <b>Лей-Лей-Лей-Вал-Гли-Иле-Лей-Фен-Три-Ала-Тре-Глу-Ала-Глу-Глн-Лей-Тре-Лиз-Цис-Глу-Вал-Фен-Глн...</b>
В митохондрии	$+H_3N$ -Мет-Лей-Сер-Лей-Арг-Глн-Сер-Иле-Арг-Фен-Фен-Лиз-Про-Ала-Тре-Арг-Тре-Лей-Цис-Сер-Сер-Арг-Тир-Лей-Лей-...
В пероксисомы	$\dots$ -Сер-Лиз-Лей- $COO^-$
В ядро	$+H_3N$ ...Про-Про- <b>Лиз-Лиз-Лиз-Арг-Лиз-Вал....</b>



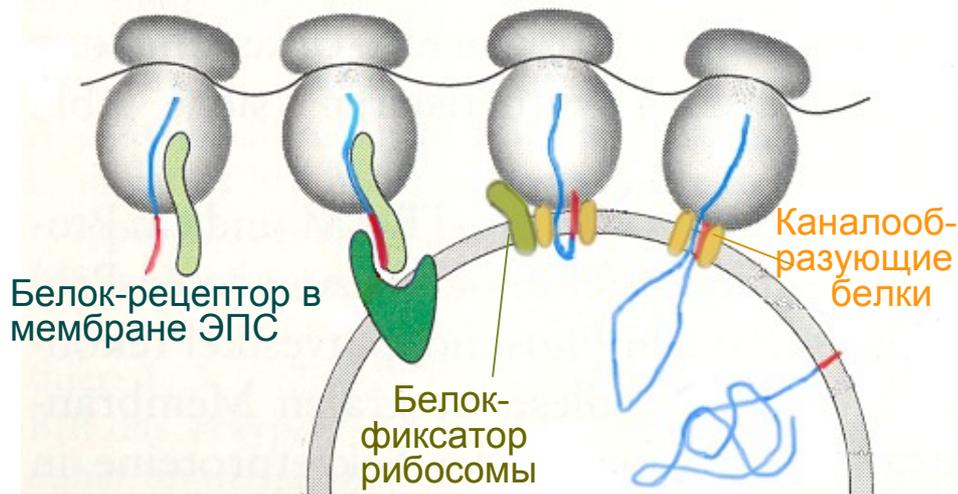
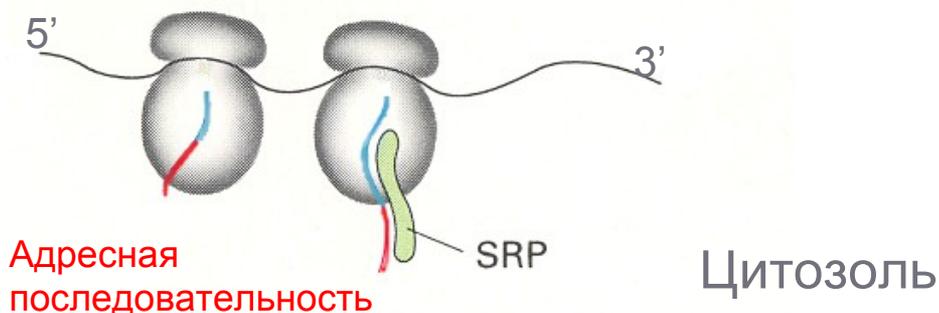
***Для транспорта полипептидов требуются:***

- *сигнальная (ые) последовательность (и)  
в транспортируемом пептиде*
- *рецептор в мембране*
- *каналообразующие белки*
- *энергетические затраты*
- *шапероны в цитозоле и внутри компартмента (если надо)*

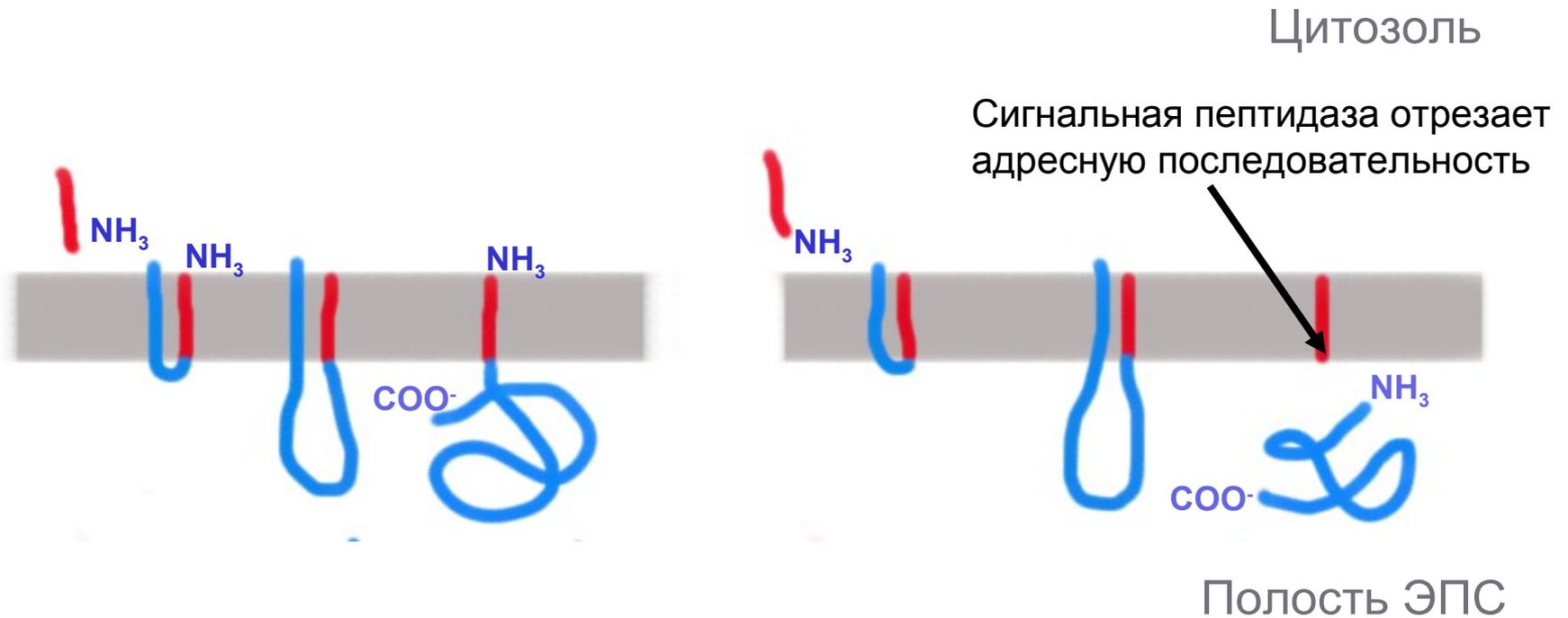
Для транспорта рибосомы из цитозоля на поверхность мембраны ЭПС необходим посредник - SRP (частица, узнающая адресную последовательность в синтезируемом полипептиде)  
(11S, 25нм) содержит РНК (300 н., 7S) и 6 белков



