

A close-up photograph of a fly's eye. The eye is dark and glossy, reflecting a starry night sky with several bright stars. The surrounding body of the fly is a reddish-brown color with a textured, porous appearance.

**5 декабря 16:00**

Конференц-зал ИЦиГ

Публичная лекция

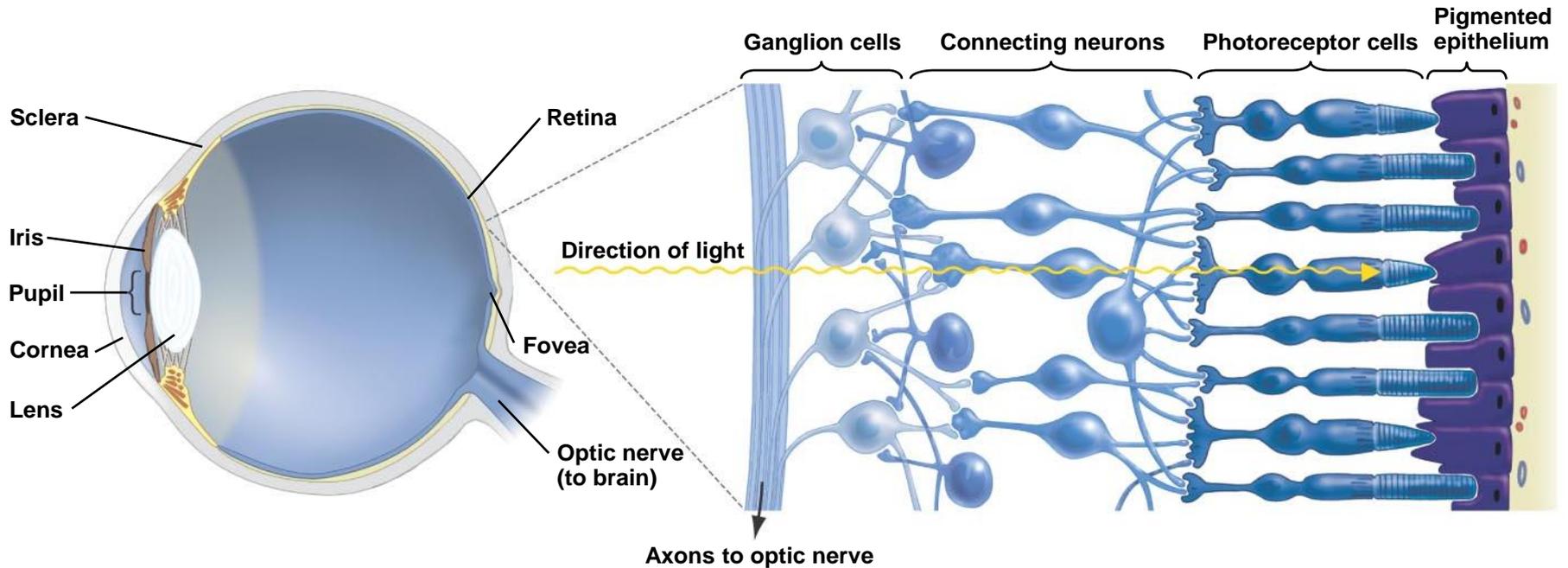
# Взгляд в глубину

Эволюция глаза

Надежда Баттулина

- Как мы видим
- Как все глупо устроено
- Разные устройства глаза
- Филогения нашего зрения
- Что нужно чтоб сделать глаз
- Утрата и приобретение цветного зрения
- Моно- или полифилия глаза

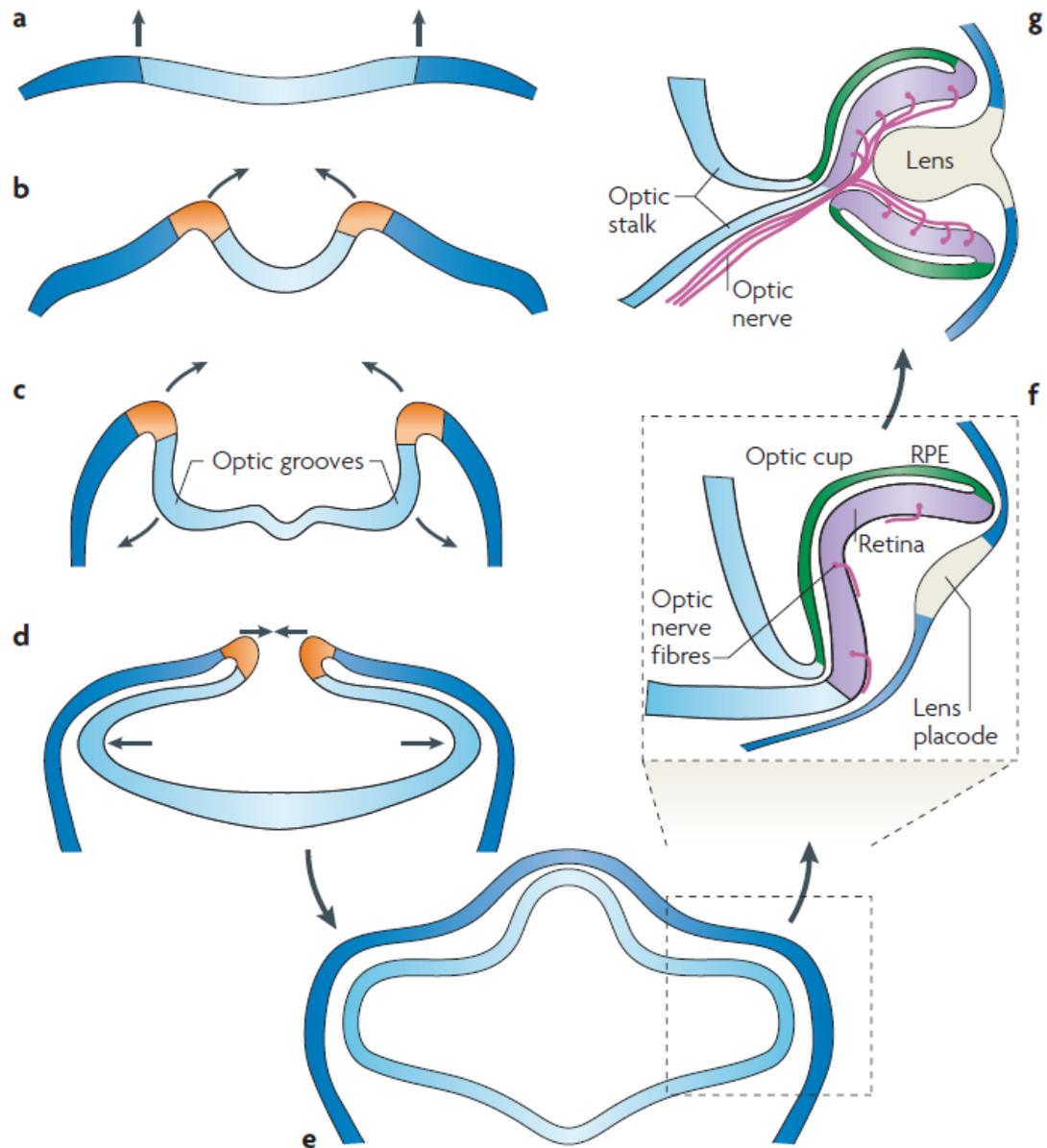
# Глаз человека



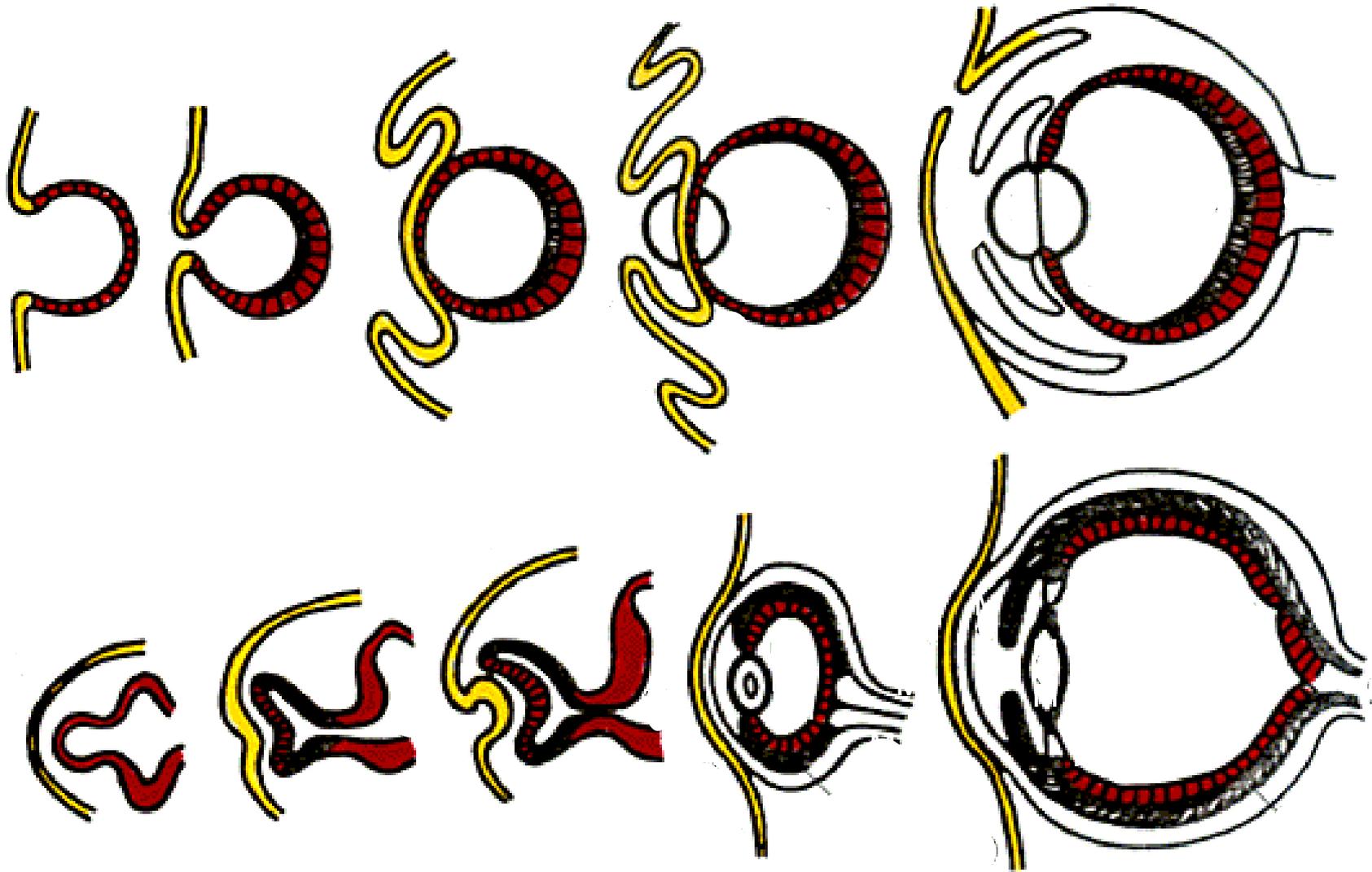
«Эволюционные шрамы»:

- инвертированная сетчатка - фоторецепторы располагаются в самом глубоком слое сетчатки;
- слепое пятно

# Почему сетчатка инвертирована?



# Камерный глаз моллюсков и позвоночных

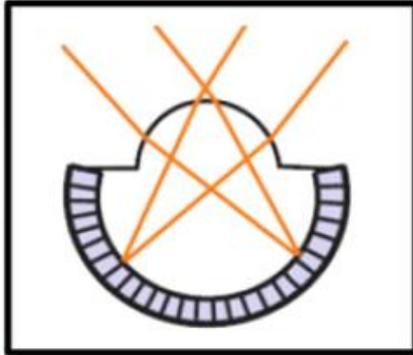
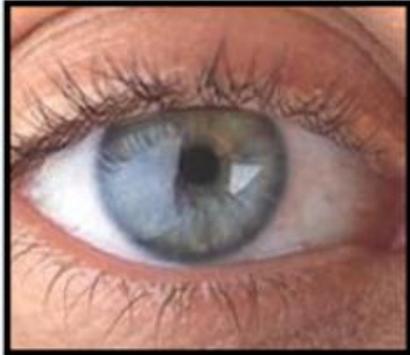


