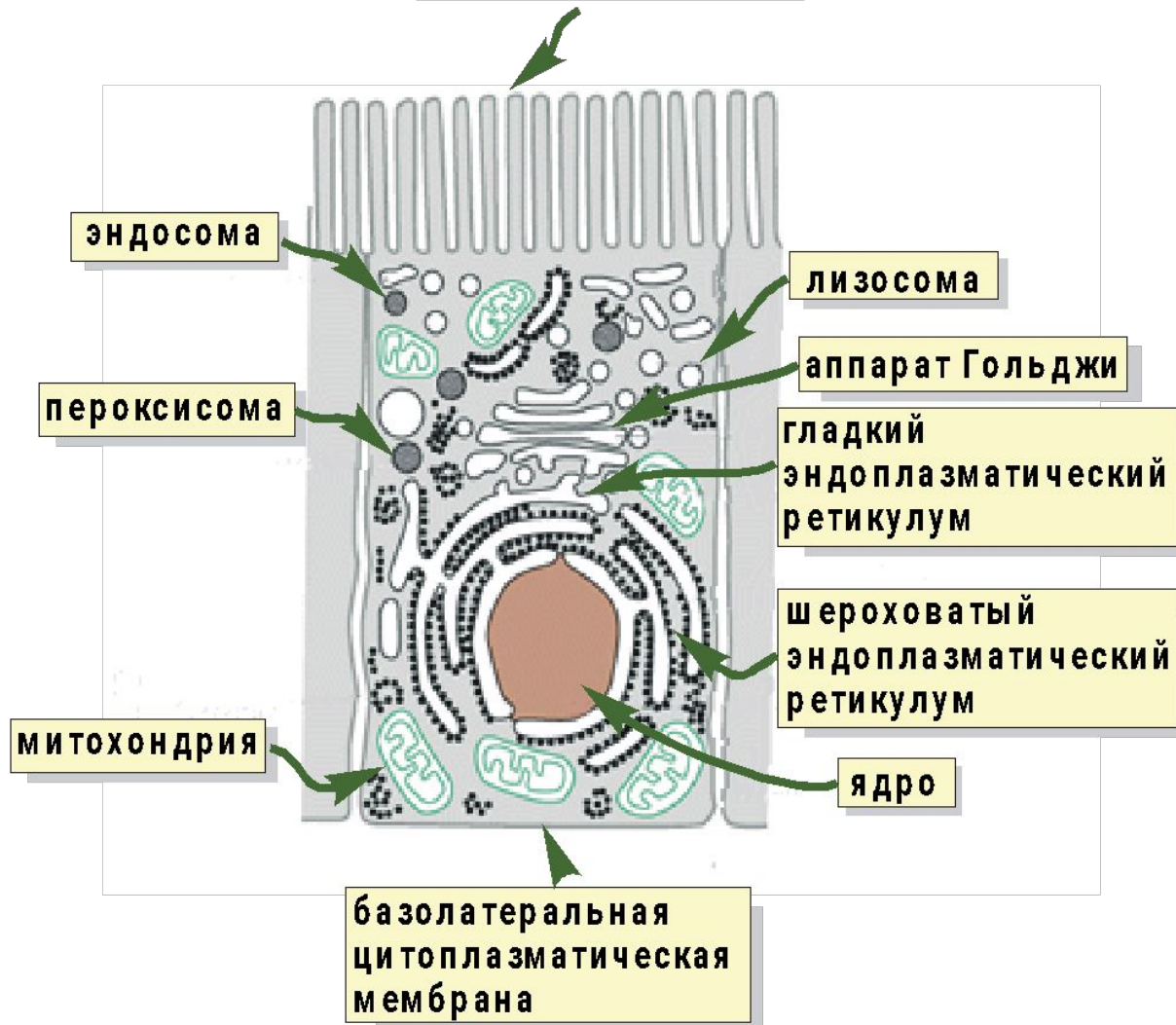


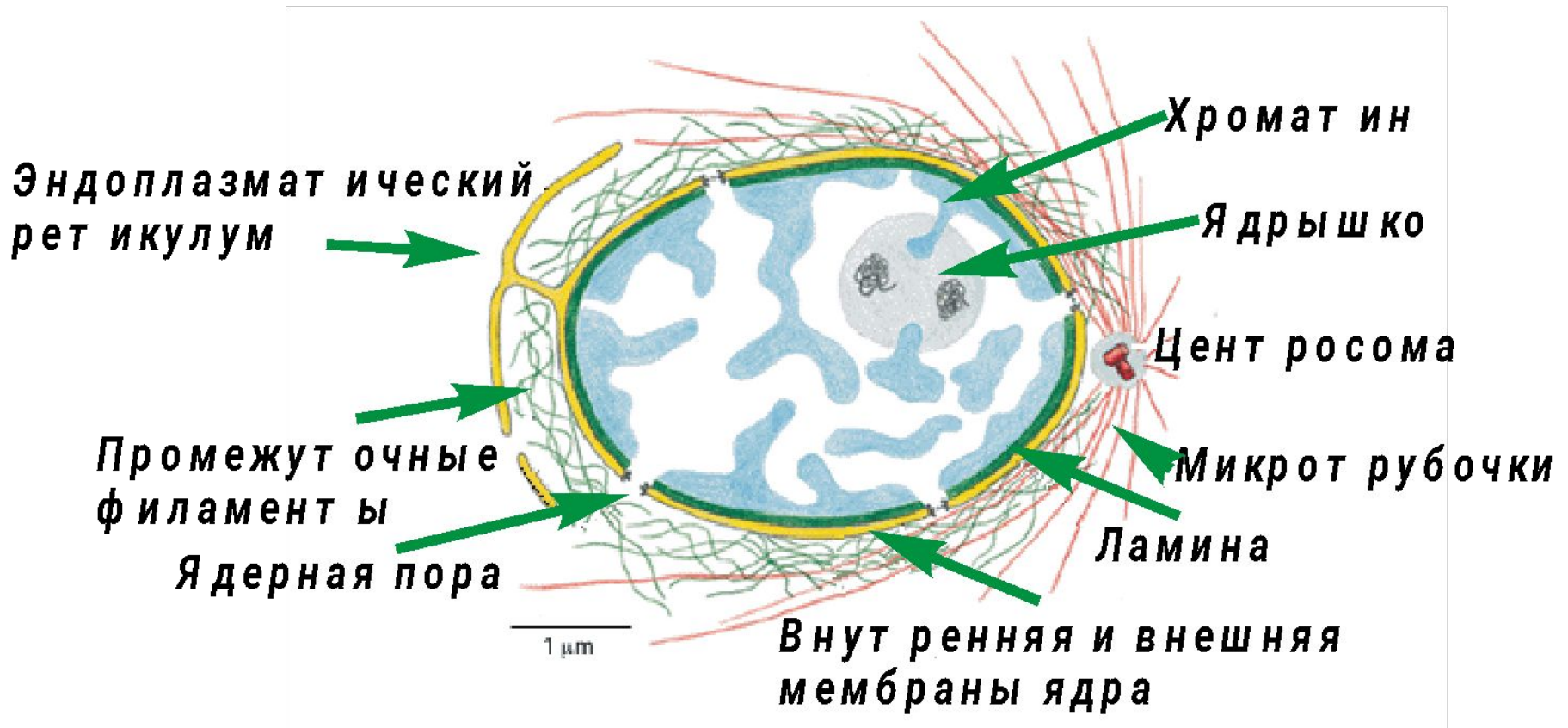
# **Транспорт в ядро и из ядра**

## Мембранные структуры клетки

апикальная  
цитоплазматическая  
мембрана

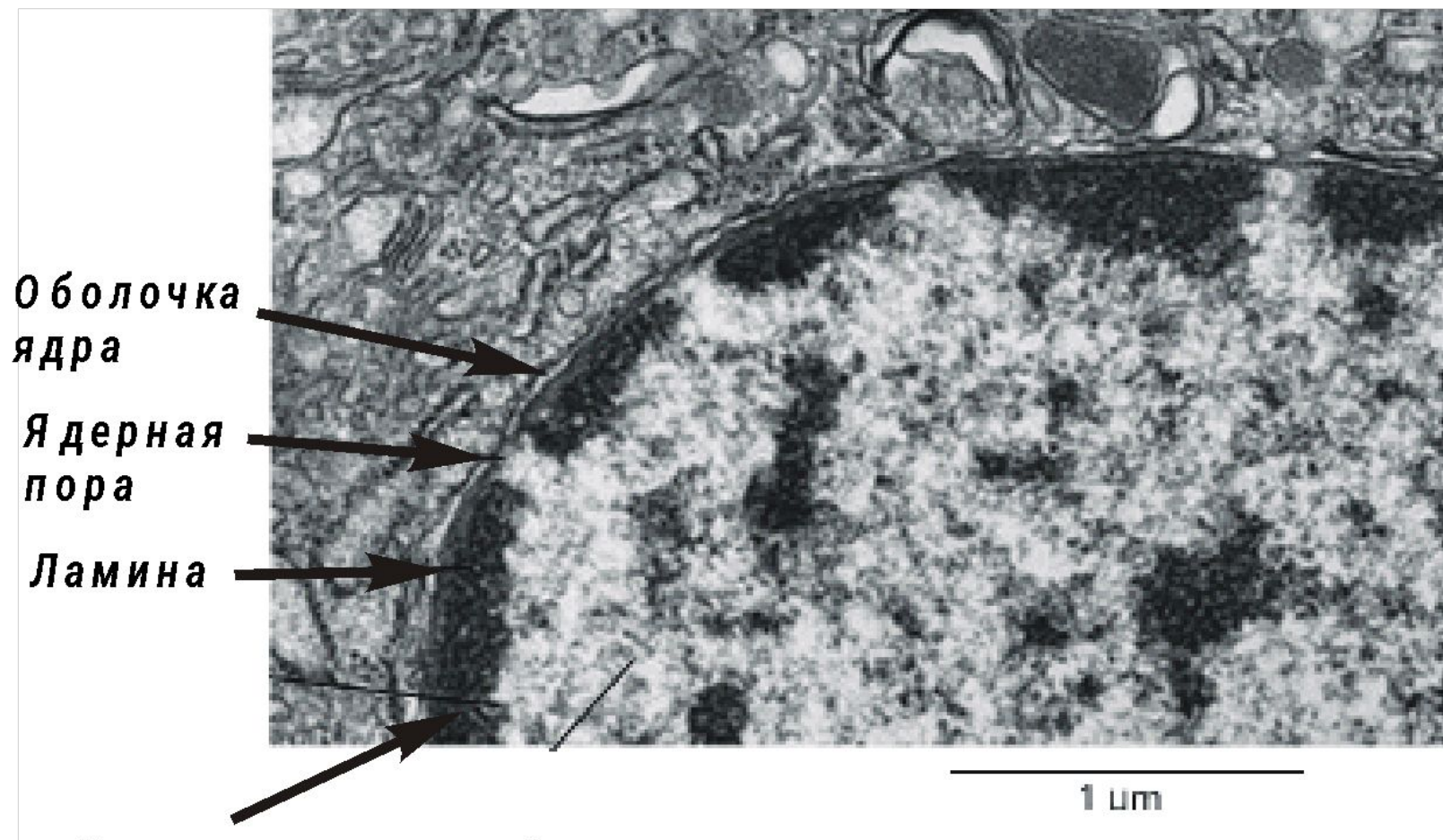


# Ядро



# Ядро

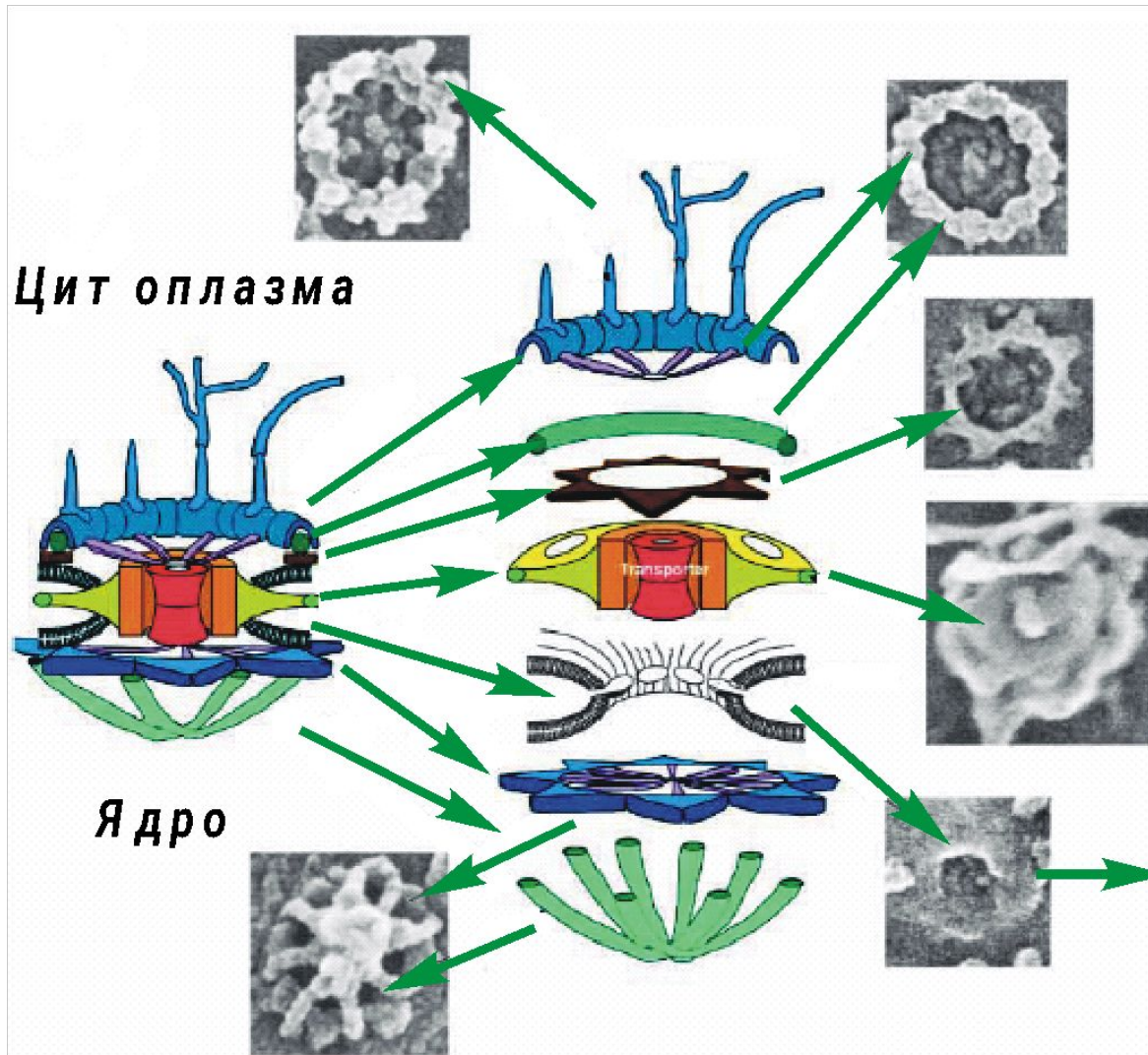
Что на границе ядра?



Конденсированный хроматин

Ядро

Ядерная пора



# Ядерная пора

# Ядерно-цитоплазматический транспорт

## Сигналы импорта и экспорта

### Однокомпонентный NLS

$B_4, P(B_3x), Pxx(B_3x), B_3(H/P)$