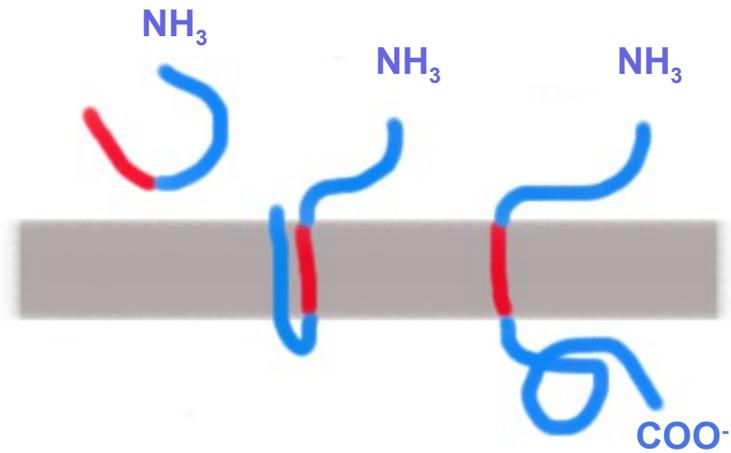
- SRP соединяется с адресной последовательностью, занимая А-центр в рибосоме. Трансляция останавливается. При встрече с рецептором на мембране ЭПС рибосома фиксируется на мембране, образуется канал. SRP уходит и трансляция продолжается внутри ЭПС



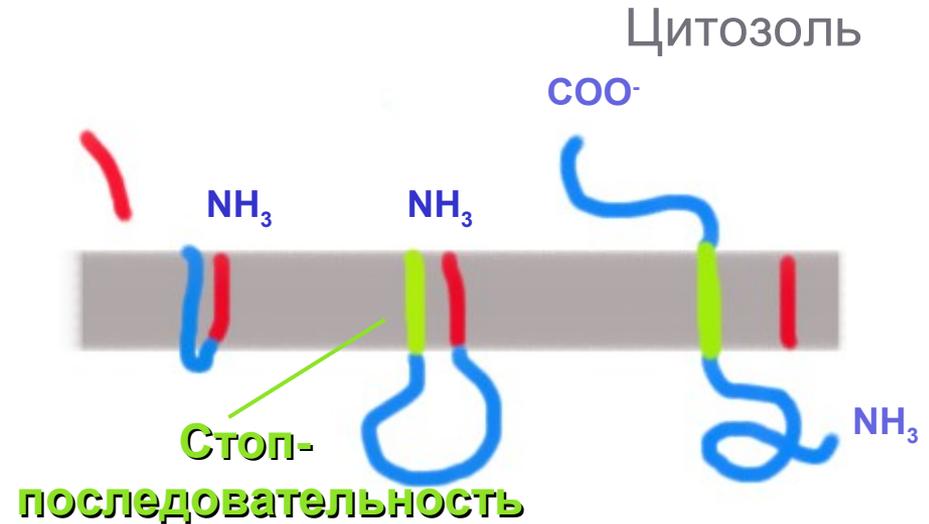
Синтезированный полипептид может сохранить связь с мембраной, а может отрезаться и тогда он окажется свободным в полости ЭПС



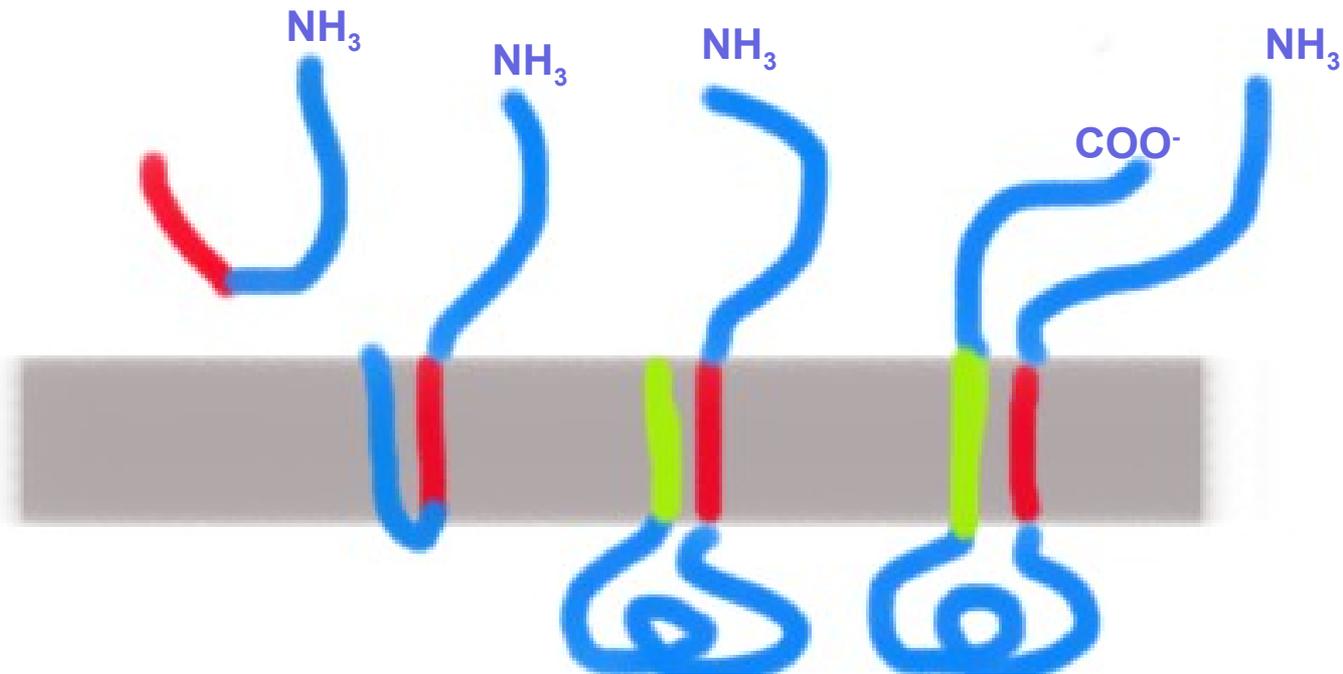
Адресная последовательность не всегда находится на N-конце полипептида