глаз кальмара

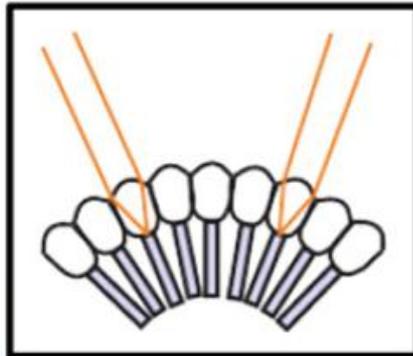
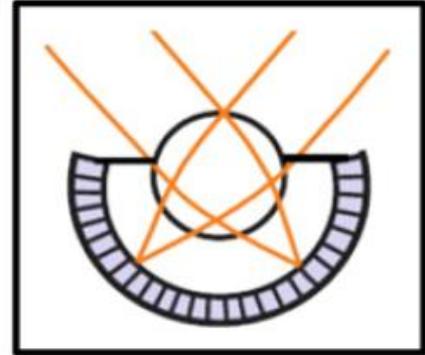
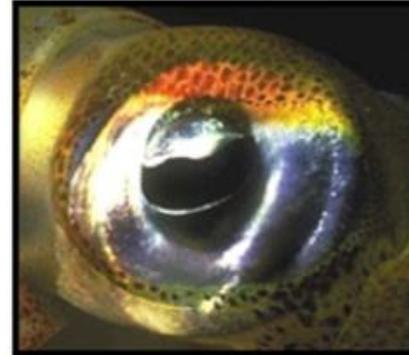
глаз человека

# Типы глаз животных

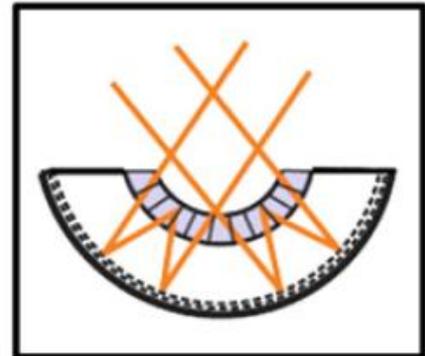
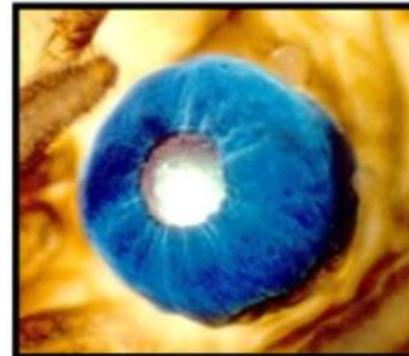
Камерный глаз позвоночных



Камерный глаз головоногих

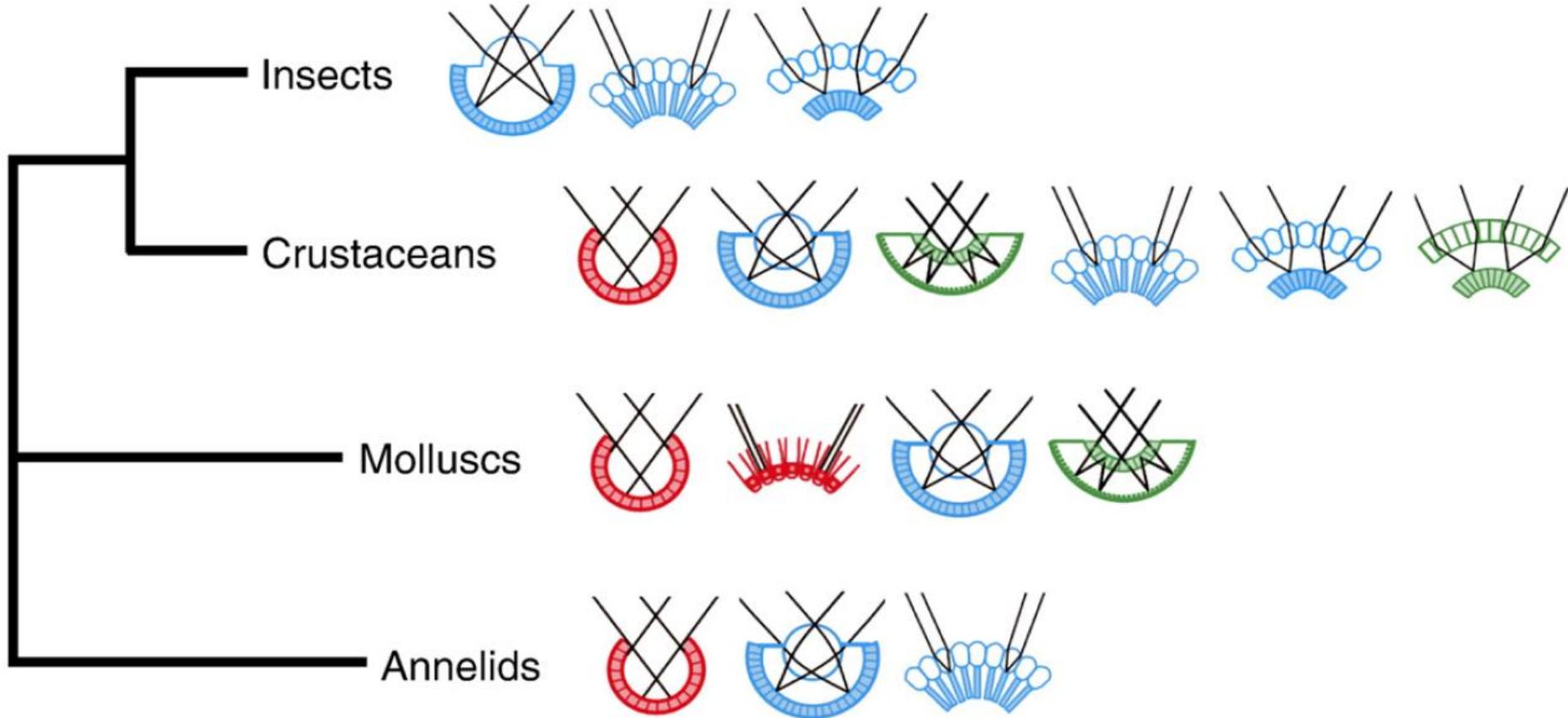


Фасеточный глаз насекомых



Зеркальный глаз гребешка

# Типы глаз первичноротых животных



Принцип построения изображения



свет / тень

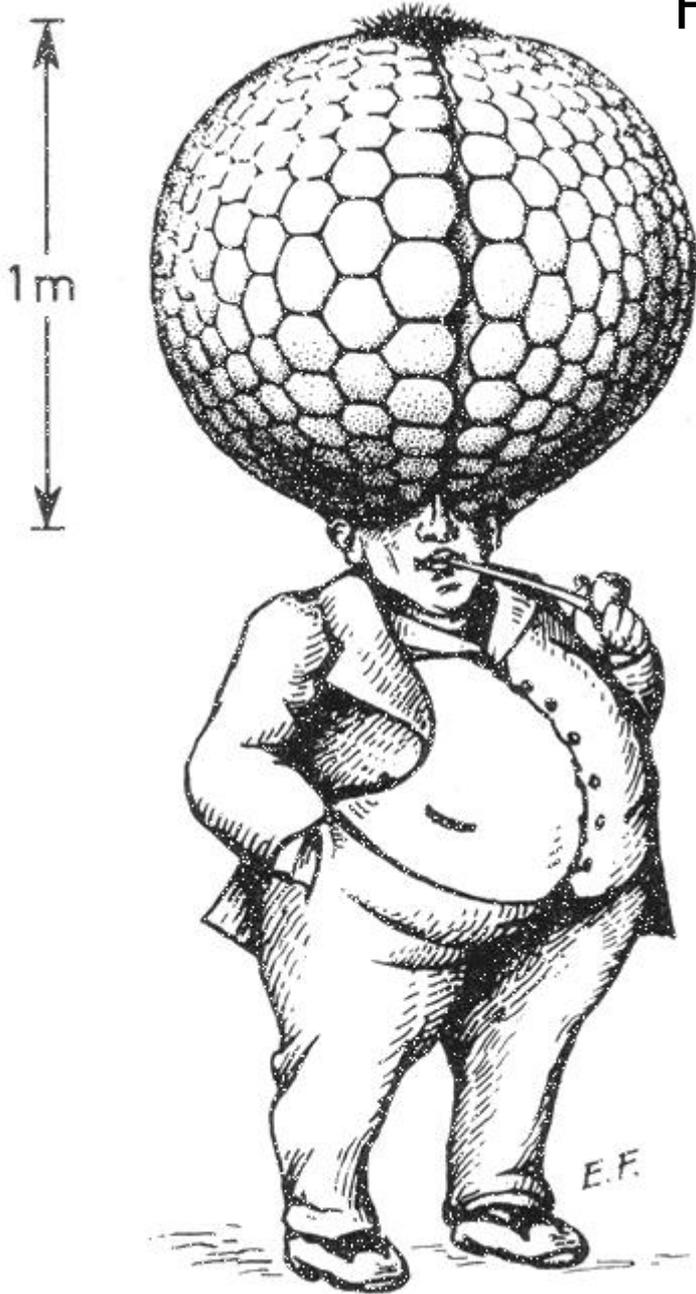


преломление



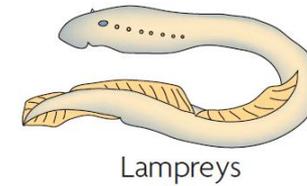
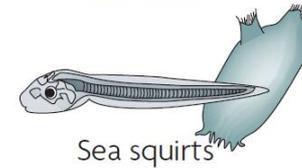
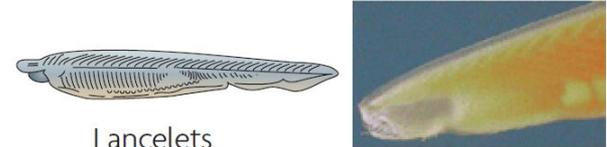
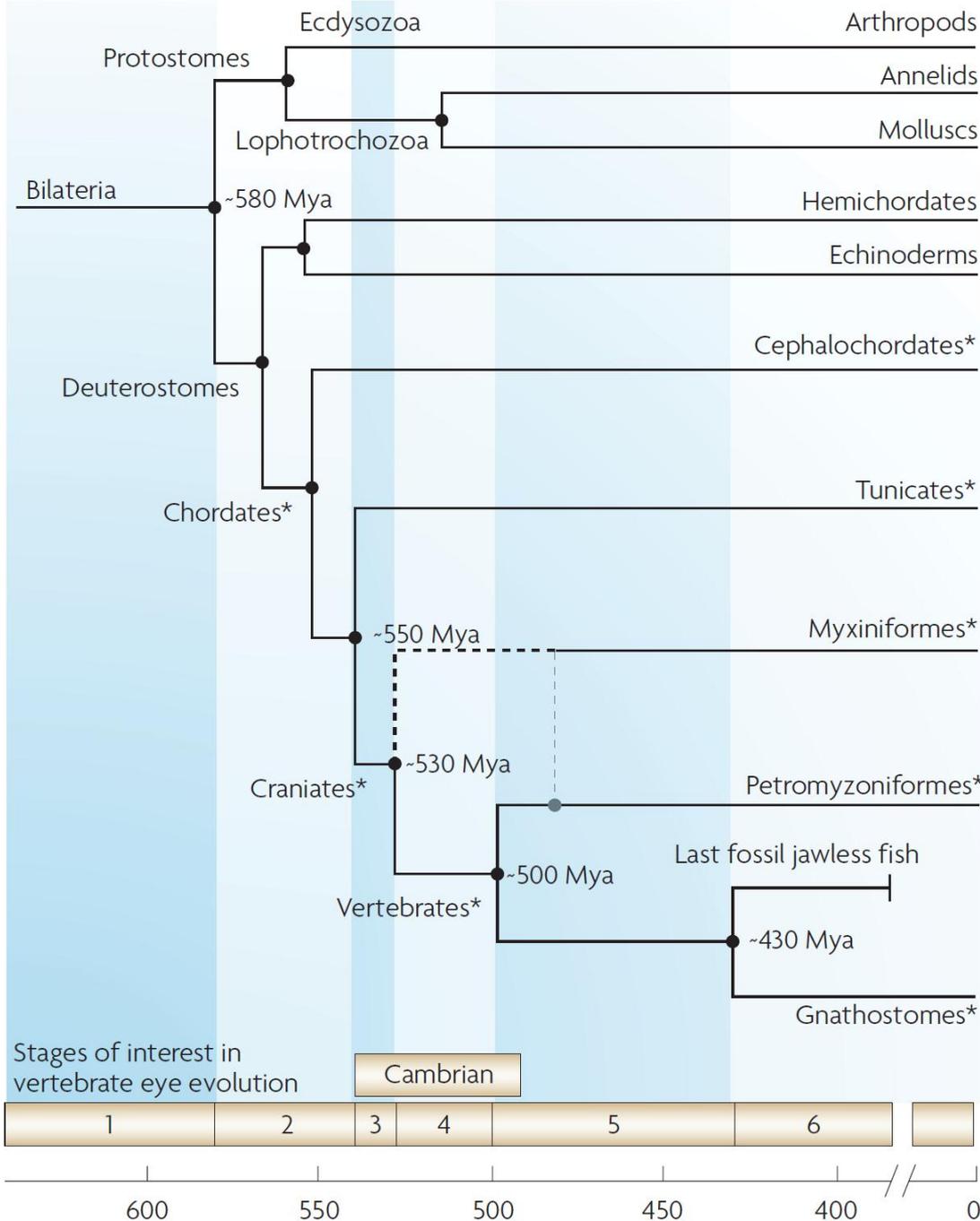
отражение

Не все йогурты одинаково полезны!