### M9 NLS

$(Y/F/W)x_2JxSxZG(P/K)(M/L/V)(K/R)$

### L23a NLS

$VHSHK K K I R T S P T F R R P K T L R L R R Q P K Y R R K S A P R R N K$

### Лейцин-богатый NES

$Lx_{2,3}(F/I/L/V/M)x_{1,2,3}Lx(I/V/L)$

### Двухкомпонентный NLS

$BBx_{10}(B_3x_2)$

### Вирусный NLS

$RxxRRx_{1,2}RBR$

### Неканонический NES

$xxxIxxLxT, WxKlxLxP$

## Ядерно-цитоплазматический транспорт

## Импортны человека (и дрожжей)

<i>Importin β</i> (Kap95)	<i>importin α</i> ; XRIP, snurportin, риб. белк., HIV Rev, Tat, Rex, <i>importin7</i> , RanBP8
<i>Transportin1</i> , Kap2 (Kap104)	мРНК связ. и риб. белки
<i>Transportin SR</i> (Mtr10) <i>Hmtr10</i> (Mtr10)	мРНК связ. (фосфо-SR) белки Mtr10 импорт ирует Nr13
(Kap114)	ТВР, гистоны H2A, H2B
(Yrb4, Kap123)	риб. белки
<i>Importin7</i>	риб. белки
<i>Importin11</i> (Lph2, Kap121)	UbcM2
<i>Importin5</i> , Kapb3 (Pse1, Kap121)	риб. белки, Pho4, Spo12
(Nmd5, Kap119)	Hog1, TFIIIS
(Sxm1, Kap108)	Lhp1, риб. белки
(Pdr6, Kap122)	TFIIA
RanBP16	
RanBP8	



