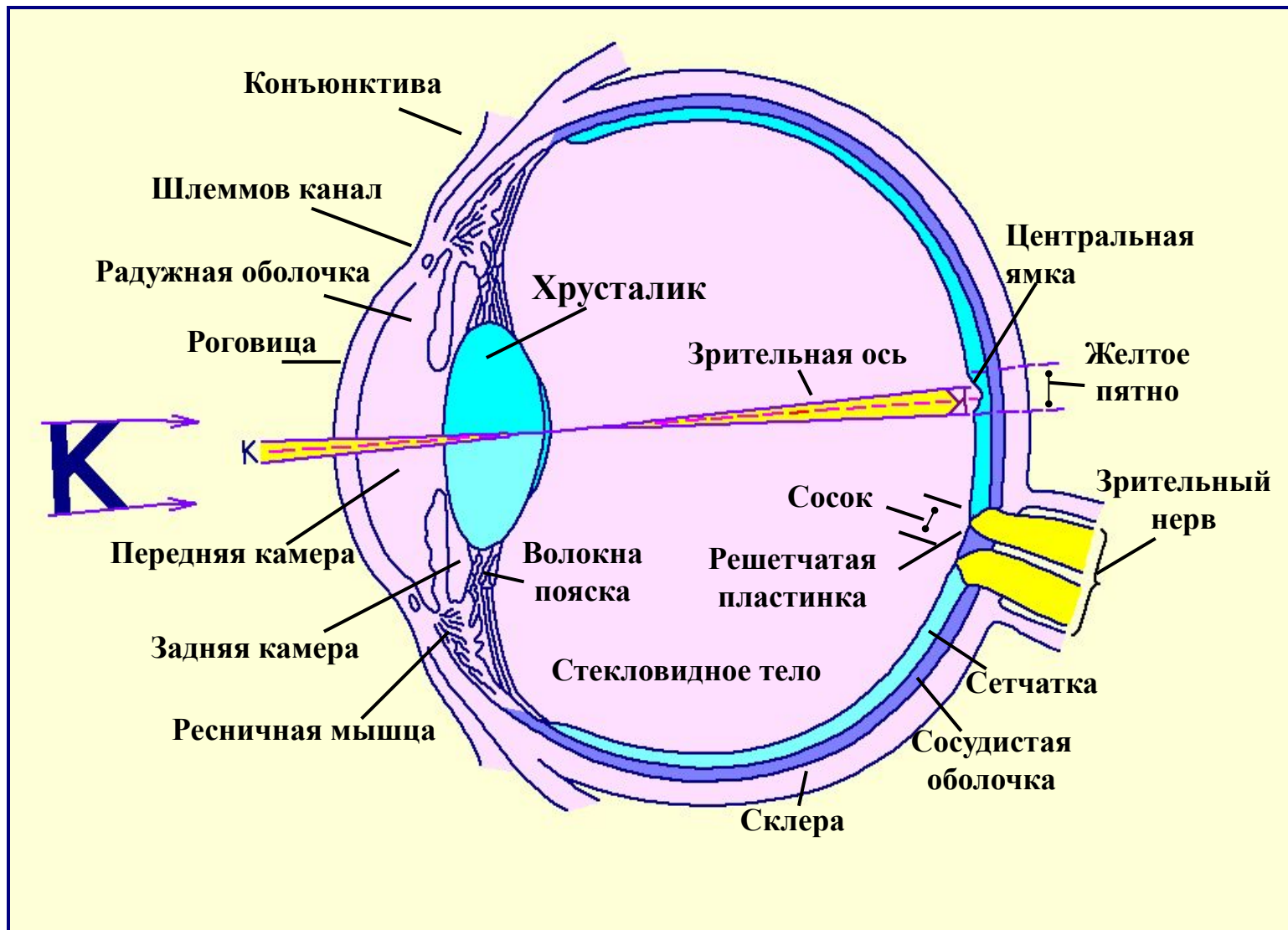
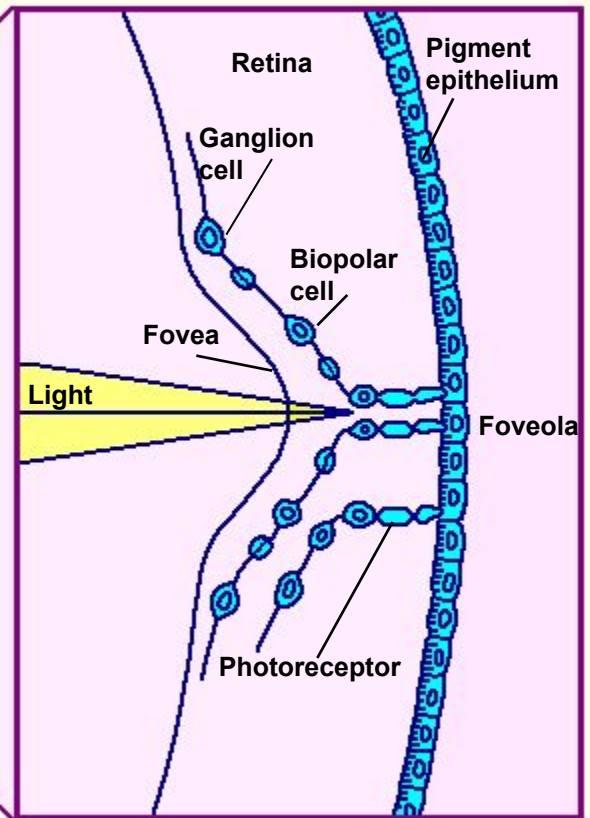