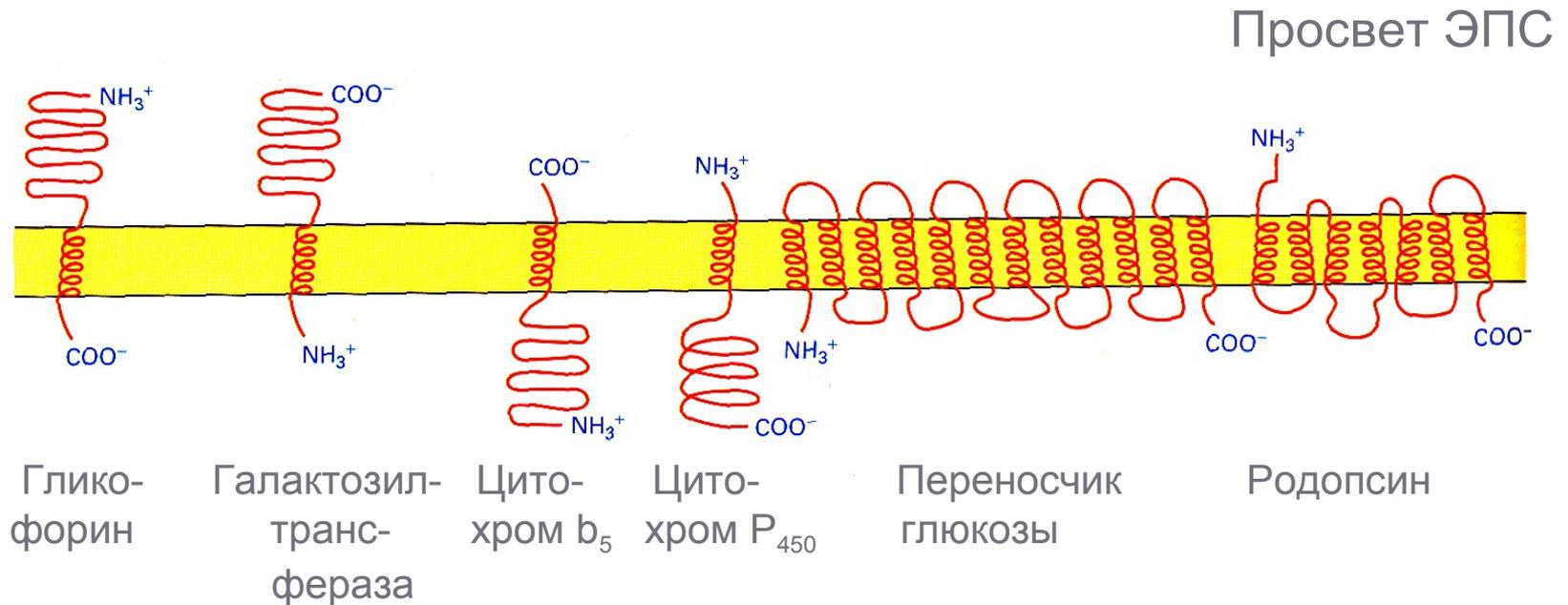
Кроме адресной существует **стоп-последовательность**, которая застревает в мембране. Рибосома отсоединяется от мембраны и продолжает трансляцию в цитозоле