# Ядерно-цитоплазматический транспорт

## Экспортины человека (и дрожжей)

*Exportin5 (Msn5, Kap142)*

*Kap142 экспорт ирует фосфорилированные белки; импорт ирует RPA*

*Crm1 (Xpo1, exportin1)*

*белки с NES, snurportin 1*

*Cas (Cse1)*

*импорт ин $\alpha$*

*Exportin t (Los1)*

*t РНК*

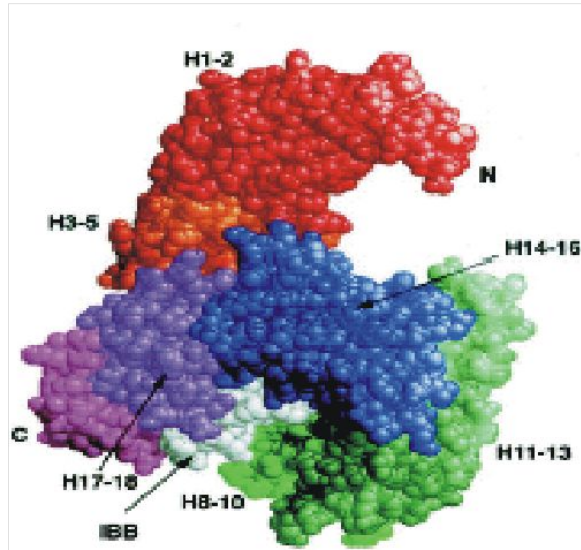
*Exportin4*

*eIF5A*

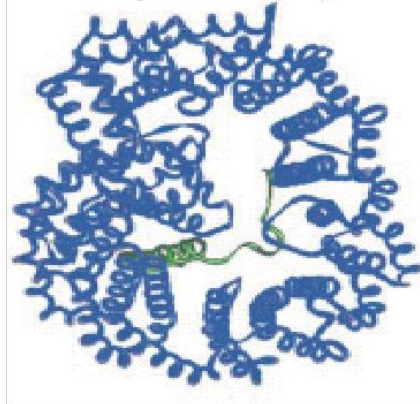
# Ядерно-цитоплазматический транспорт

## Адапторы, кареоферины и нуклеопорины

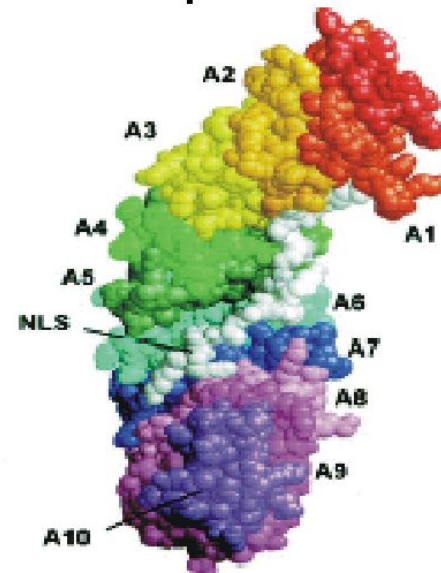
*Импорт ин  $\beta$  / IBB (Импорт ин  $\alpha$ )*



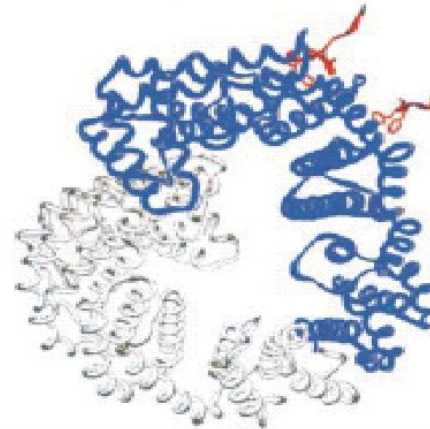
*Импорт ин  $\beta$  / IBV  
(Импорт ин  $\alpha$ )*