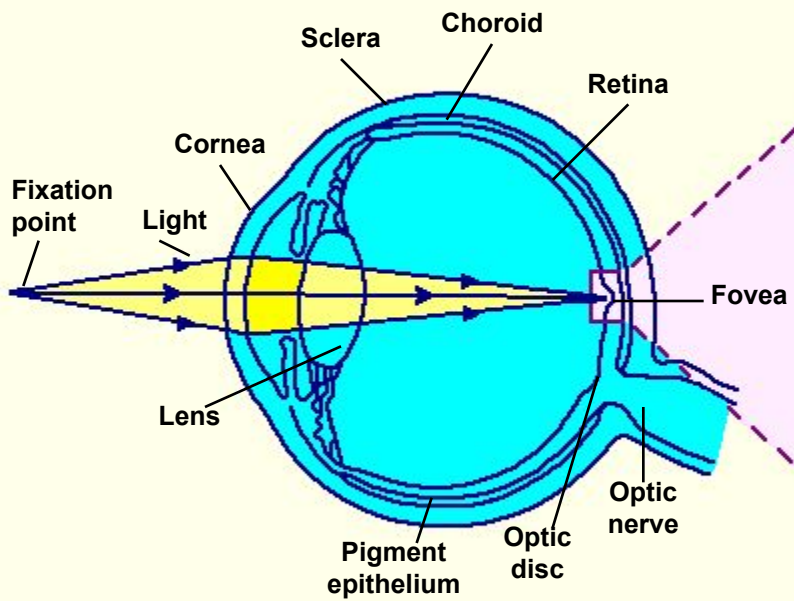