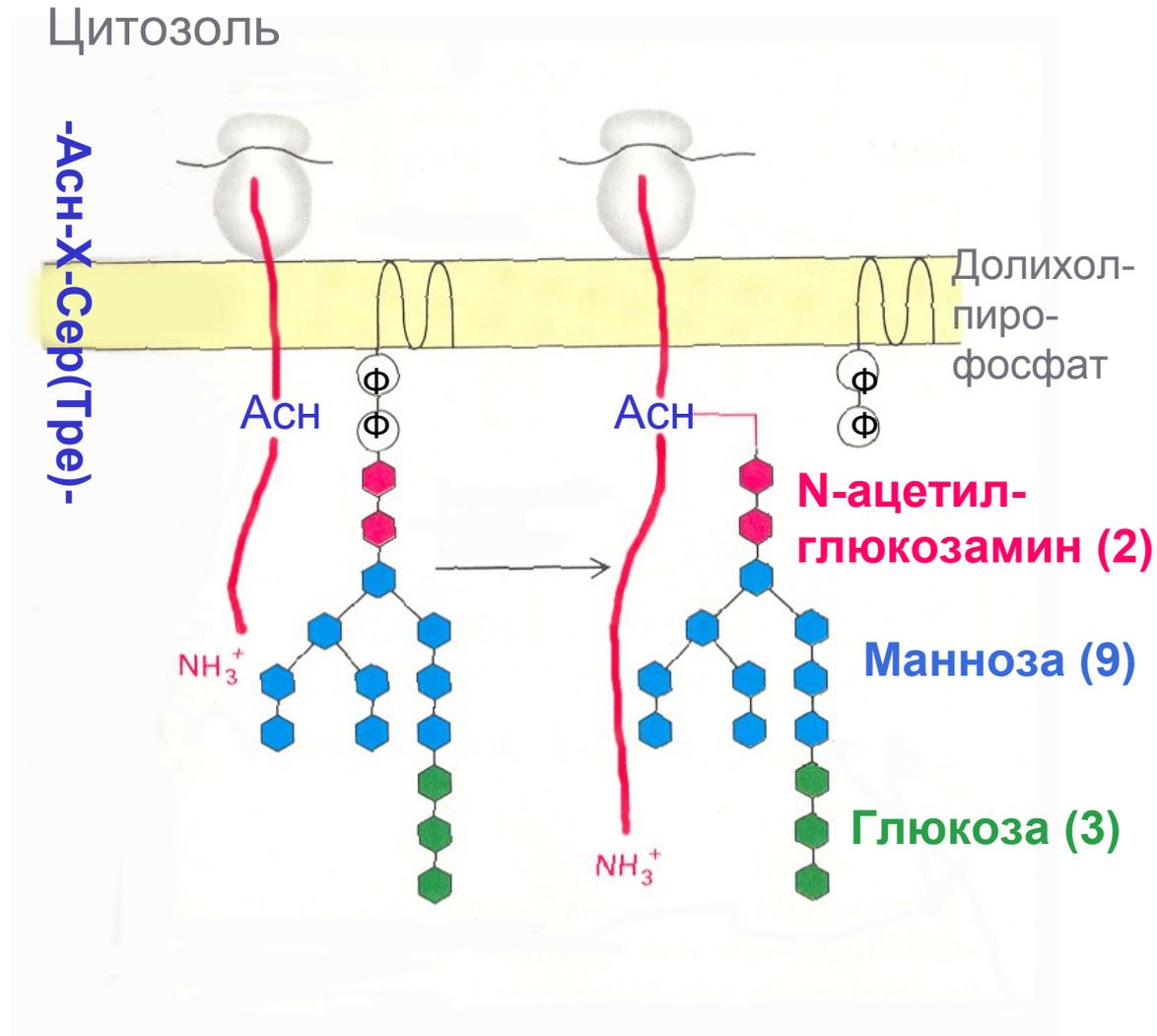
Адресная последовательность «приводит» рибосому  
на мембрану ЭПС,  
стоп-последовательность «заставляет» ее вернуться  
в цитозоль



Интегральные белки в мембране могут быть по-разному ориентированы и пересекать липидный бислой один или несколько раз. Такое достигается чередованием нескольких сигнальных и стоп-последовательностей



# Еще до окончания трансляции в полости ЭПС происходит N-гликозилирование



Фермент олигосахарид-протеин-трансфераза перебрасывает олигосахарид с долихолпирофосфата на аспарагин.

## **Функции шероховатой эндоплазматической сети:**

Досинтез пептидов для ЭПС, аппарата Гольджи, лизосом, секреторных пузырьков, плазматической мембраны и внеклеточного матрикса.

Синтез пептидов сопровождается **котрансляционными процессами:**

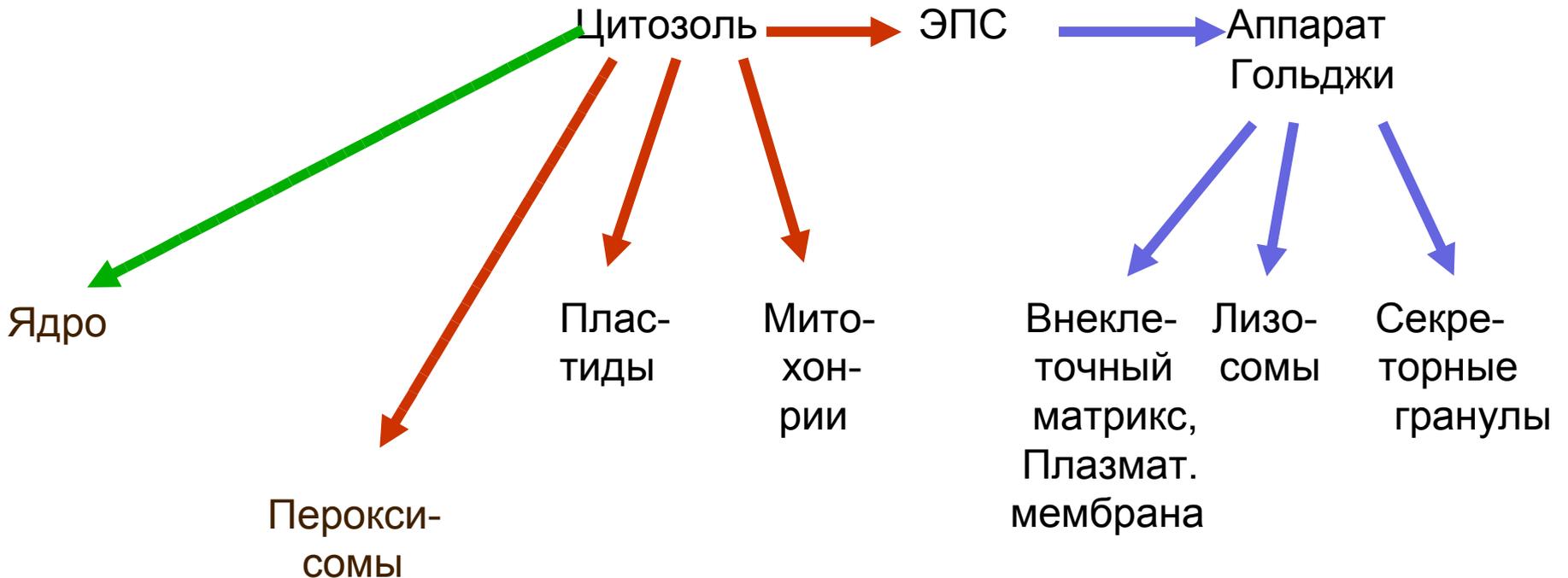
- транспорт через мембрану ЭПС,
- гликозилирование
- отрезание (если есть) сигнальной последовательности.