*Импорт ин  $\alpha$  / NLS*

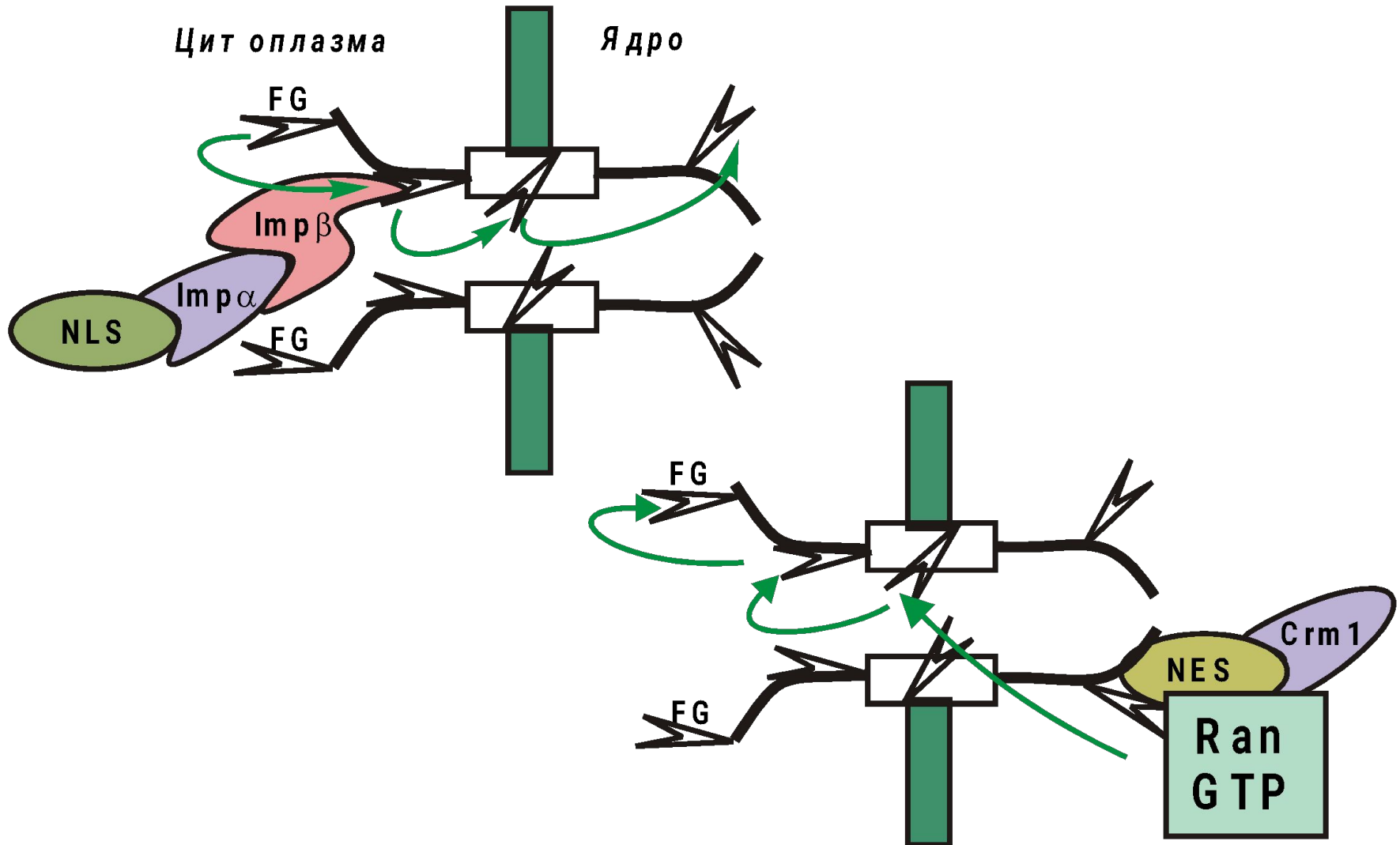


*Импорт ин  $\beta$  / FxFG*



# Ядерно-цитоплазматический транспорт

Нуклеопорины содержат FG повторы, связывающие кареоферины



# Энтропийное исключение

## Ядерно-цитоплазматический транспорт

### Регуляторы транспорта

# Ran

центральная роль в энергетике транспорта, GTPаза

*RanGEF, RCC1 (Prp20)*

обменивает GDP на GTP у Ran

*RanGAP (RNA1)*

активирует GTPазную активность Ran

*RanBP1 (Yrb1)*

коактиватор RanGAP

*RanBP2*

коактиватор RanGAP, связ. SUMO-RanGAP

*RanBP3 (Yrb2)*

кофактор Crm1/Xpo1: активирует RanGEF

*Nup50/NRAP60 (Nup2)*

связ. импортина и др.

*NTF2 (Ntf2)*

импортирует Ran

*NXT1, p15*

кофактор TAP (NXF1) и Crm1

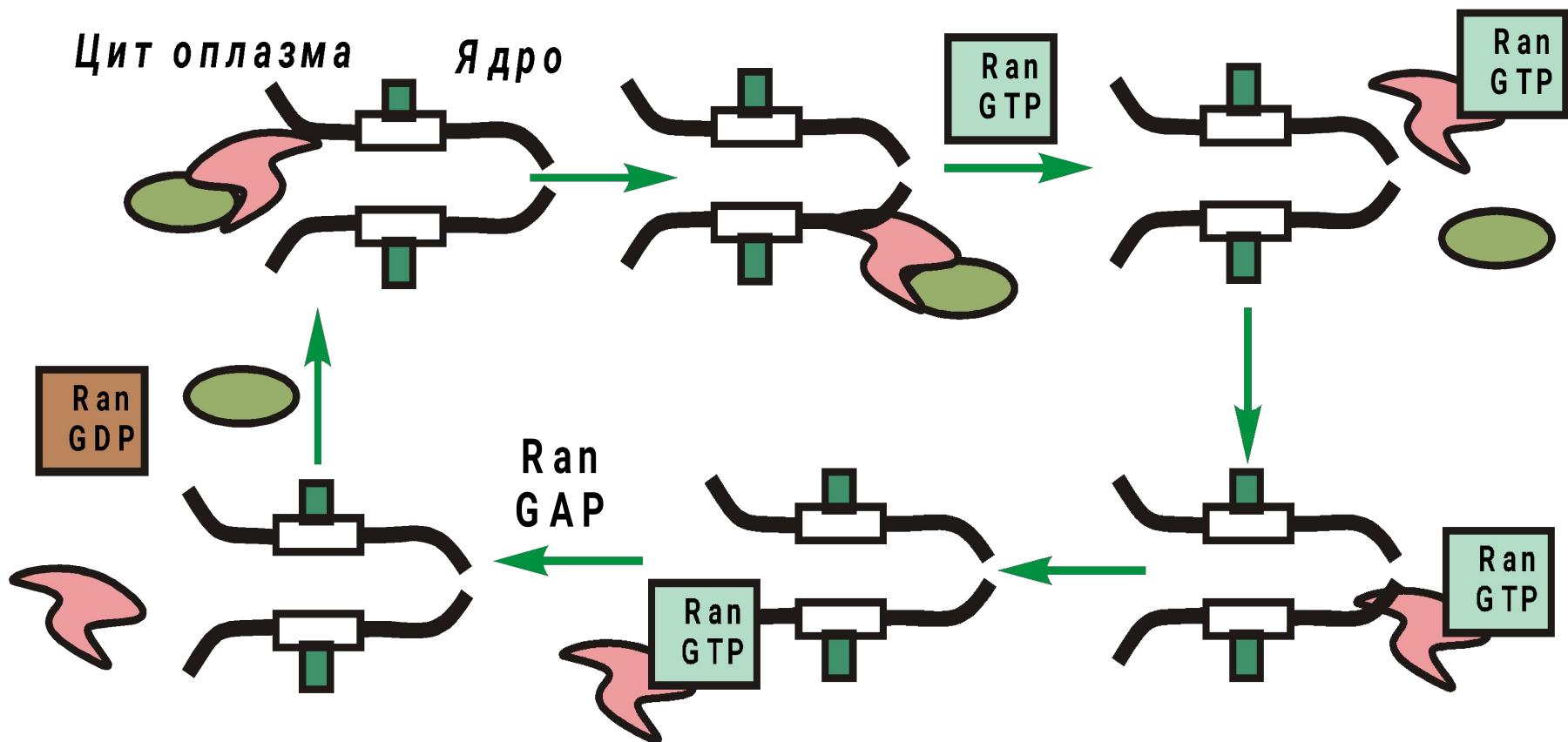
*G3BP1, G3BP2a, G3BP2b* ?