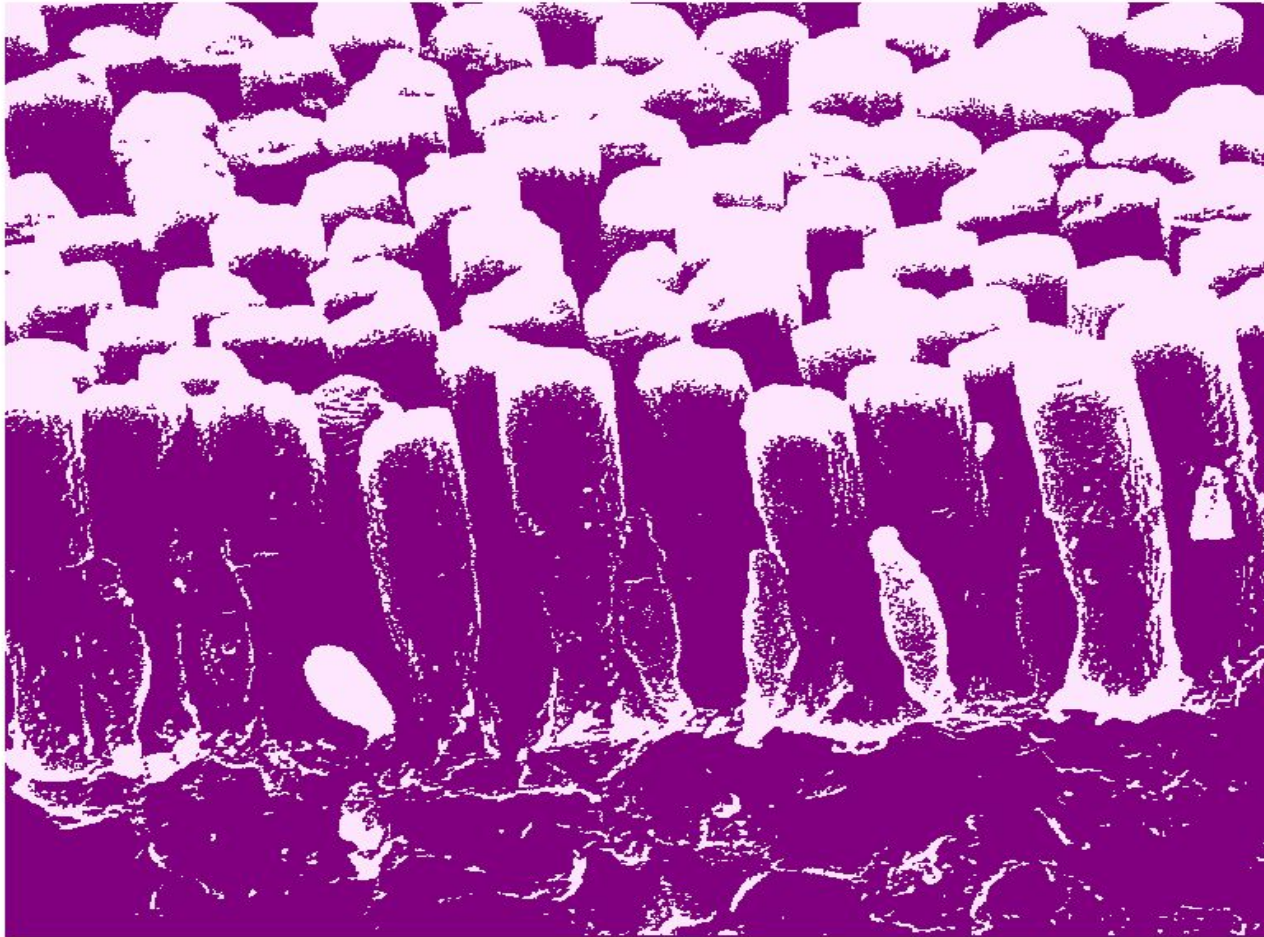


Зрение

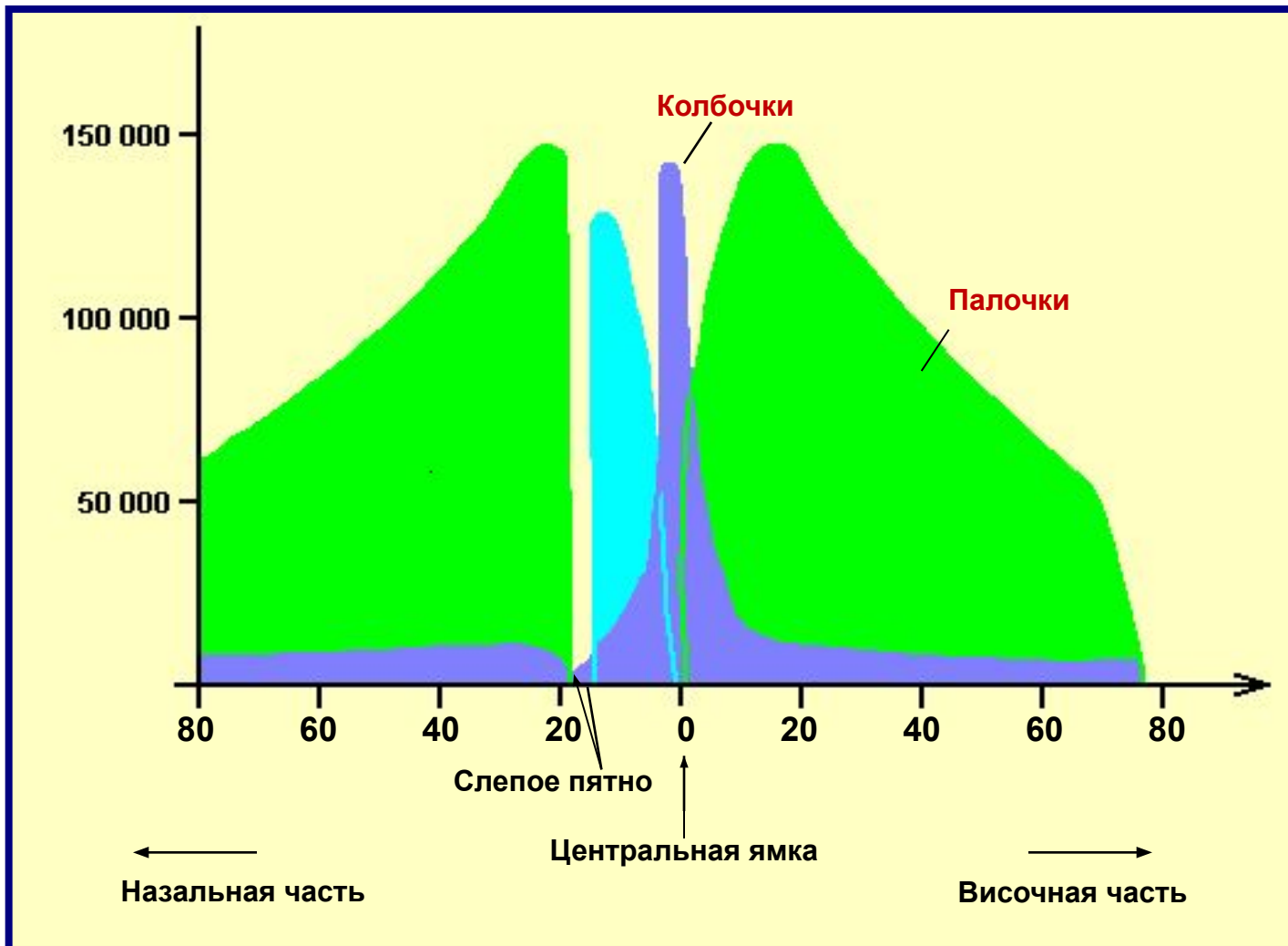
Восприятие света и обработка информации в сетчатке