# Транспорт белков

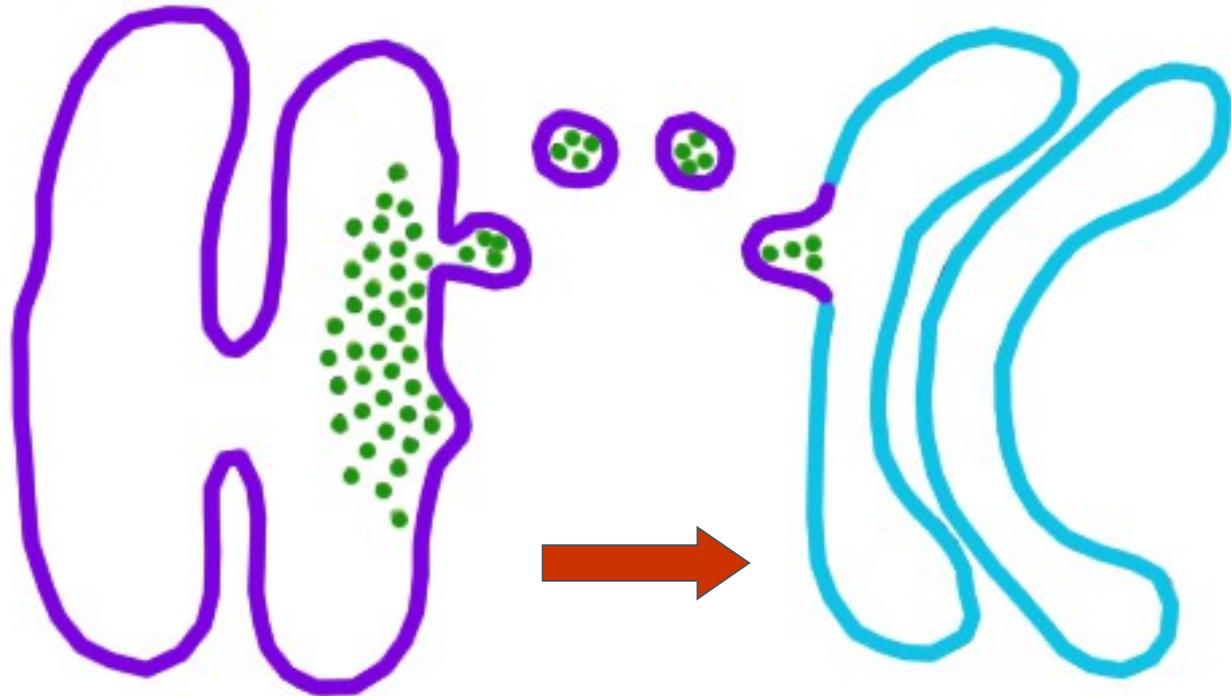
*Транспорт через  
поровый комплекс*

*Трансмембранный  
перенос*

*Пузырьковый  
транспорт*



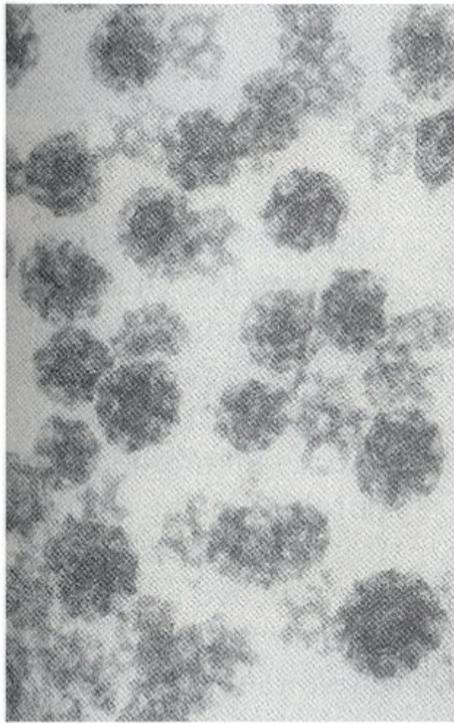
Пузырьковый транспорт - перенос из компартмента в компартмент участков мембран и белков без изменения их конформации



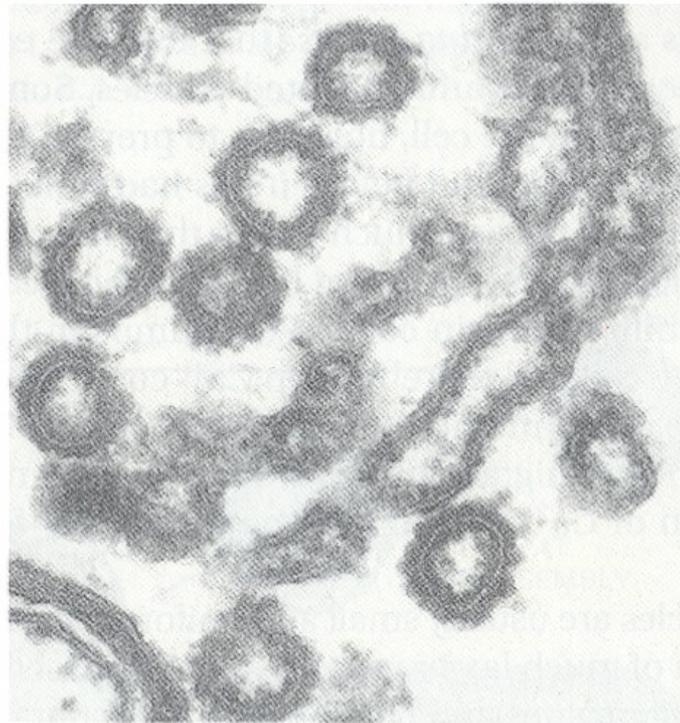
В глобулярном состоянии белки переносятся через поровый комплекс в **ядро** и через мембрану в **пероксисомы**. В **митохондри**, в **пластиды** и в **полость ЭПС** белки идут в линейном состоянии, и приобретают необходимую третичную структуру уже внутри этих компартментов, где есть белки теплового шока.