*Mog1 (Mog1)*

?

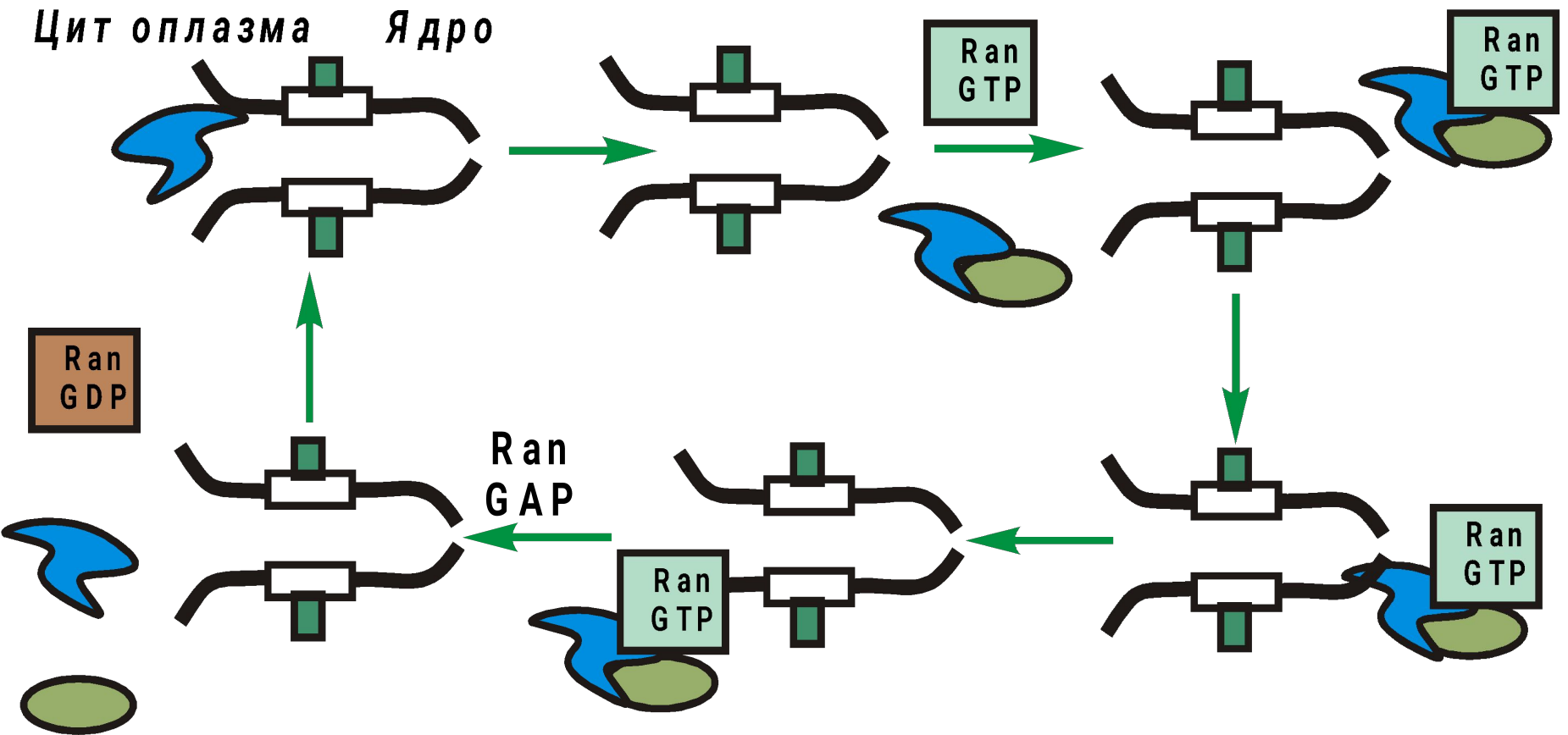
# Ядерно-цитоплазматический транспорт

Гидролиз GTP белком Ran обеспечивает энергией транспорт в ядро



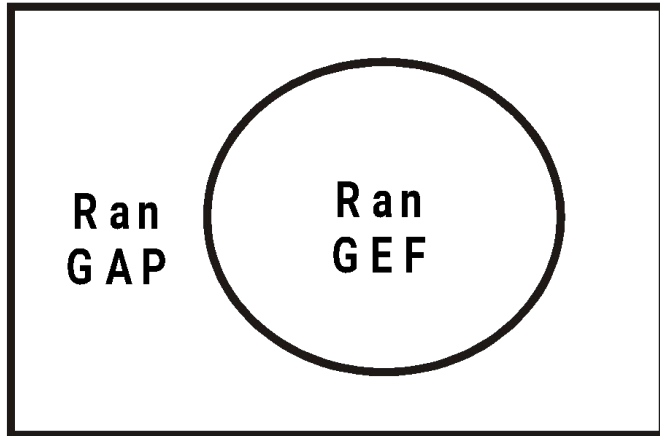
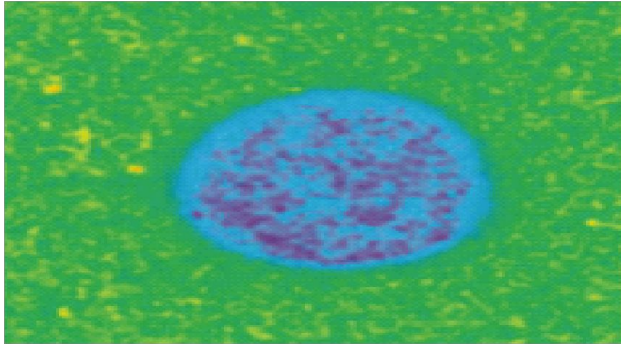
# Ядерно-цитоплазматический транспорт