**Два типа фоторецепторов – палочки (120 млн) - ночное зрение
- колбочки (6 млн) – дневное зрение**

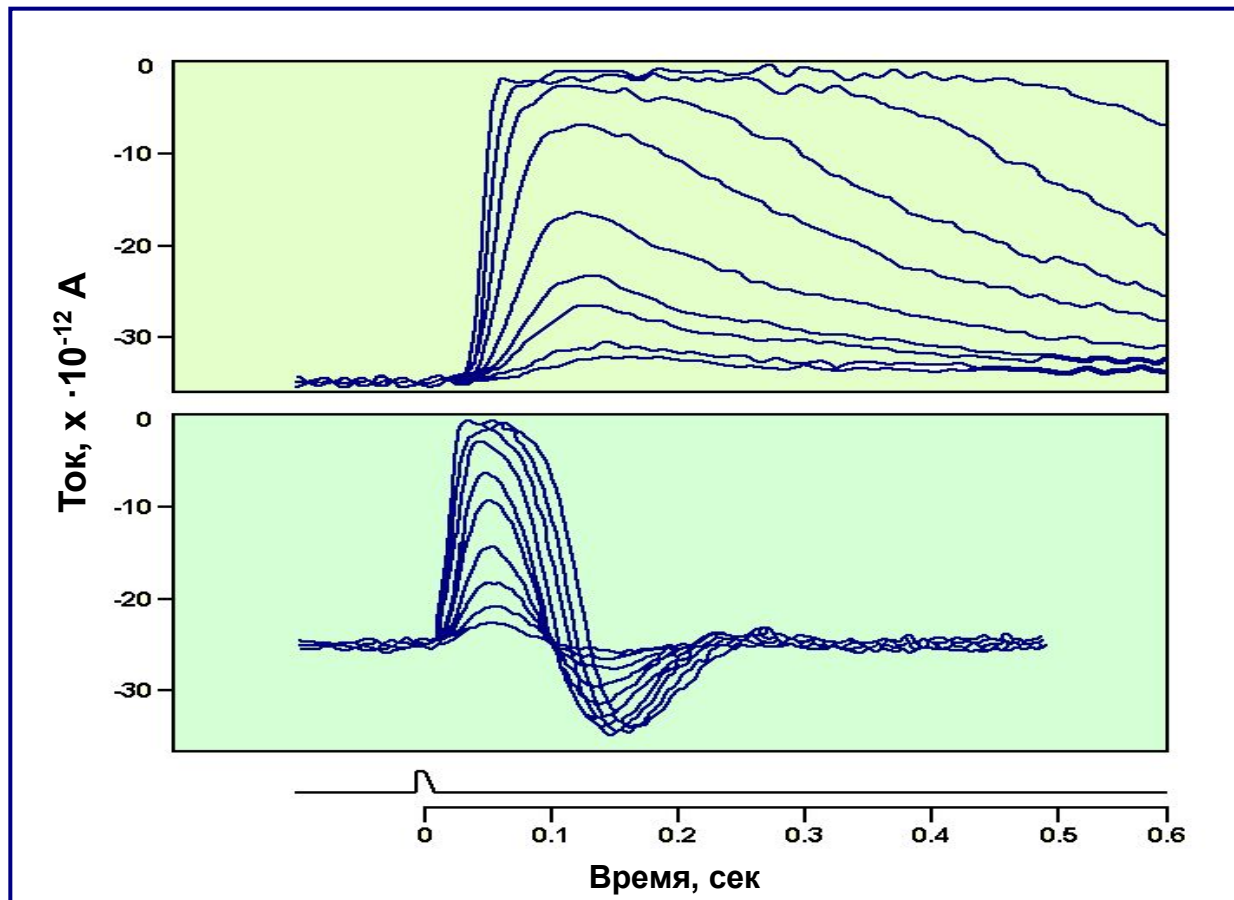


Распределение колбочек и палочек в сетчатке (схема).

**По оси ординат – плотность рецепторов (число рецепторов на 1 мм²),
по оси абсцисс – расстояние от центральной ямки в угловых градусах.**

РАЗЛИЧИЯ МЕЖДУ ПАЛОЧКАМИ И КОЛБОЧКАМИ

Палочки (120 млн)	Колбочки (6 млн)
<i>Высоко чувствительны (реакция на 1 фотон), специализированы для ночного зрения. Располагаются по периферии сетчатки.</i>	<i>Низко чувствительные (реакция на сотни фотонов), специализированные для дневного зрения. Сконцентрированы в центральной ямке, что дает наименьшее искажение образа.</i>
<i>Большее количество фотопигмента, поглощают больше света.</i>	<i>Меньшее количество фотопигмента.</i>
<i>Высокая степень усиления сигнала.</i>	<i>Невысокая степень усиления.</i>
<i>Насыщение при попадании нескольких фотонов</i>	<i>Насыщение только при очень интенсивном свете</i>
<i>Низкая временная разрешающая способность: медленный ответ, длительное время интеграции (эффекты фотонов за 100 мсек суммируются). Воспринимают колебания < 12 гц.</i>	<i>Высокая временная разрешающая способность: быстрый ответ, короткое время интеграции. Воспринимают колебания до 55 гц.</i>
<i>Более чувствительны к рассеянному свету.</i>	<i>Более чувствительны к прямым лучам света.</i>
Палочковая система	Колбочковая система
<i>Низкая точность: широкая конвергенция, отсутствие палочек в центральной ямке.</i>	<i>Высокая точность: слабая конвергенция, колбочки сконцентрированы в центральной ямке. Лучше пространственное и временное разрешение.</i>
<i>Нецветное зрение: палочки с одним типом пигмента.</i>	<i>Цветное зрение: колбочки с тремя типами пигмента, каждый из которых наиболее чувствителен в определенной части спектра. Соответствующая организация рецепторных полей.</i>