## Транспортные пузырьки двух типов:

Клатриновые и коатомерные. Их диаметр около 50 нм.

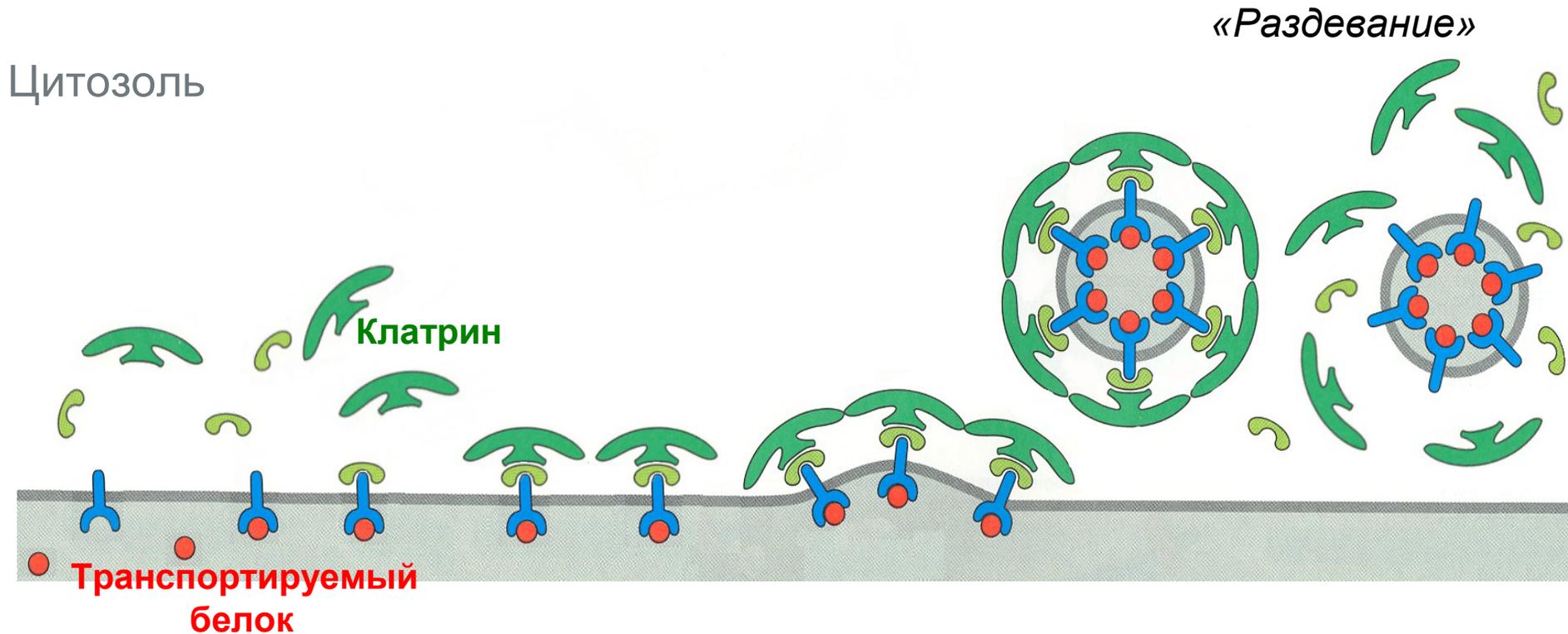


100 nm



100 nm

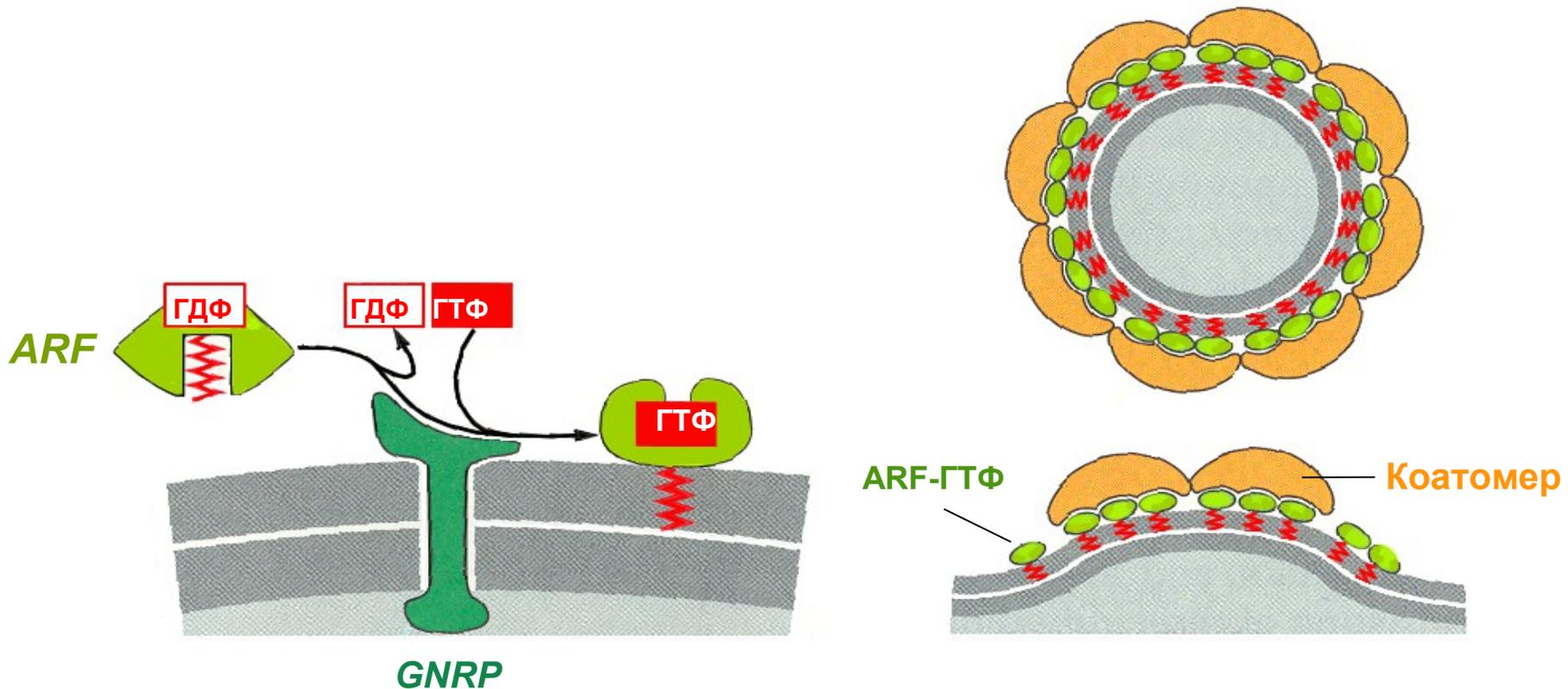
1. Образование клатринового пузырька начинается с присоединения **транспортируемого белка** к **рецептору**.
2. Затем к рецептору присоединяется **адаптин**, а к **адаптину** — **клатрин**.
3. **Клатрины** соединяются друг с другом, изгибая мембрану.
4. С помощью дополнительных белков отщепляется пузырек.
5. Специальная АТФаза «раздевает» пузырек, отсоединяя **клатрины** и **адаптины**