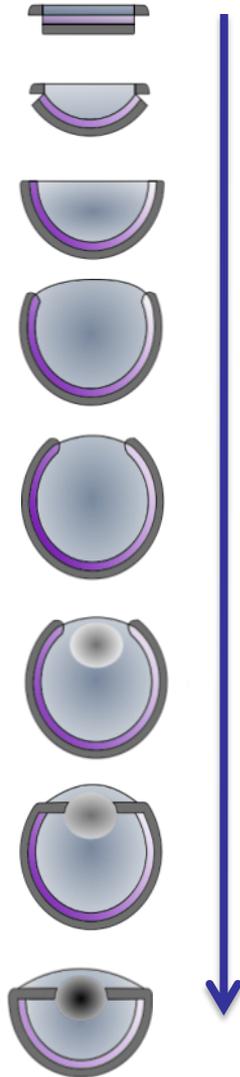


Фасеточный глаз того же разрешения что и наш будет гигантского размера (1-24 метра в диаметре)

# Когда появился наш глаз?

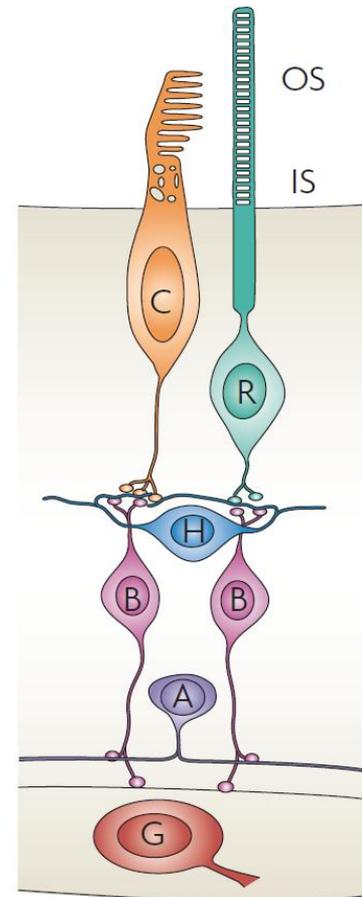
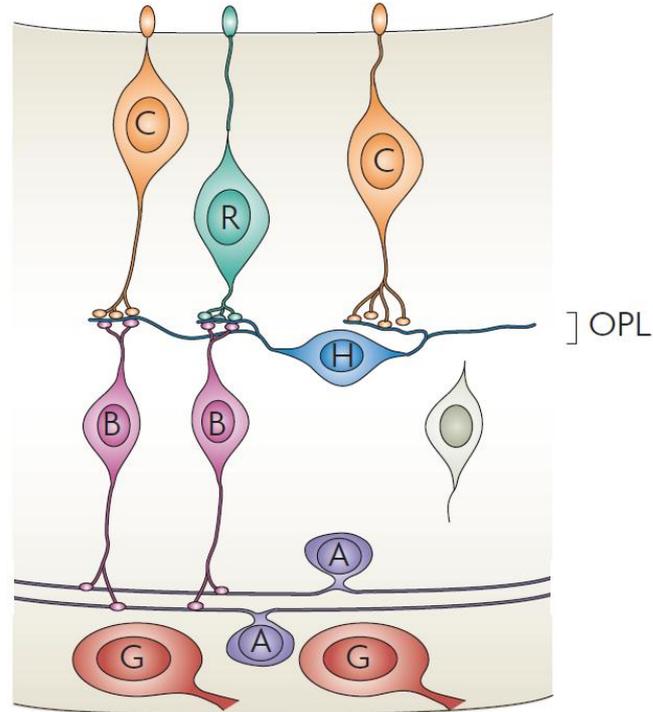
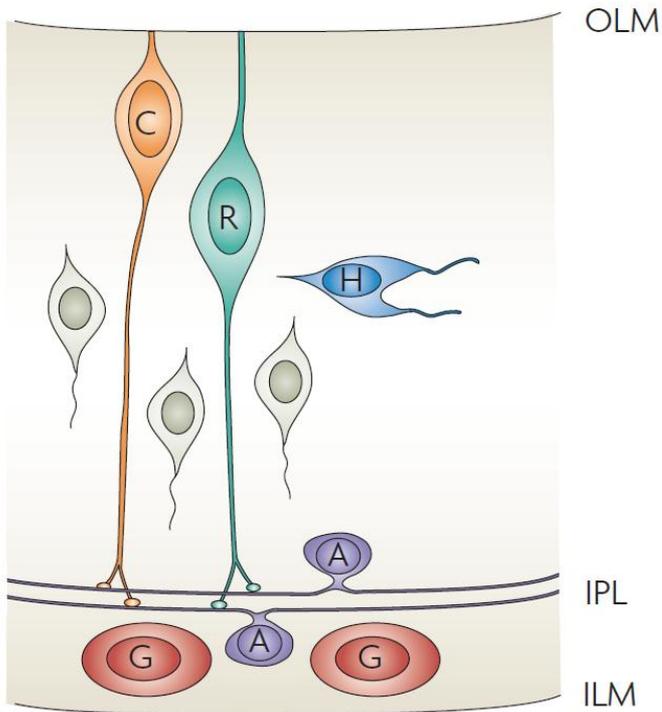


# Возникновение и эволюция глаза компьютерная модель



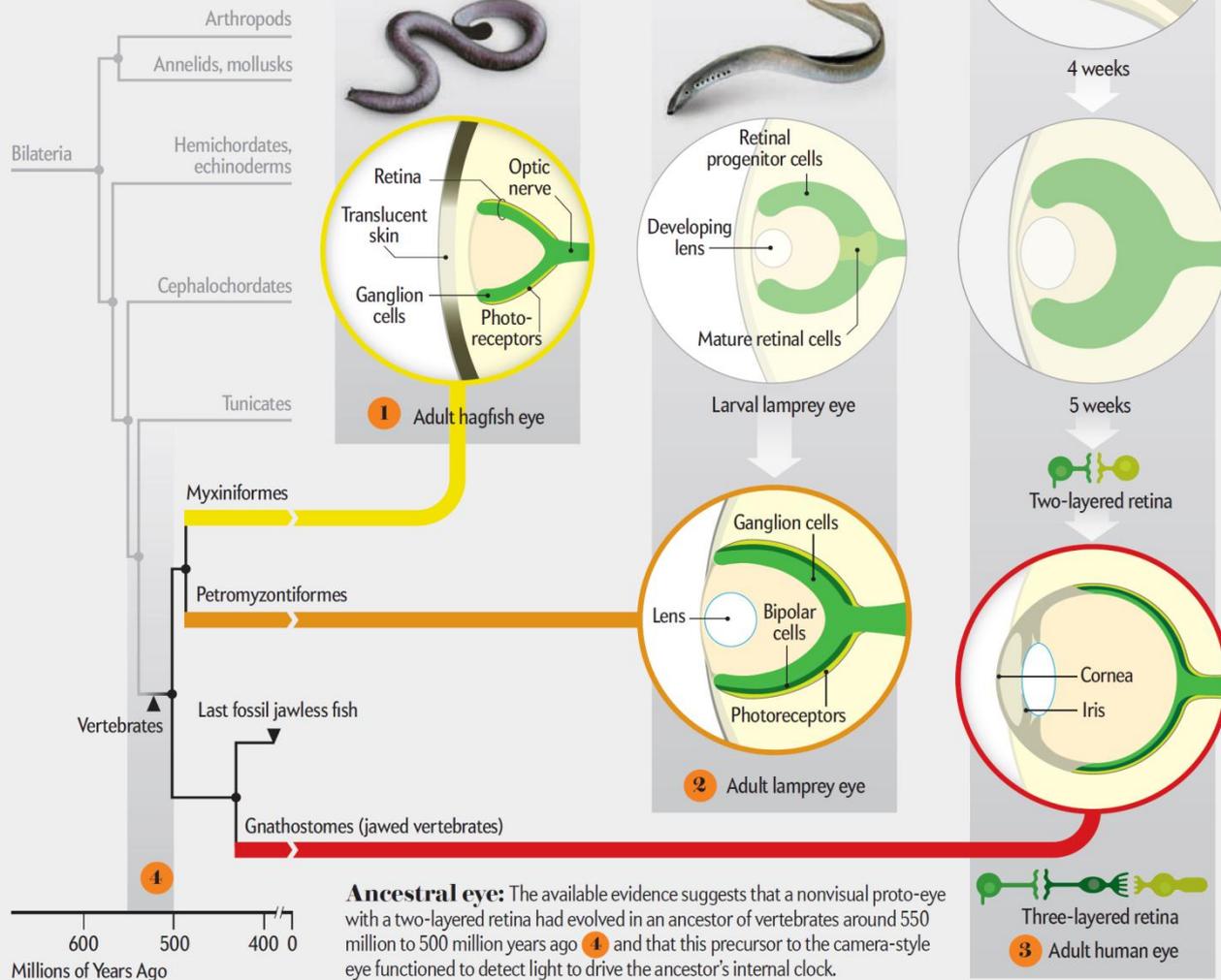
Даже при очень «мягком» давлении отбора путь от светочувствительной пластинки к камерному глазу с линзой занял всего 363 992 поколений!

# От двуслойной сетчатки к трехслойной: в развитии



# Echoes of Evolution

Eye structure and embryonic development in the hagfish and lamprey—primitive, eel-like vertebrates—hint at how our camera-style eye evolved and how it functioned in its early stages. The hagfish has a degenerate eye that cannot see but that probably serves to detect light for modulating circadian rhythms **1**. Early in development the lamprey eye resembles the structurally simple hagfish eye, before metamorphosing into a complex camera-style eye **2**. The human eye, too, recalls the hagfish eye during development, passing through a stage in which the retina has just two layers before a third layer of cells emerges **3**. Aspects of the embryonic development of an individual are known to reflect events that occurred during the evolution of its lineage.

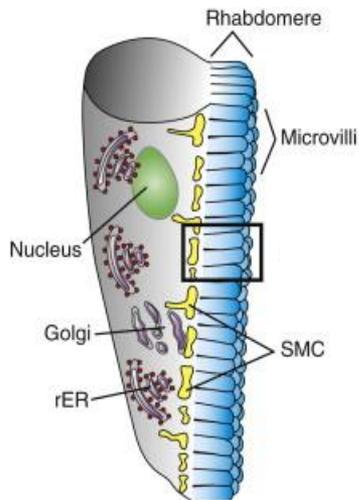


# Что нужно иметь чтоб сделать глаз

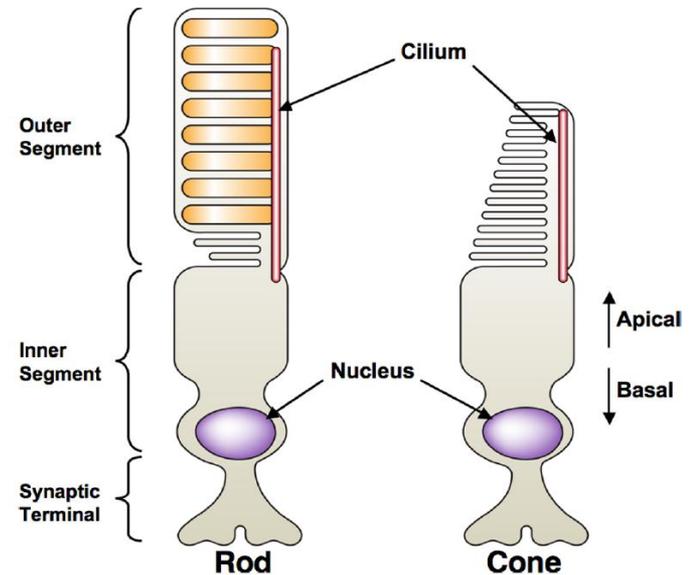
- ❑ Клетки фоторецепторы, осуществляющие трансдукцию
- ❑ Компоненты каскада трансдукции:
  - Светочувствительные рецепторы- трансмембранные белки (опсины)
  - G-белки
- ❑ Пигменты, поглощающие избыточный свет
- ❑ Белки кристаллины, формирующие линзу
- ❑ Гены-регуляторы