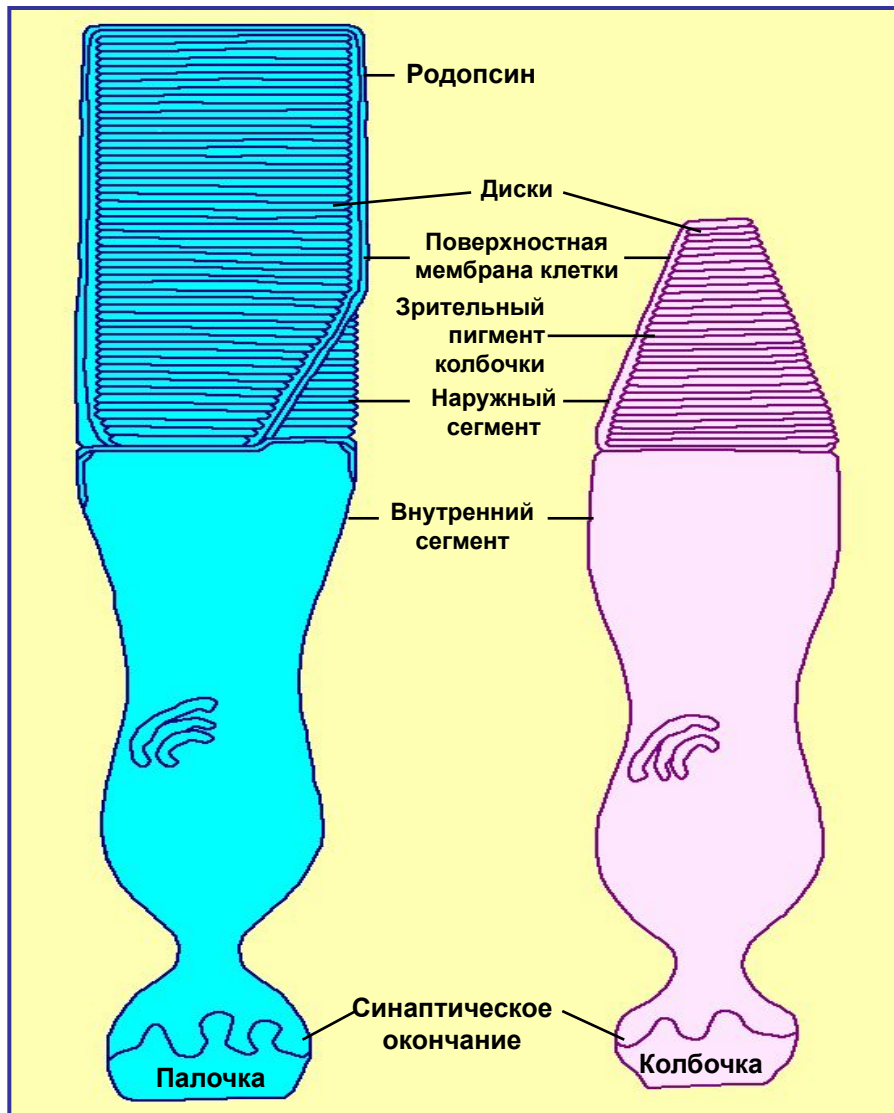
В палочке ответ составляет половину максимального при активации 30 молекул родопсина; в колбочке – при активации 1200 молекул пигмента.

МЕМБРАННЫЕ ТОКИ в палочке (вверху) и колбочке (внизу) у обезьяны. Записаны с помощью засасывающей пипетки. Наружные сегменты клеток освещались вспышками света, причем интенсивность вспышки последовательно удваивали до тех пор, пока ответы не достигли максимальной амплитуды, а входящие токи полностью не блокировались.



- Кошки видят не слишком четко, особенно отдаленные предметы;
- они видят мир не таким ярким;
- в темноте они видят лучше человека.





Палочки и колбочки имеют аналогичные функционирующие области

Наружный сегмент клетки для восприятия фотонов содержит молекулы светопоглощающего пигмента. Обновление 2-3 диска в час.

Во внутреннем сегменте находится ядро митохондрии и другие органеллы.

Синаптическое окончание связывает фоторецептор с другими клетками сетчатки. Медиатор – глутамат.