Так же как клатриновые, образуются коатомерные пузырьки. Вместо клатринов в них коатомеры, а вместо белка-рецептора белок ARF. ARF закорен в мембране со стороны цитозоля с помощью жирной кислоты.

После отщепления пузырька специальный фермент снимает с мембраны коатомеры и ARF-белки.

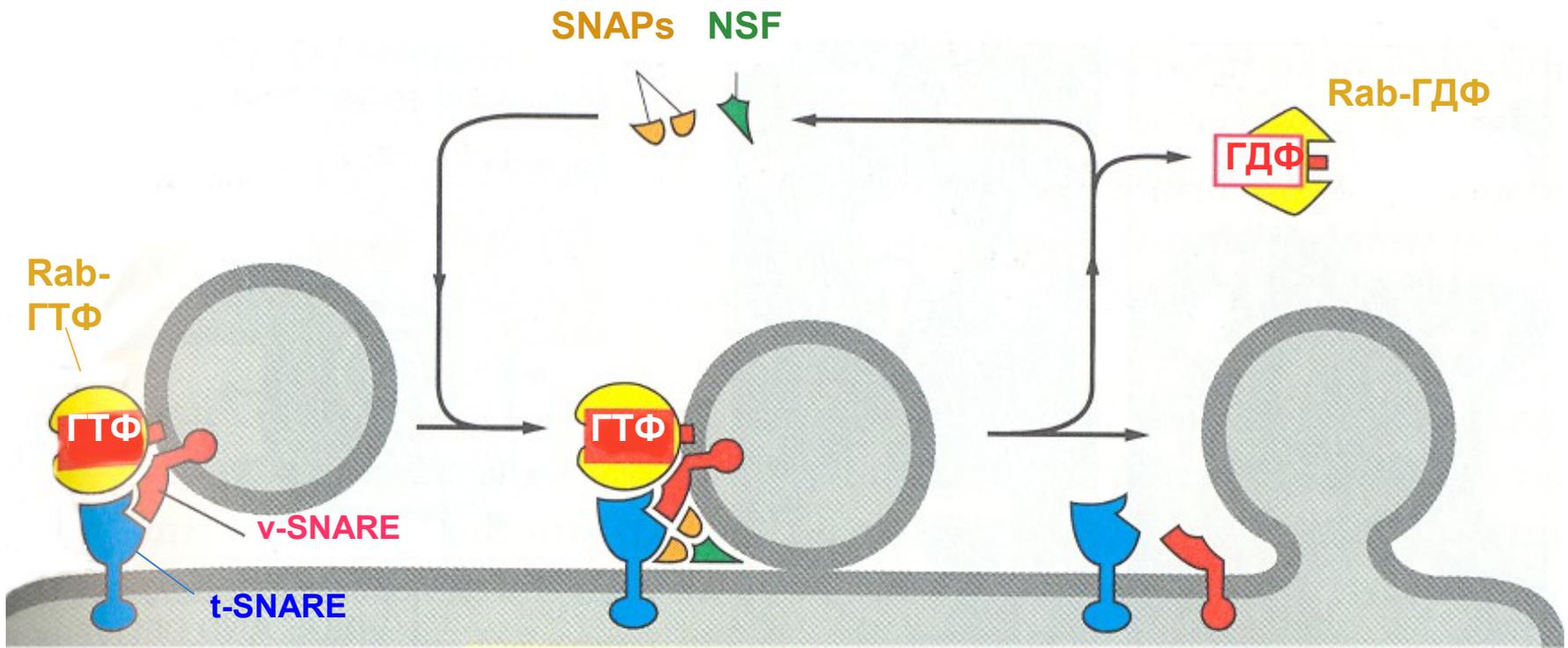
В коатомерные пузырьки собираются любые белки.



В мембранах транспортных пузырьков записан адрес прикрепления. Это **Rab-белки** и белки **v-SNARE**.

“Почтовыми ящиками” являются рецепторы **t-SNARE**

Специальные белки участвуют в прикреплении транспортного пузырька и слиянии его мембраны с мембраной компартмента.