# Типы фоторецепторных клеток

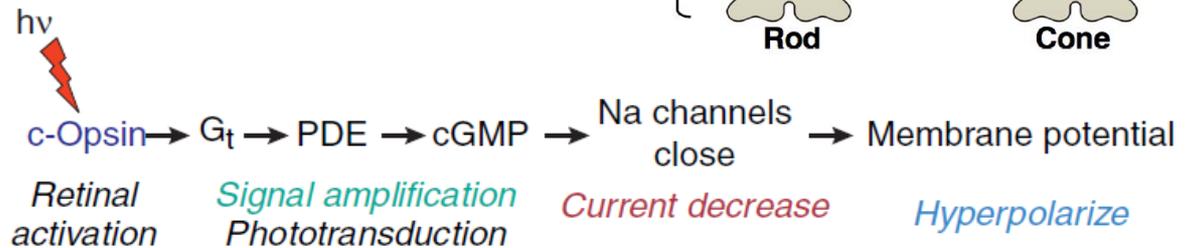
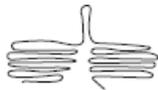
## Рабдомерные-«микроворсинковые»



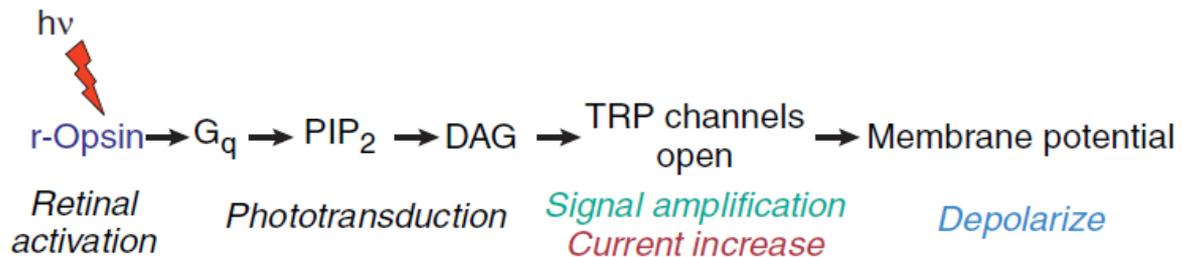
## Цилиарные- «ресничные»