... и из ядра

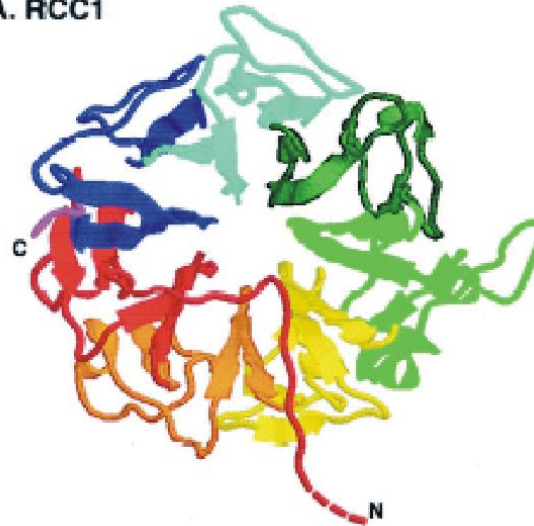


# Ядерно-цитоплазматический транспорт

Как поддерживается градиент Ran GTP/GDP

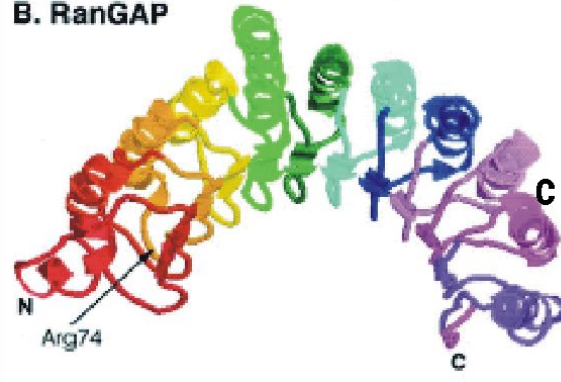


A. RCC1



RanGEF связан с хроматином

B. RanGAP



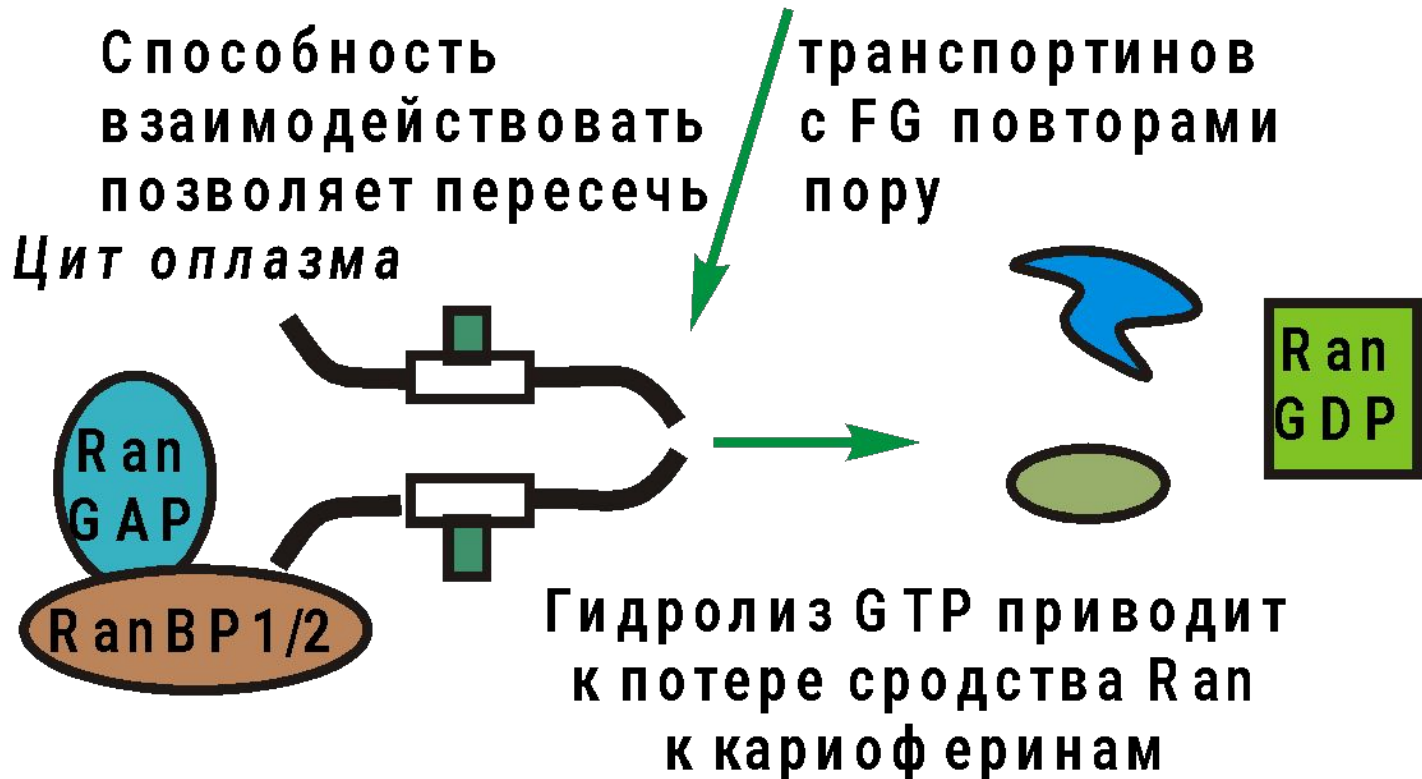
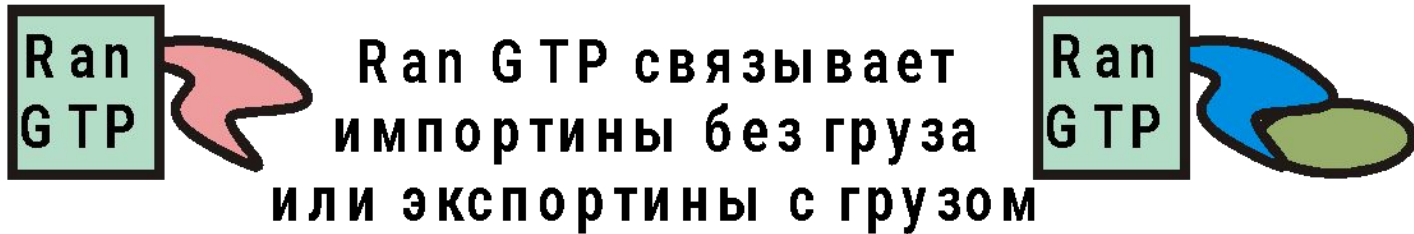
RanGAP - с цитоплазматической частью поры