**Два вида  
пузырькового  
транспорта:**

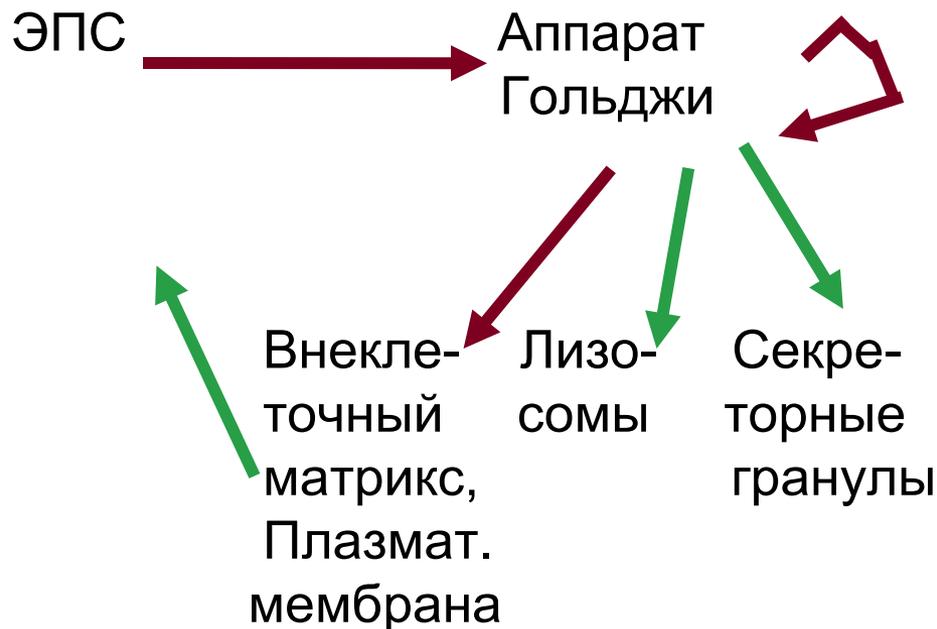
**Селекти-  
руемый**

**Клатри-  
новые  
пузырьки**

**Неселекти-  
руемый**

**Коатомер-  
ные  
пузырьки**

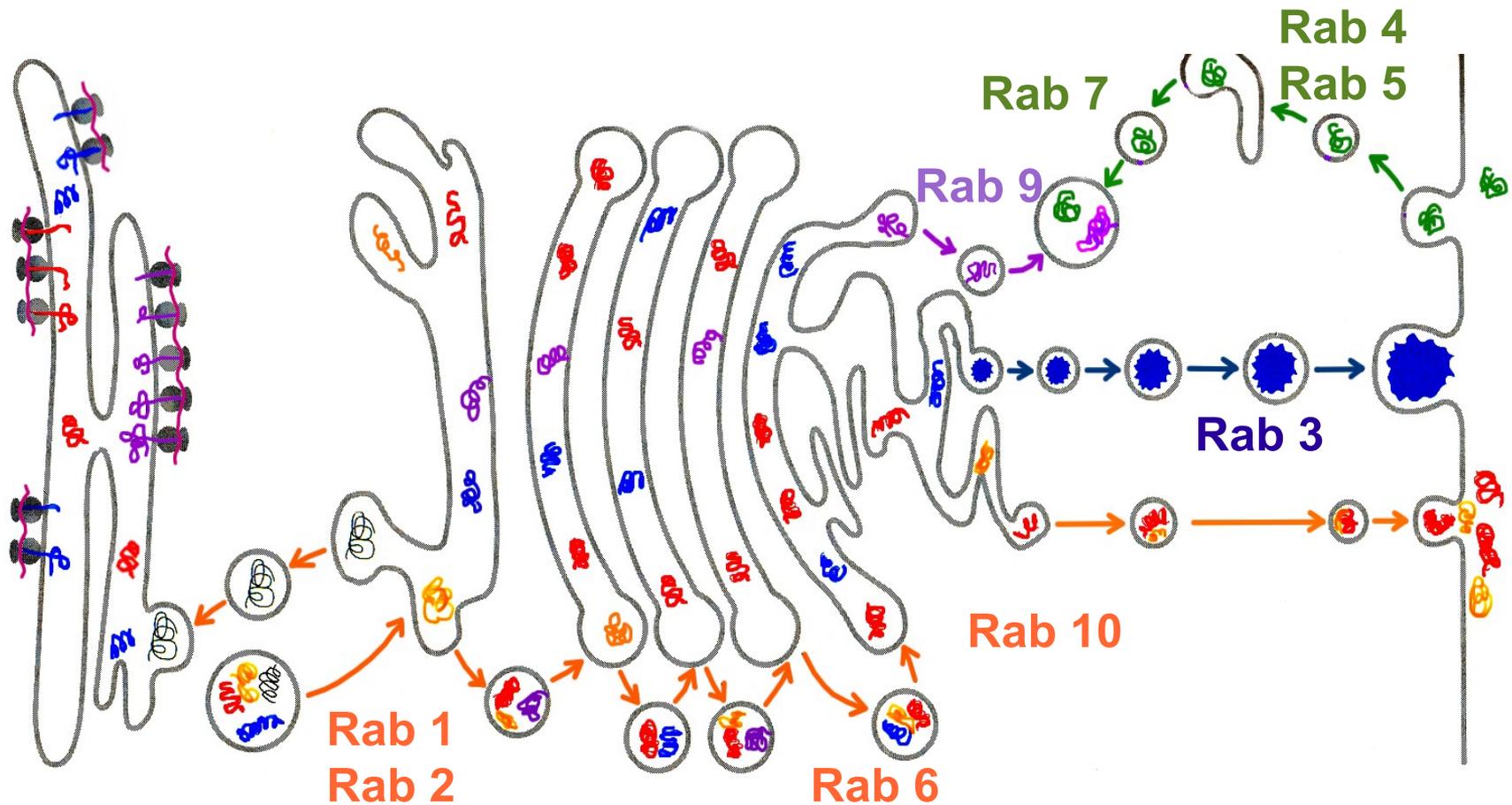
Клатриновые пузырьки собирают в себя **определенные** белки с помощью рецепторов, а коатомерные берут все белки.



Известно много разных **Rab**-белков. Они определяют, к какой мембране должен прикрепиться транспортный пузырек.

ЭПС

Аппарат Гольджи



Транспортные пузырьки к аппарату Гольджи и от него на электронно-микроскопической фотографии фрагмента клетки.