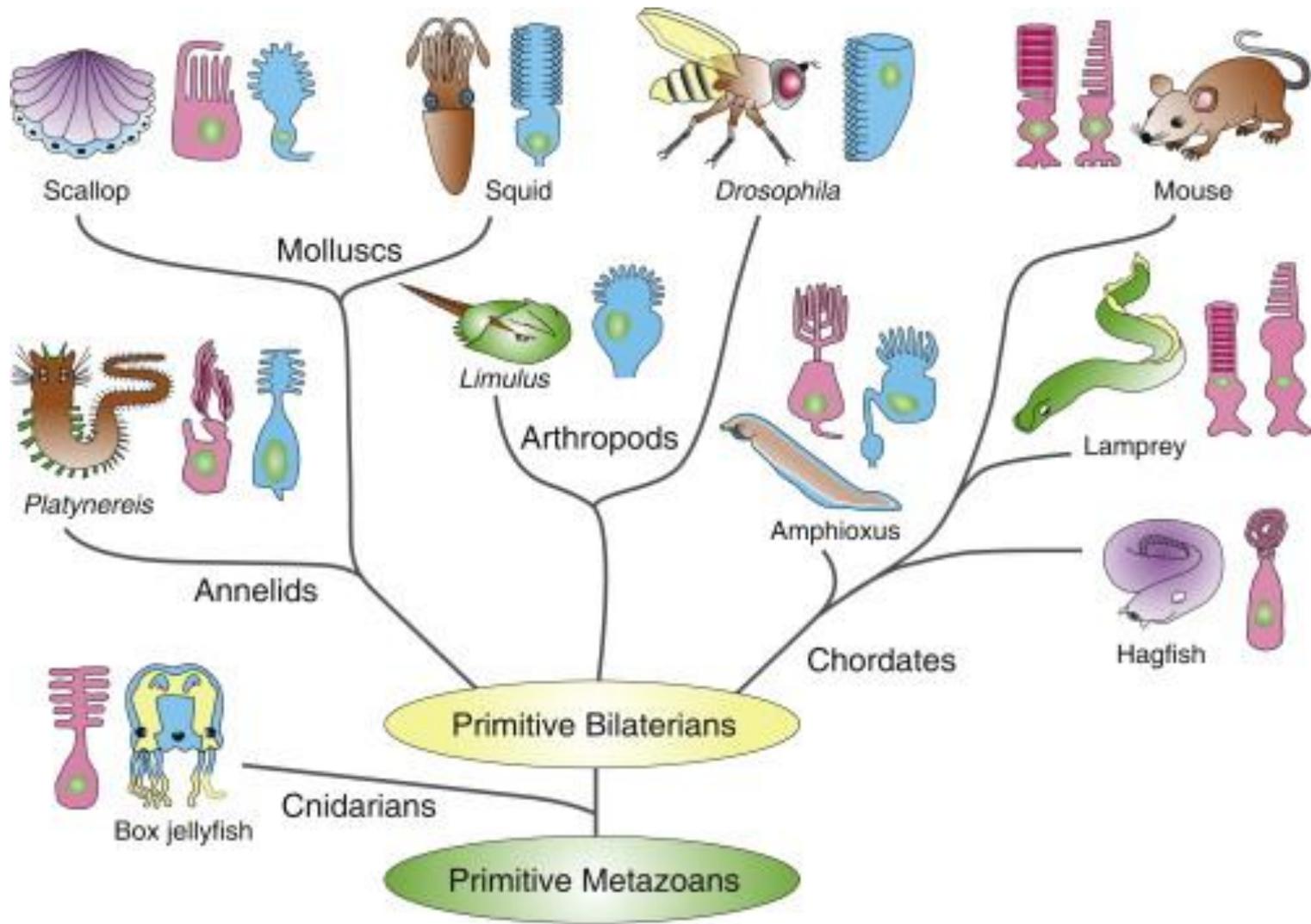
**Vertebrate:**  
Ciliary



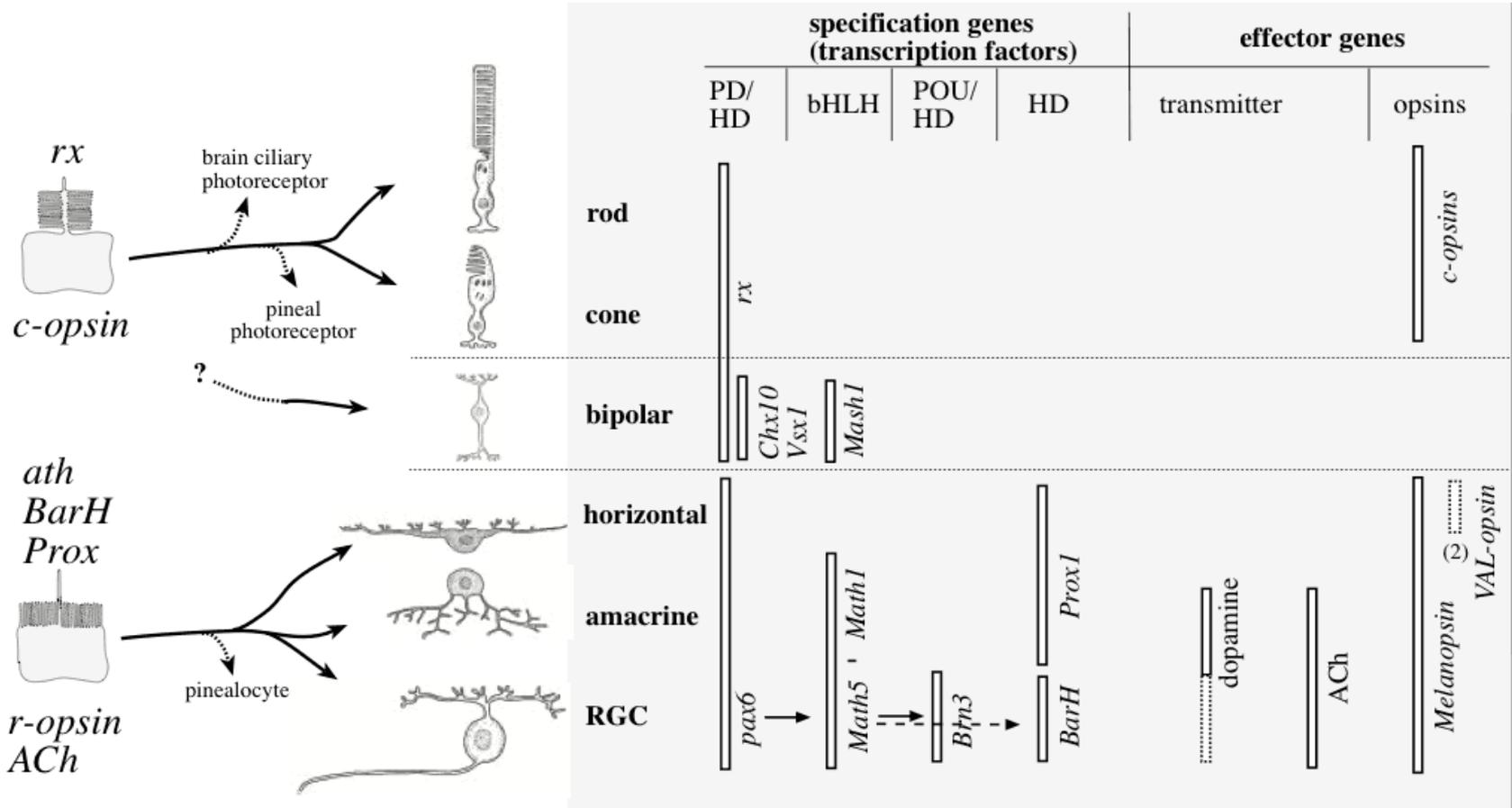
**Invertebrate:**  
Rhabdomeric



# Цилиарные и рабдомерные фоторецепторы у животных



# наследие рабдомерных фотонейронов в ретину позвоночных



cnidarian Rhabdomeric eye

insect rhabdomeric  
compound eye,

insect rhabdomeric larval eye

polychaete rhabdomeric

adult eye

polychaete rhabdomeric

larval eye

amphioxus rhabdomeric

Hesse eyecup

**vertebrate** retinal ganglion cell

**vertebrate** amacrine cell

**vertebrate** horizontal cell

cnidarian ciliary photoreceptor

**insect** light-sensitive

neurosecretory cell

**annelid** light-sensitive

neurosecretory cell

vertebrate light-sensitive

neurosecretory cell

**annelid** ciliary photoreceptor

vertebrate bipolar cell

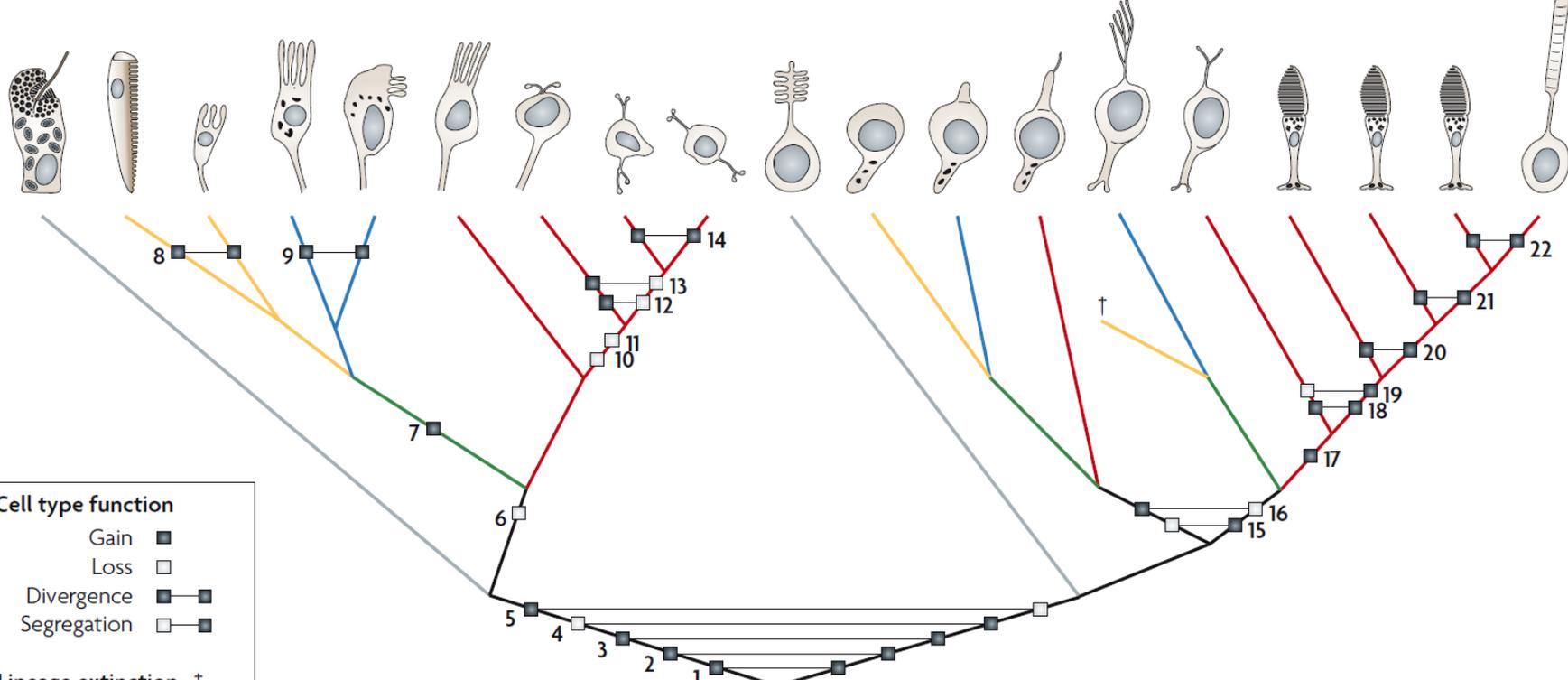
vertebrate (LWS) cone

vertebrate (SWS1) cone

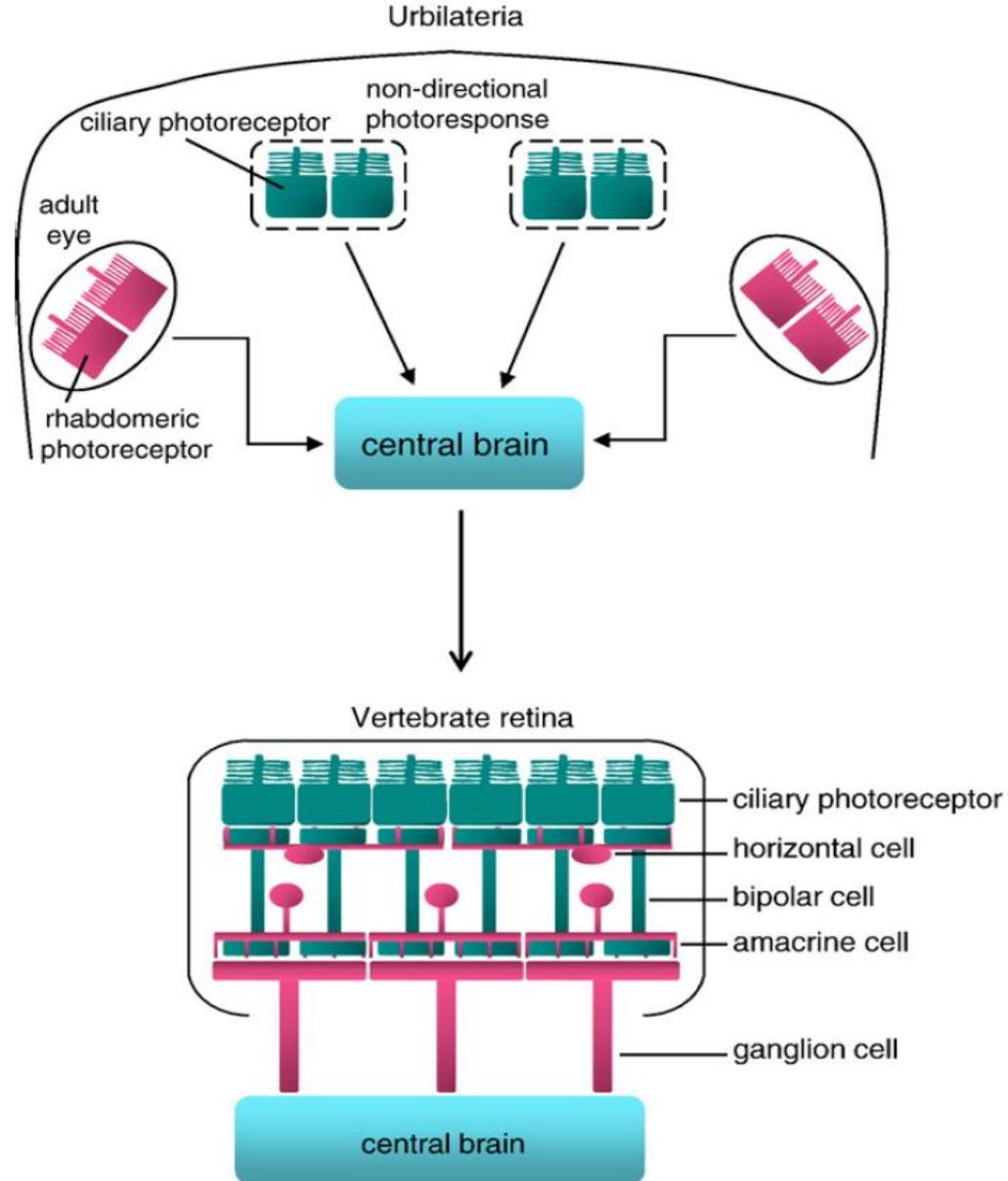
vertebrate SWS2 cone

vertebrate rod.