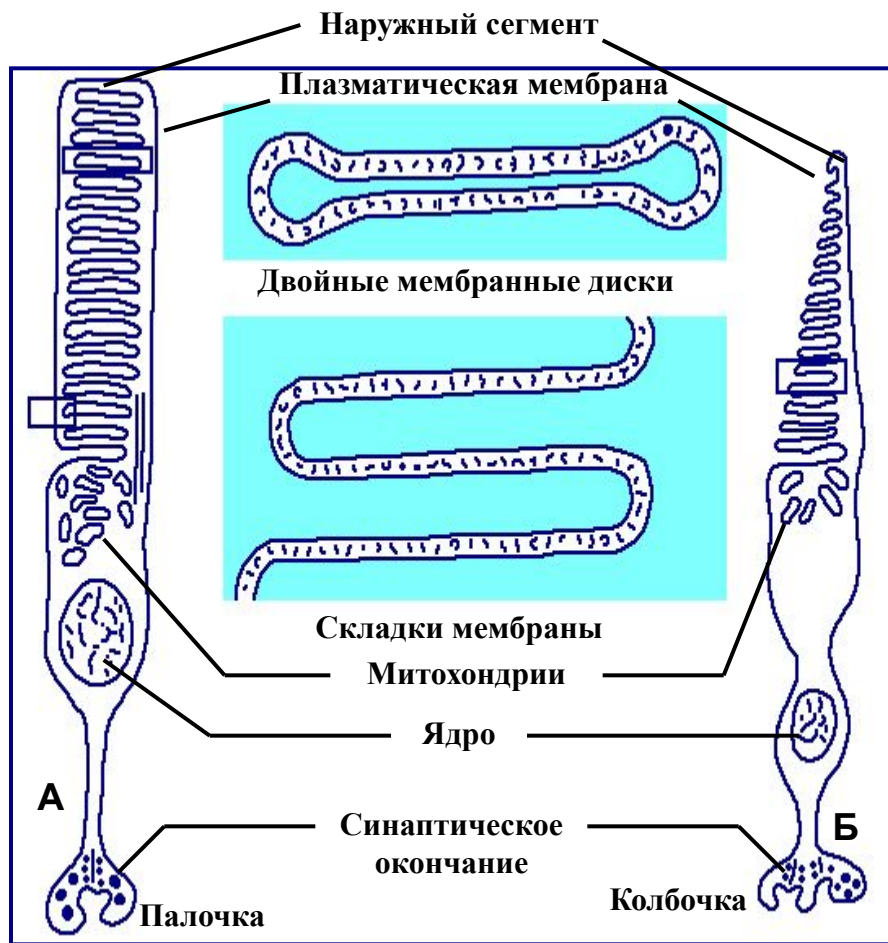
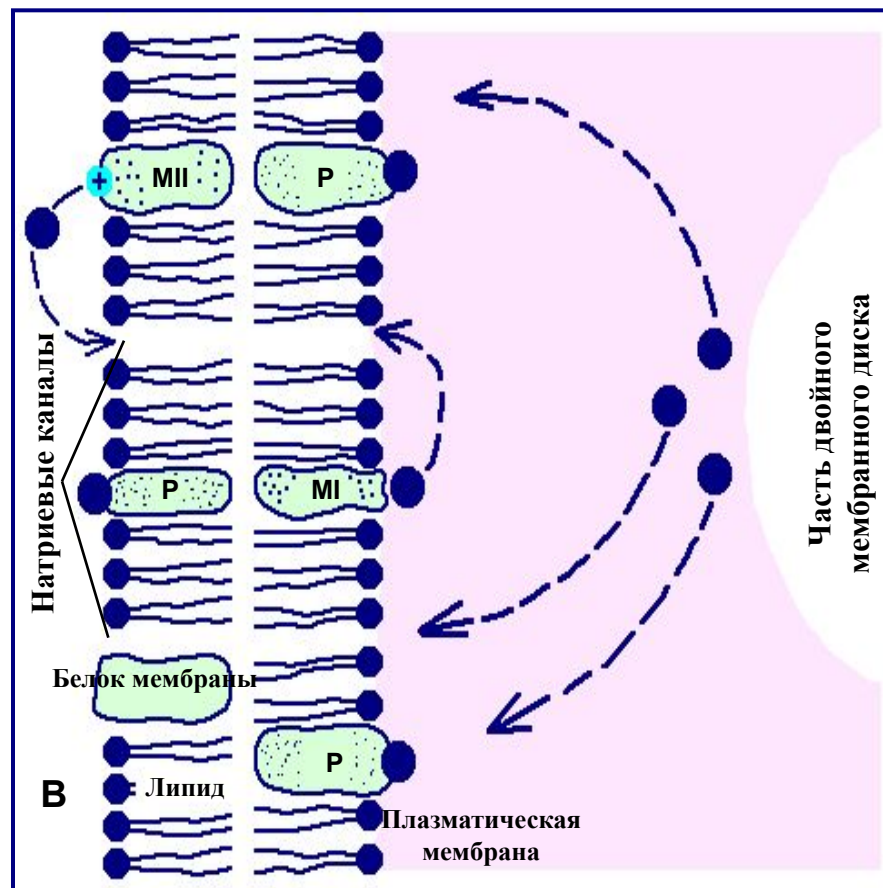