# Ядерно-цитоплазматический транспорт

## Цикл работы Ran

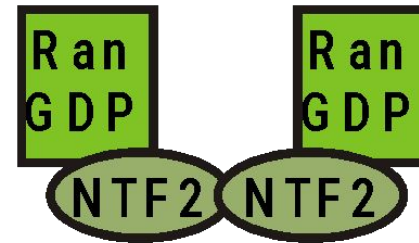
Ядро



# Ядерно-цитоплазматический транспорт

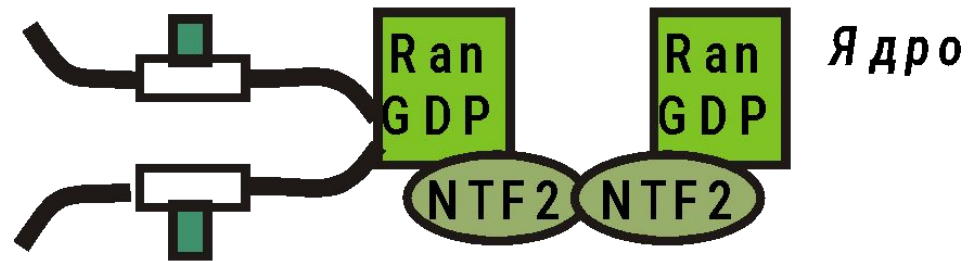
## Цикл работы Ran

Цитоплазма



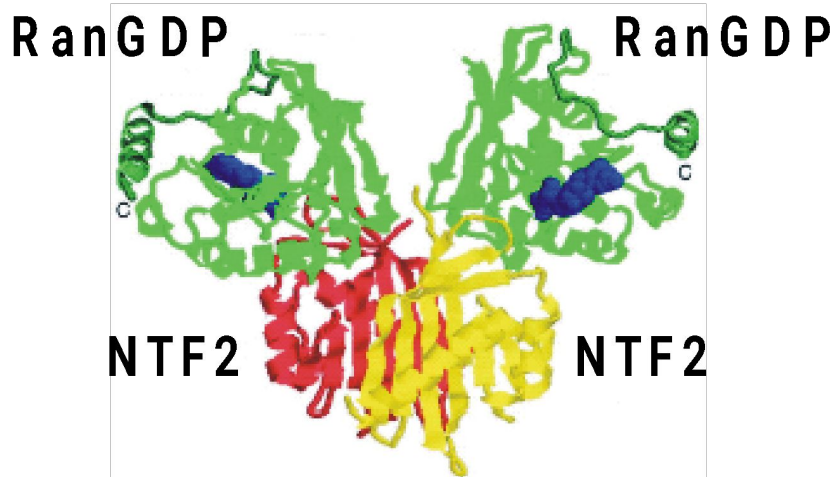
Способность взаимодействовать с FG повторами позволяет пересечь пору

NTF2



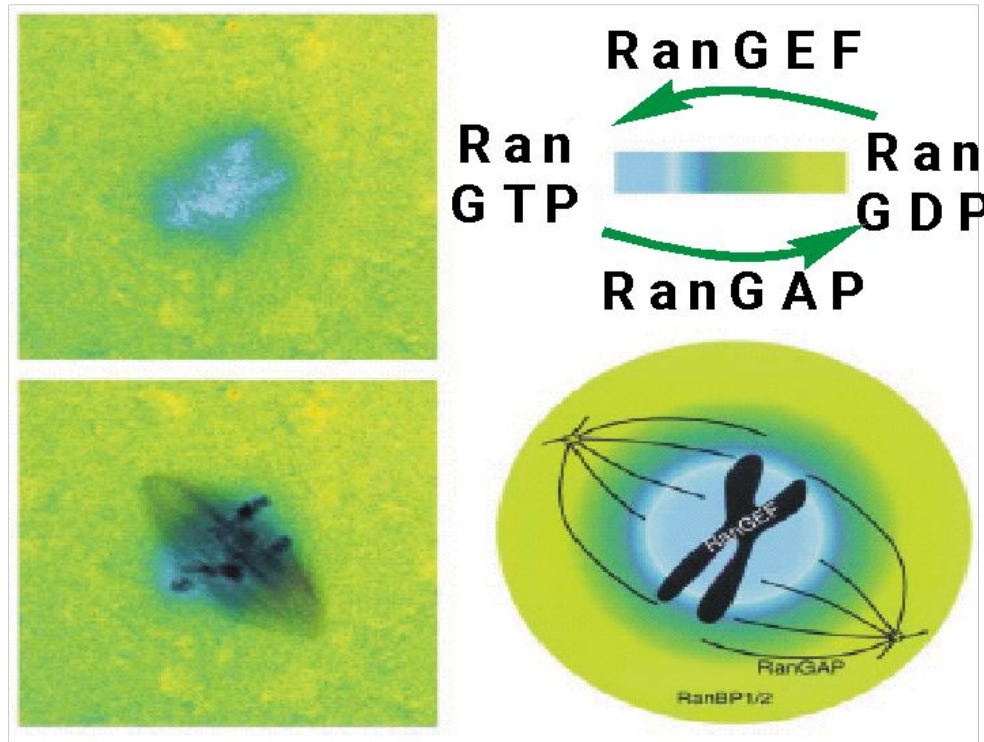
Ядро

Ran GEF



## Не транспортная роль Ran

Градиент RanGTP вокруг хроматина помогает выстраивать митотическое веретено



и, затем, служит ориентиром для сборки ядерной оболочки