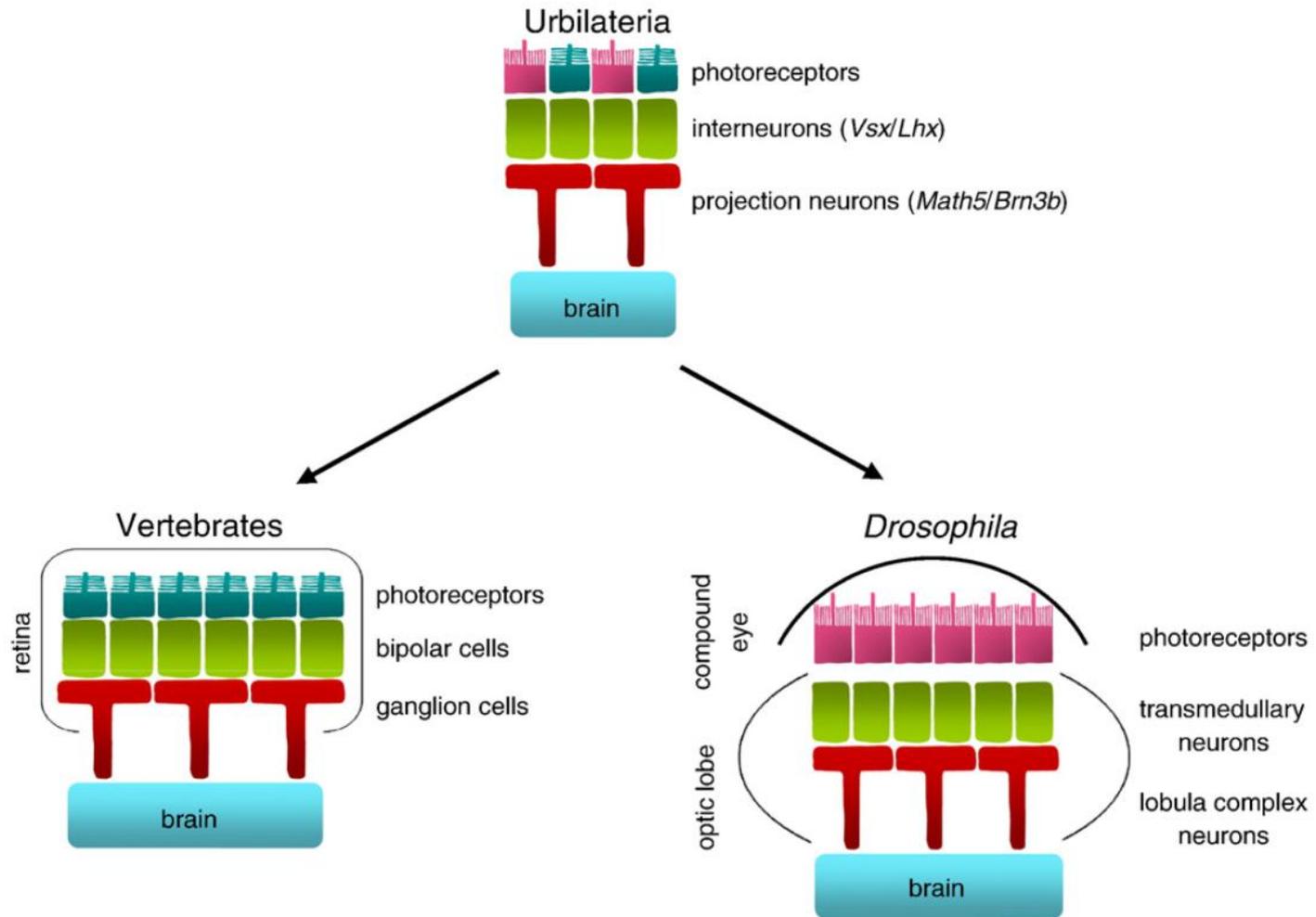
**b**



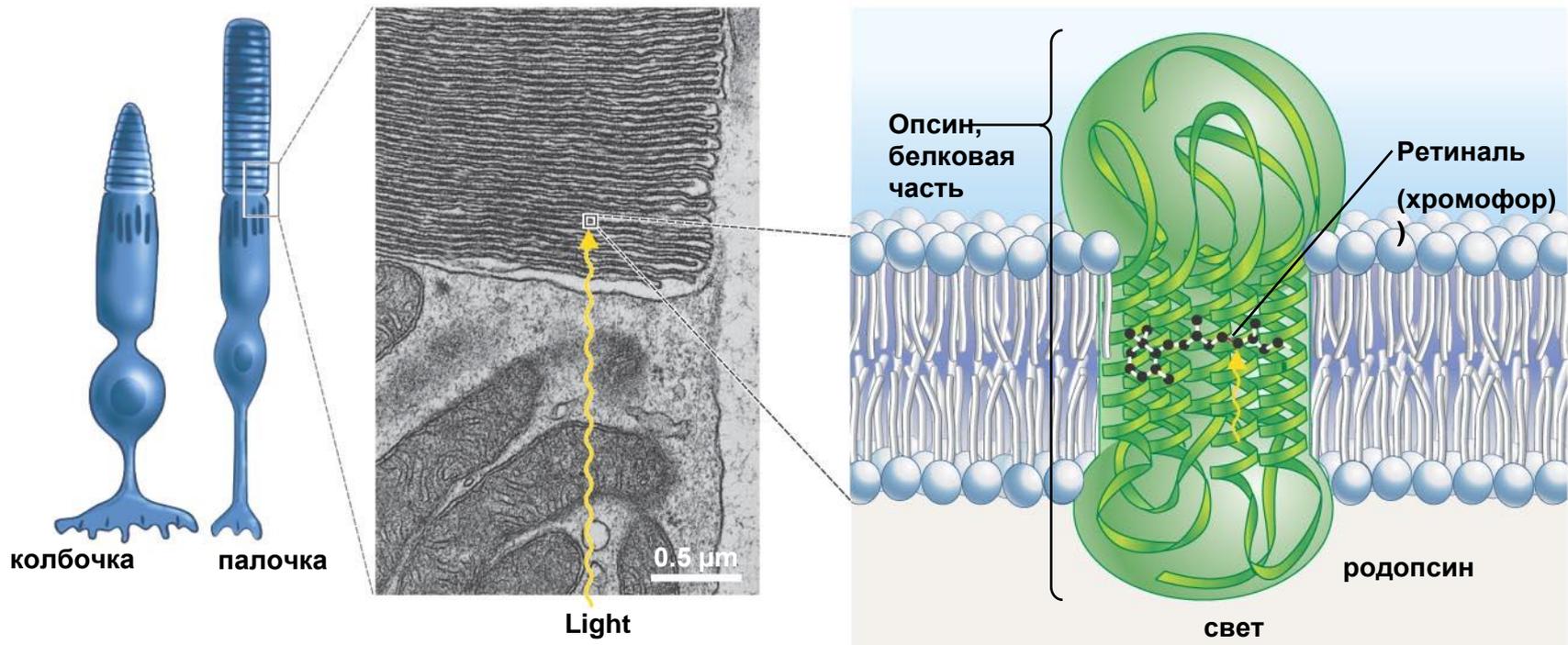
# Модель формирования глаза 1



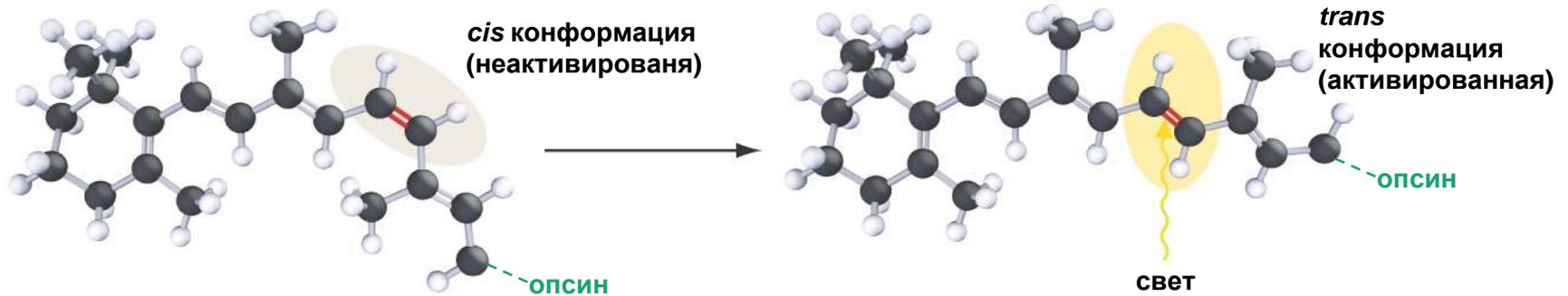
# Модель формирования глаза 2



# Опсин + ретиналь = светочувствительный пигмент



(с) Поглощение кванта света изменяет конформацию молекулы ретиналя

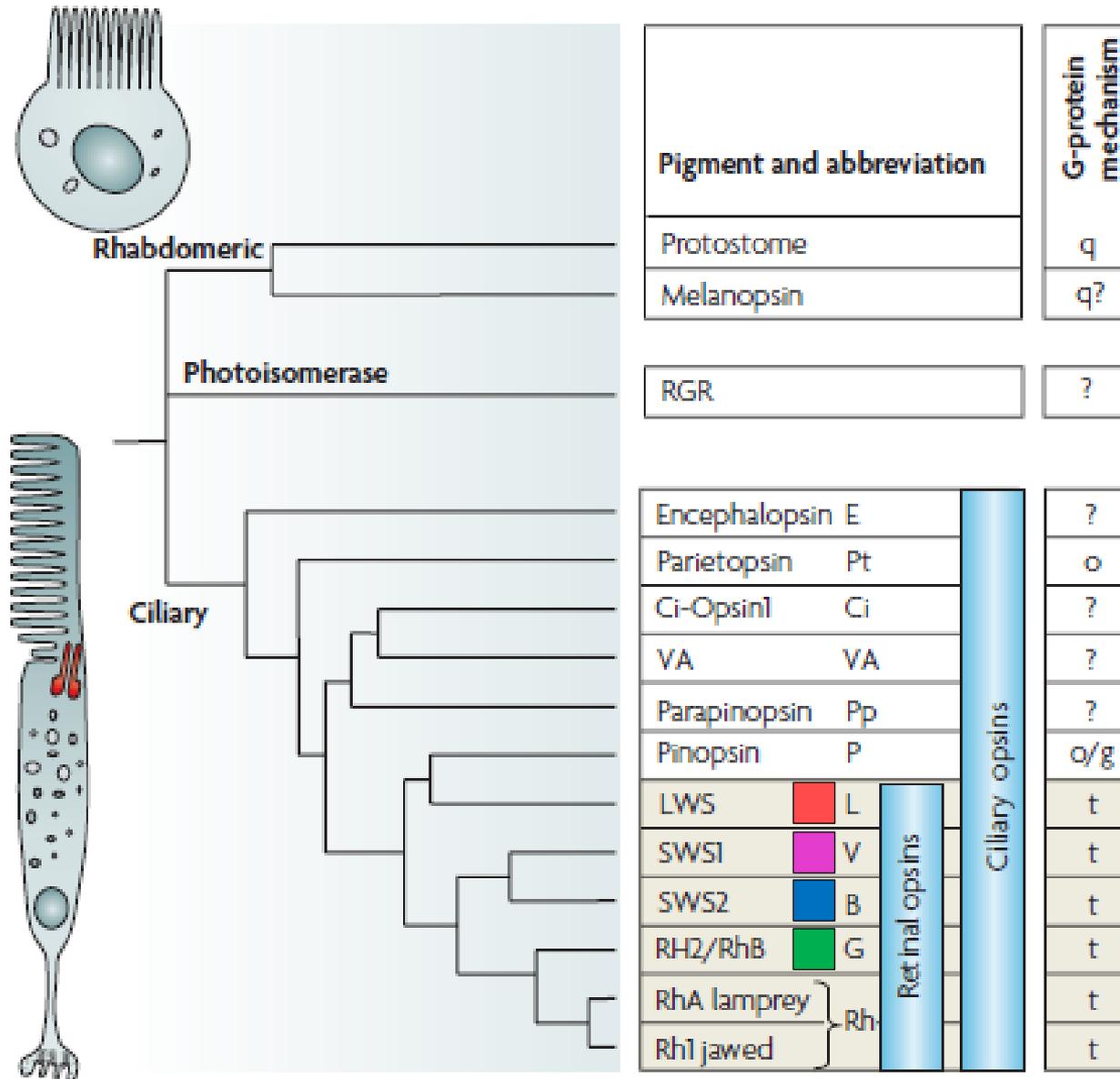


Пираты изобрели первый прибор ночного видения

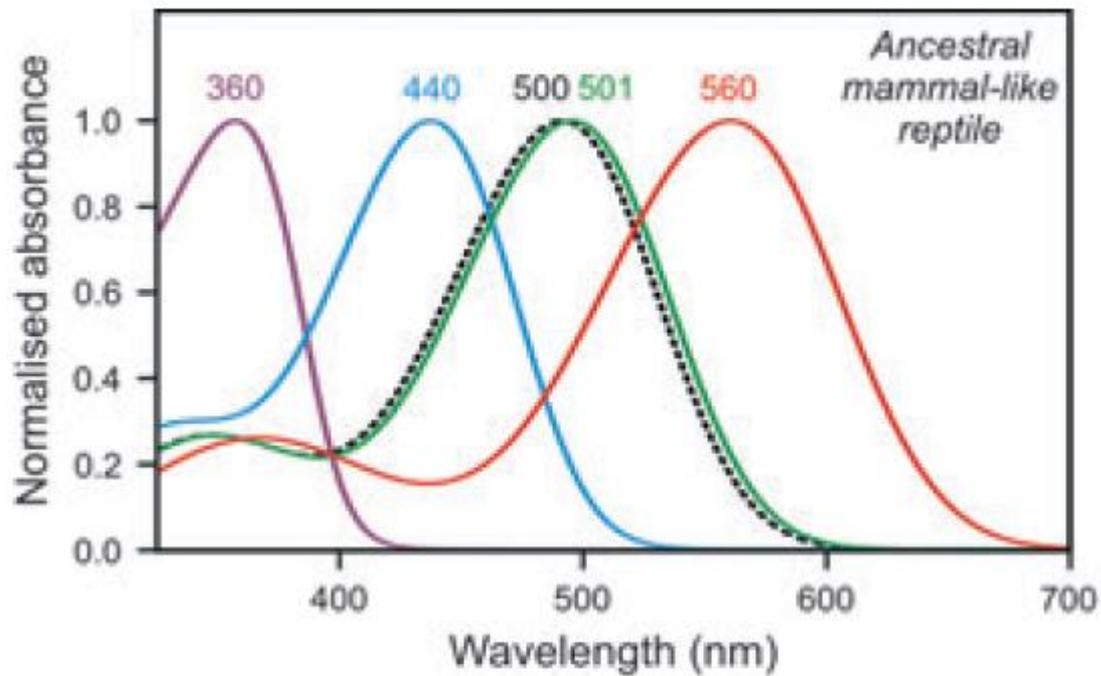


и это не попугай!

# Эволюция опсинов



# Спектры поглощения опсинов



■ LWS

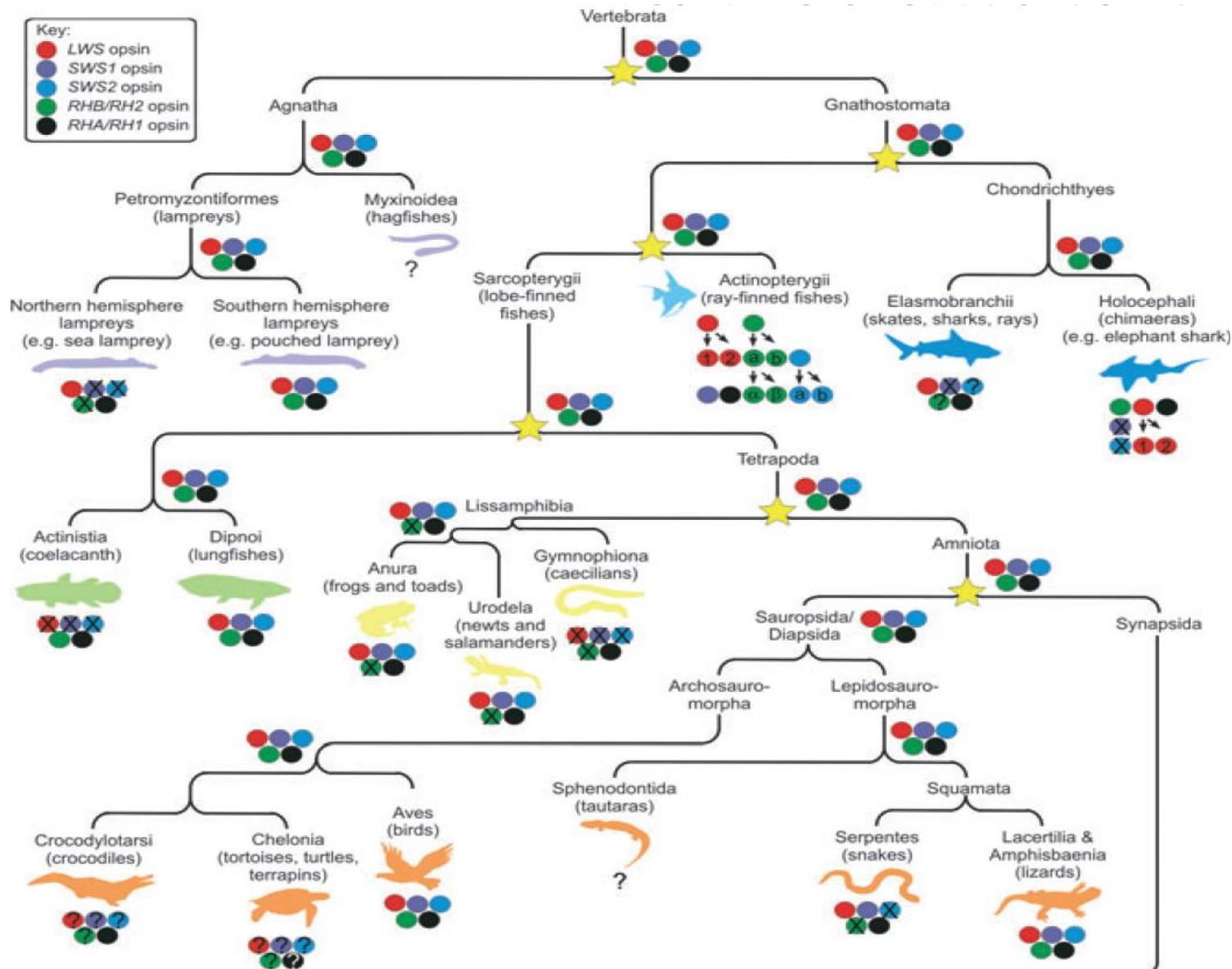
■ SWS1

■ SWS2

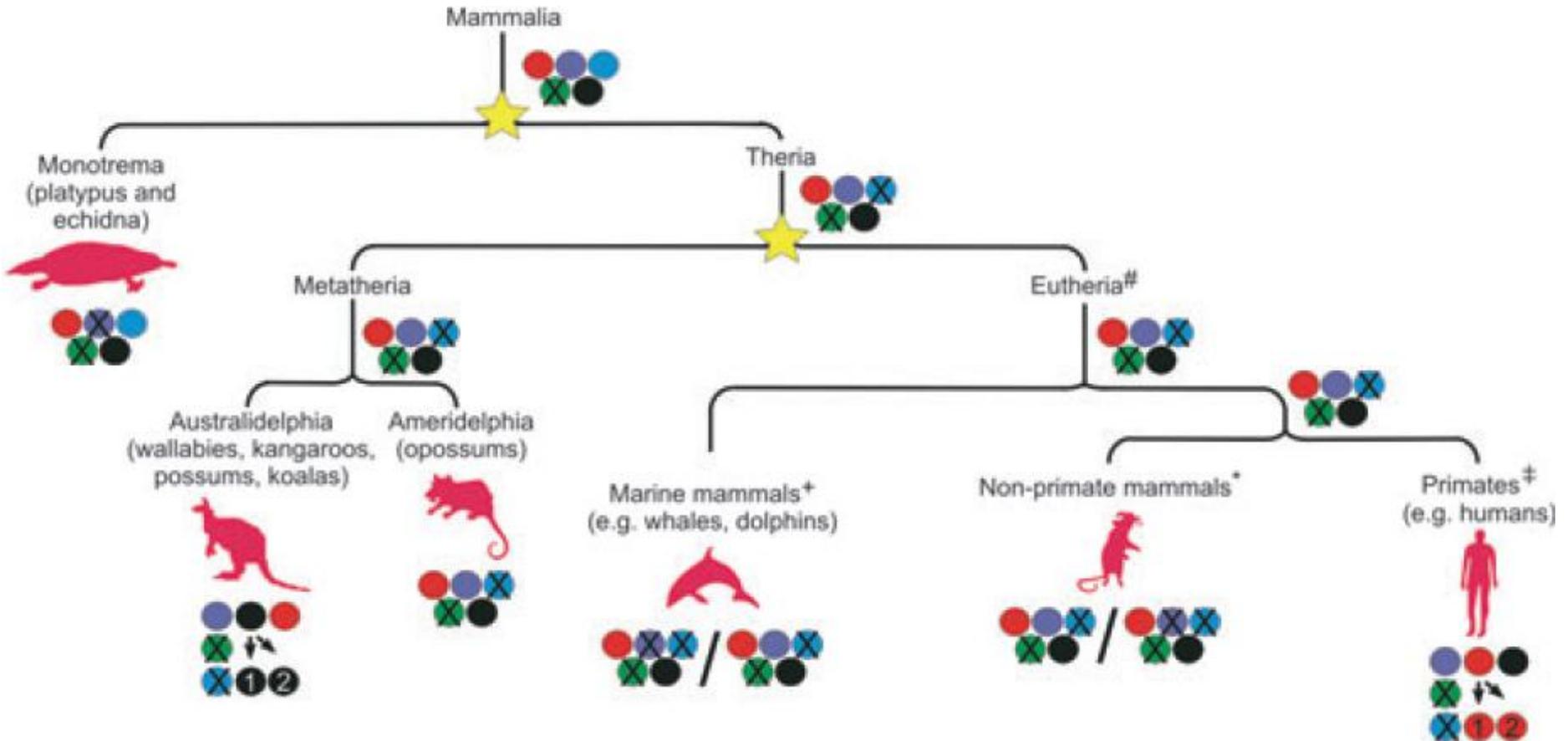
■ Rh2

■ Rh1

# Эволюция опсинов позвоночных



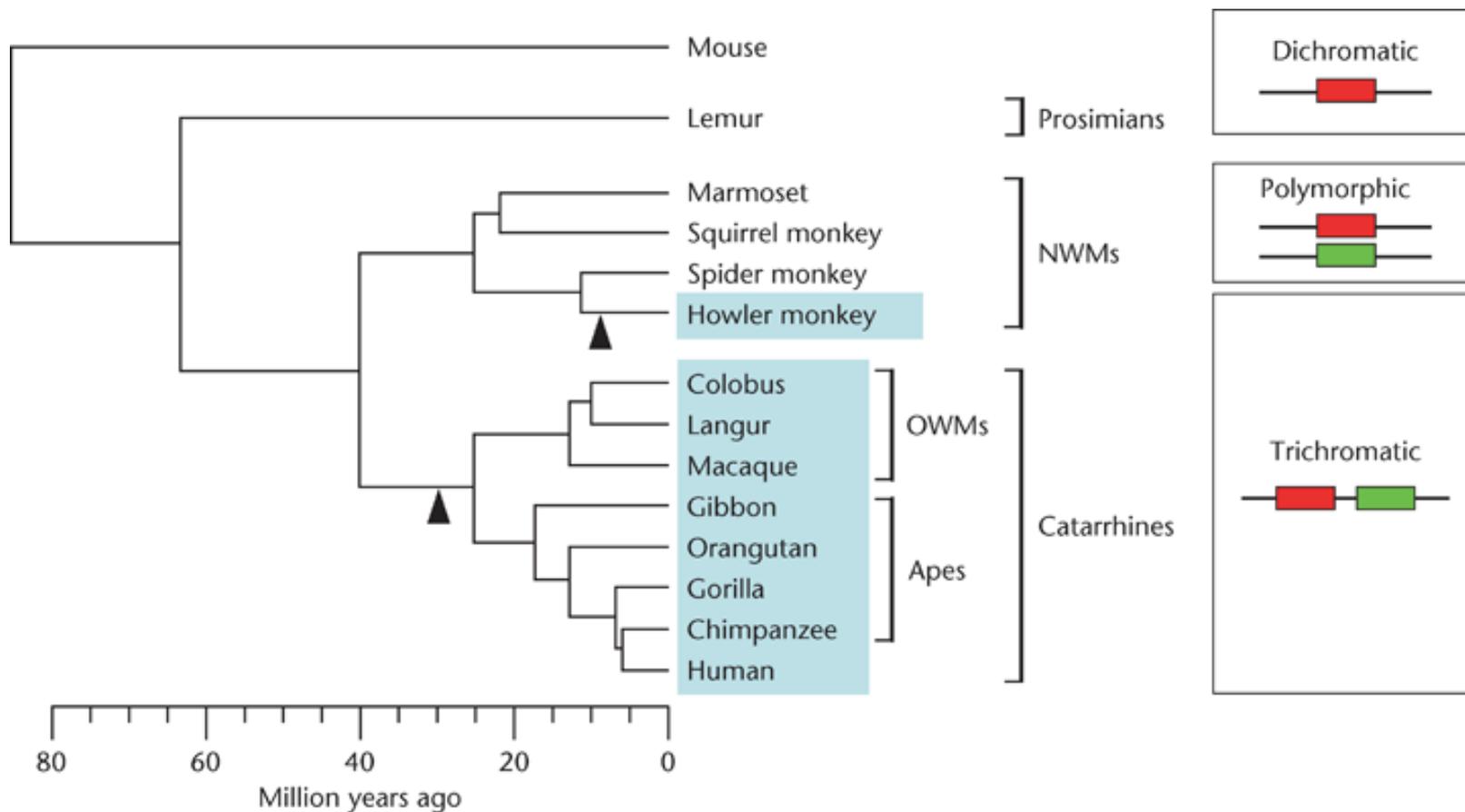
# Эволюция опсинов позвоночных



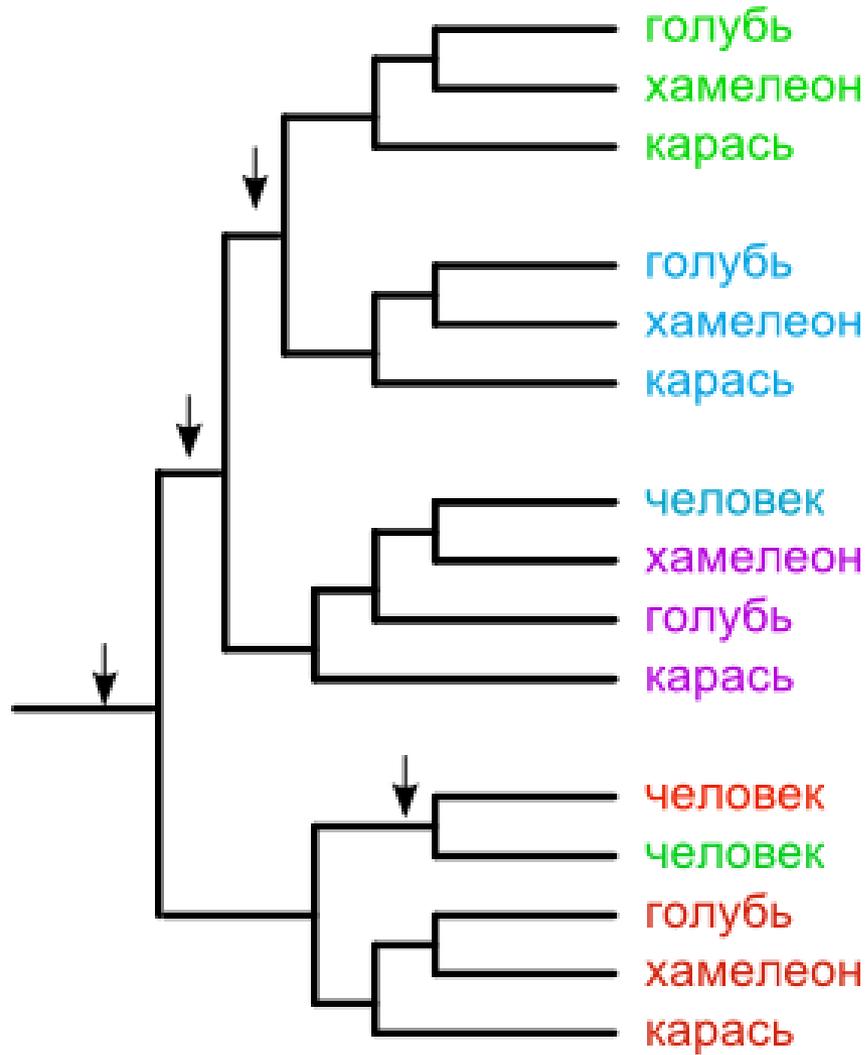
Key:

- LWS opsin
- SWS1 opsin
- SWS2 opsin
- RHB/RH2 opsin
- RHA/RH1 opsin

# Возвращение зеленого опсина



# Эволюция опсинов позвоночных



# Трихроматическое vs дихроматическое зрение

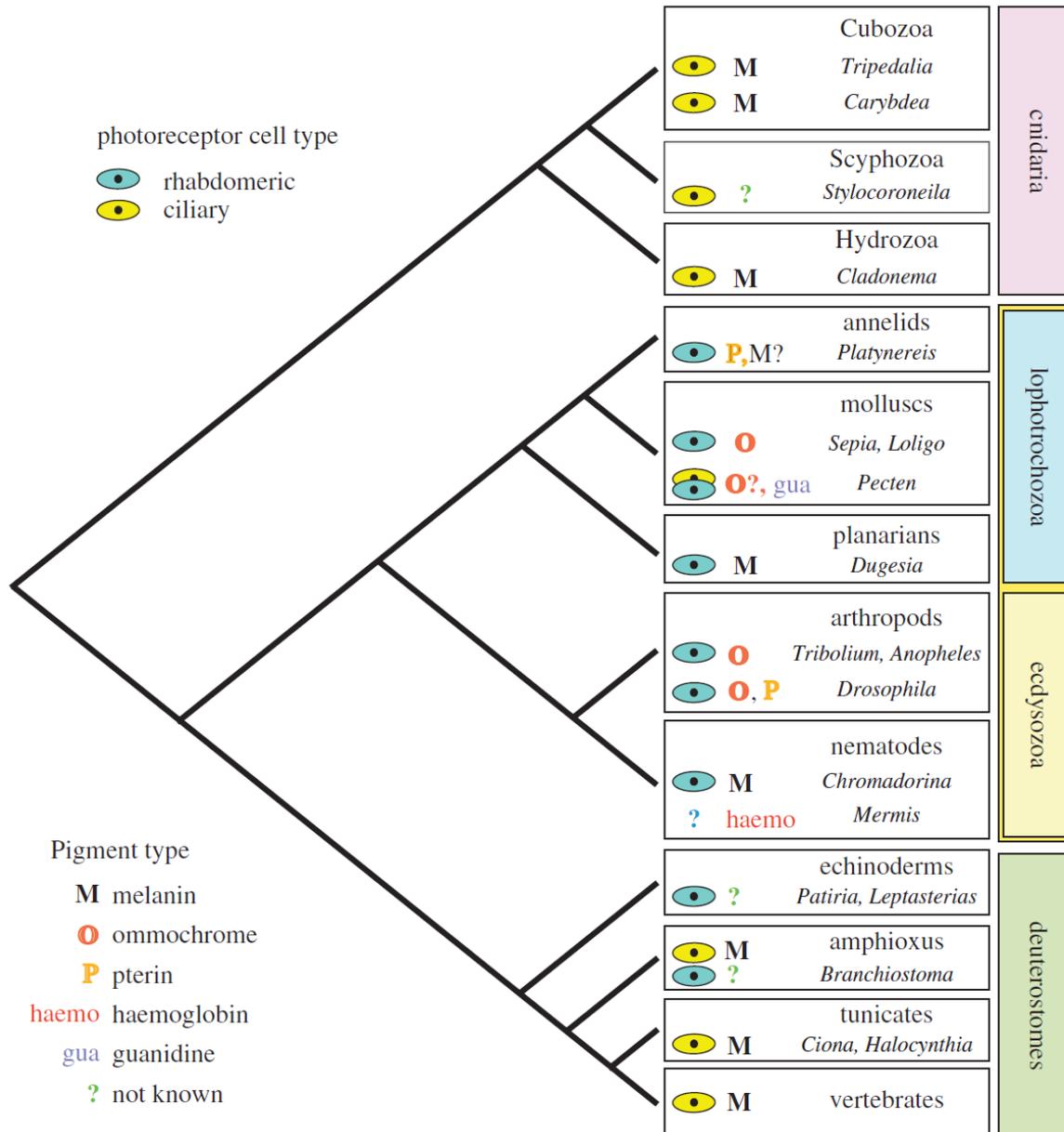
Так видит человек



а так - бык



# Пигмент, поглощающий избыток света



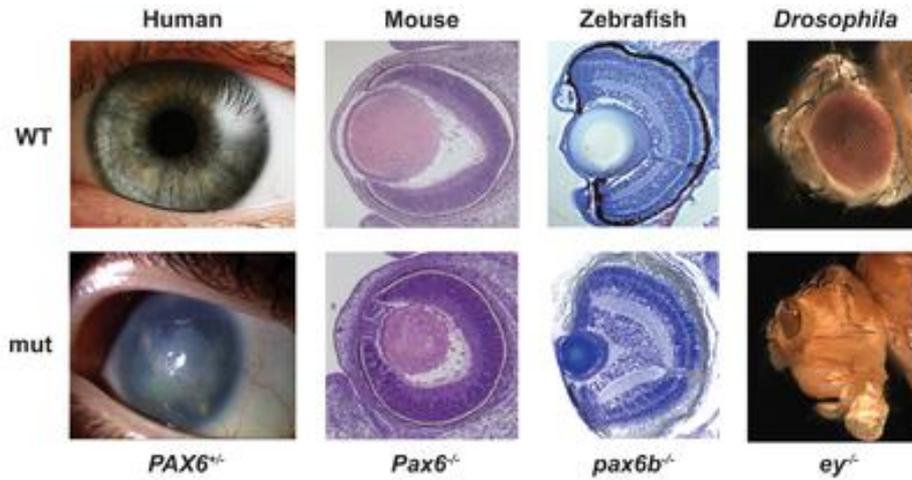
# Кристаллины - белки формирующие линзу

PLATIGORSKY

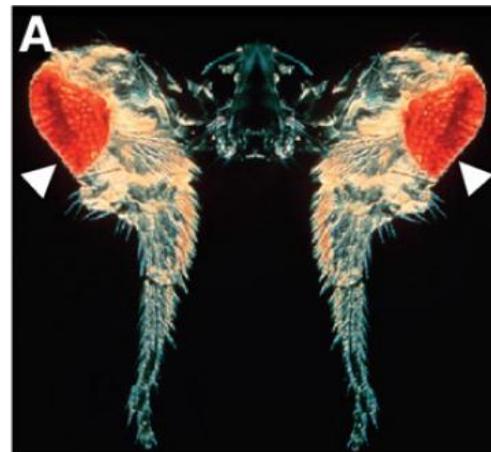
**TABLE 1. Lens Crystallins<sup>a</sup>**

Distribution	Crystallin	(Related) or <i>identical</i>
All vertebrates	$\alpha$	<i>Small heat shock protein; chaperonin</i>
	$\beta$ - $\gamma$	(Microbial stress proteins)
Birds and reptiles	$\delta$	<i>Argininosuccinate lyase</i>
	$\epsilon$	<i>Lactate dehydrogenase B</i>
	$\zeta$	(Alcohol dehydrogenase; quinone reductase)
Some mammals	$\eta$	<i>Cytoplasmic aldehyde dehydrogenase</i>
	$\lambda$	(Hydroxyl CoA dehydrogenase)
	$\mu$	(Ornithine cyclodeaminase)
	$\rho$	(NADPH-dependent reductases)
Many vertebrates	$\tau$	<i><math>\alpha</math>-enolase</i>
Cephalopods	S	(Glutathione S-transferase)
	$\Omega$	(Aldehyde dehydrogenase)
Jellyfish	J	?

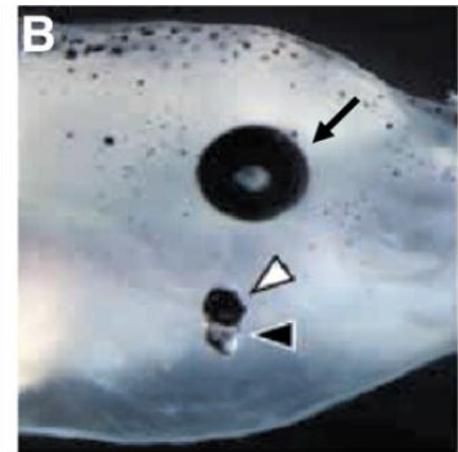
# Гены-регуляторы развития глаза



Эктопическая экспрессия *Pax6* индуцирует эктопический глаз



дрозофила



Шпорцевая лягушка

# Гены-регуляторы развития глаза

## Drosophila Gene(s)

eyeless, twin of eyeless  
 eyegone, twin of eyegone  
 eyes absent  
 dachshund  
 sine oculis/optix/DSix4  
 teashirt  
 homothorax

## Molecular Function

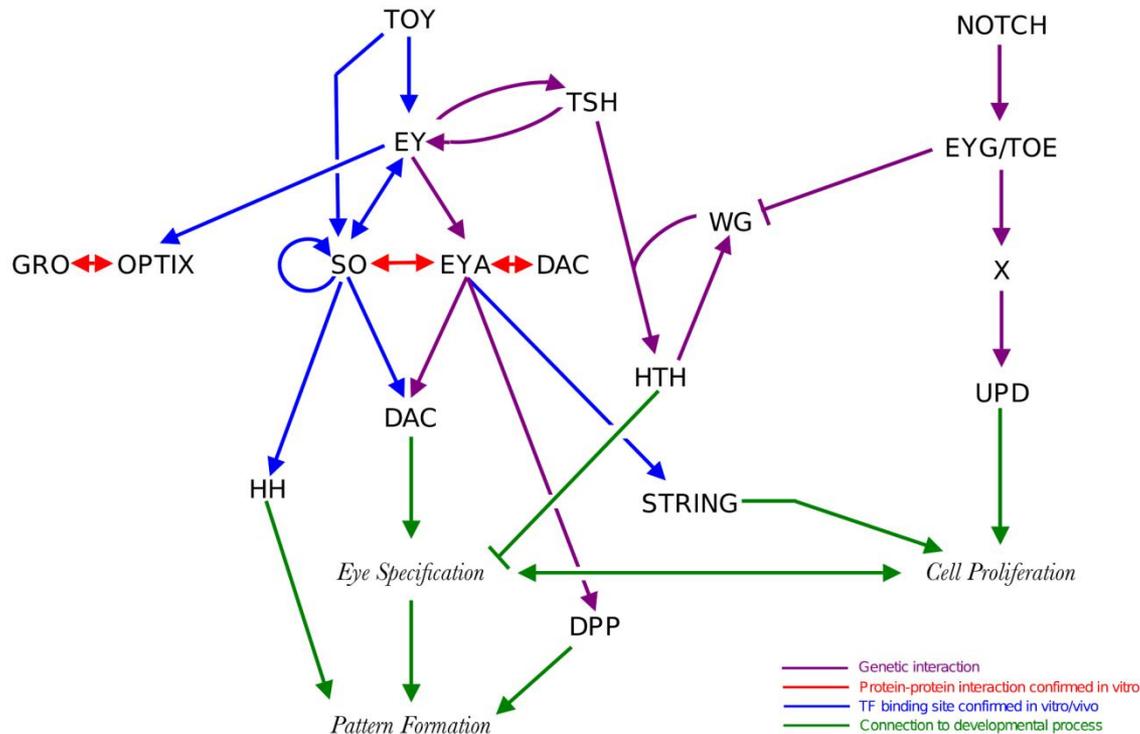
transcription factor  
 transcription factor  
 co-activator/phosphatase  
 transcription factor  
 transcription factor  
 transcription factor  
 transcription factor

## Domain(s)

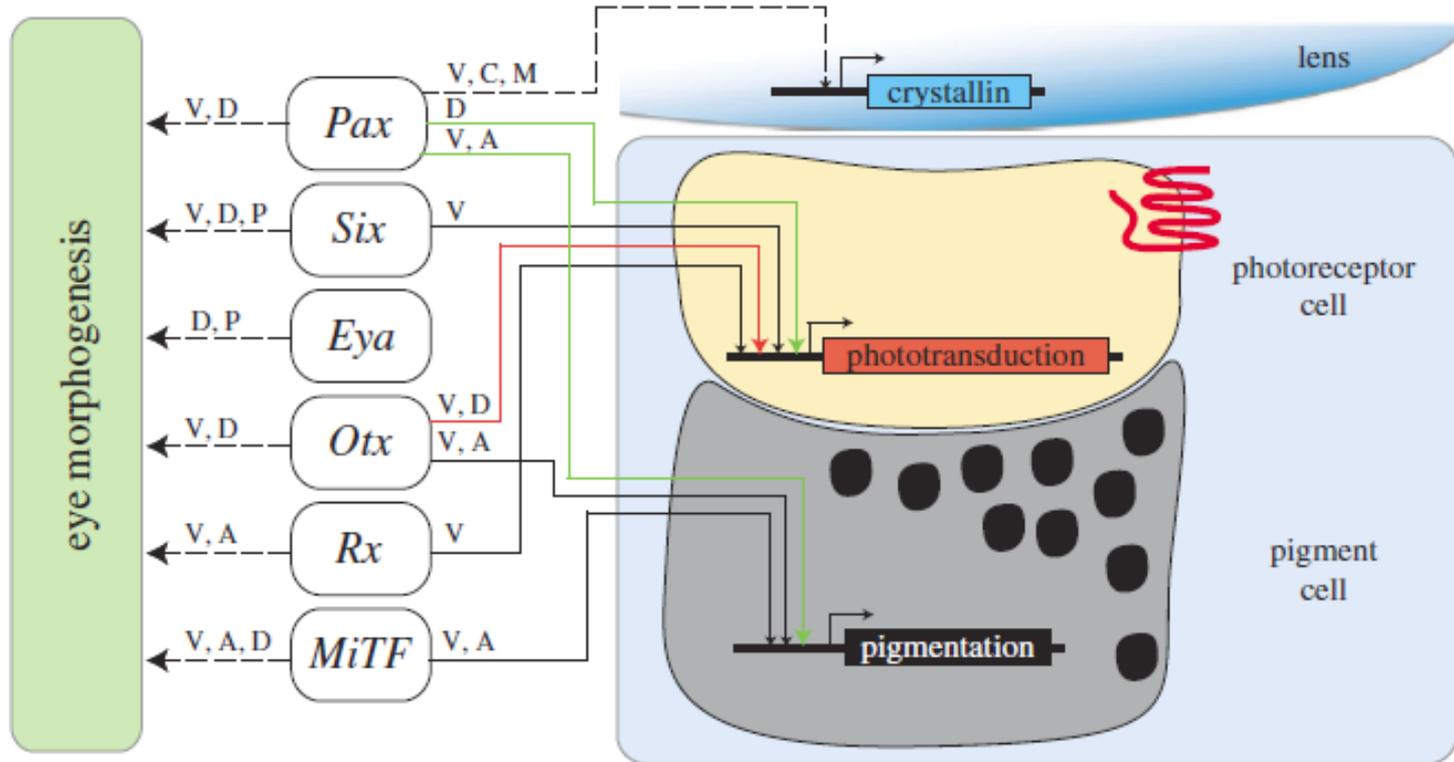
paired/homeodomain  
 paired (truncated)/homeodain  
 P/S/T  
 winged helix turn helix  
 homeodomain  
 zinc finger  
 homeodomain

## Vertebrate Gene(s)

Pax6  
 Pax6(5a)  
 Eya1-4  
 Dach1-2  
 Six1-6  
 Tsh1-4  
 Meis1



# Гены-регуляторы развития глаза



V, vertebrates; A, ascidians; D, Drosophila; C, cnidarians; M, molluscs; P, planarians

# Глаза эволюционировали не так уж и не независимо

- ❑ Клетки-фоторецепторы обоих типов присутствуют как у позвоночных так и у беспозвоночных животных – оба присутствовали у предка
- ❑ Компоненты каскада трансдукции:  
Опсины, а также G-белки позвоночных и беспозвоночных имеют общее происхождение.
- ❑ Пигменты, поглощающие избыточный свет общие или индивидуальные
- ❑ Белки кристаллины, формирующие линзу привлечены произвольно
- ❑ Гены-регуляторы гомологичны