Схема строения палочки (А) и колбочки (Б) в сетчатке позвоночных.

В увеличенном виде показана структура мембраны дисков в наружных сегментах палочек и мембранные складки наружных сегментов колбочек.

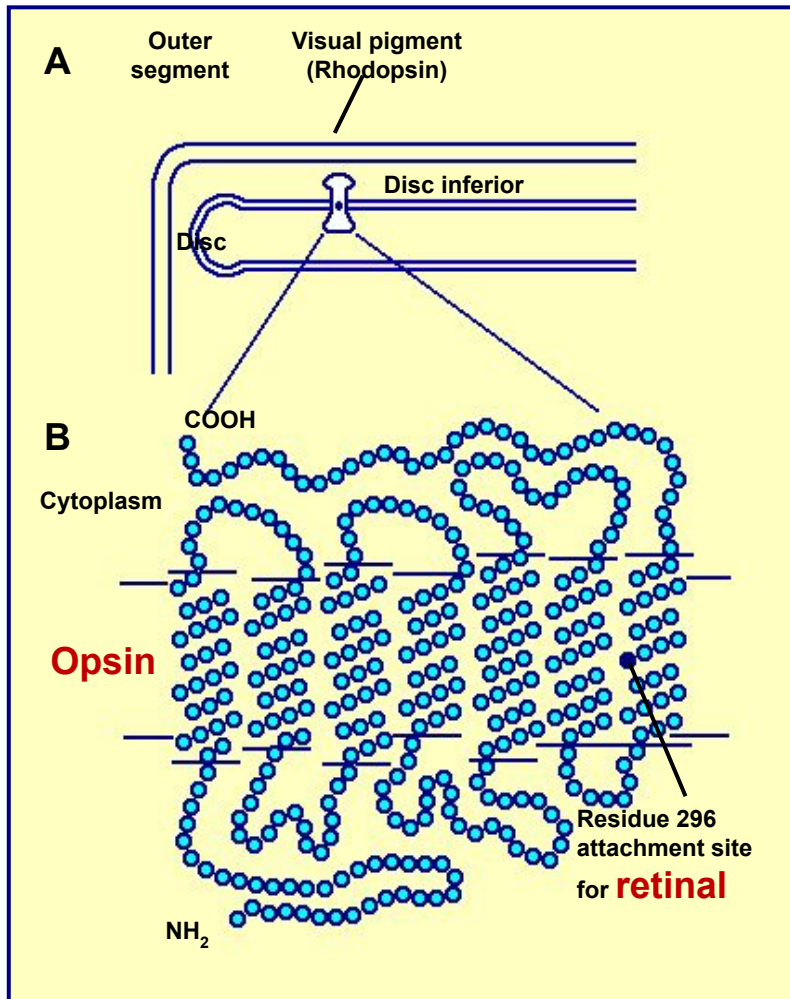


В. Структура диска или плазматической мембраны фоторецепторов.

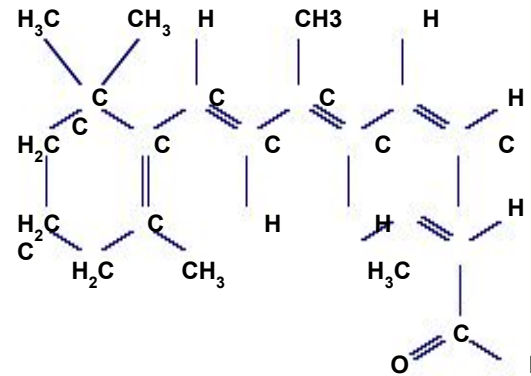
Три стадии фототрансдукции

- 1) свет активирует зрительный пигмент в фоторецепторе;
- 2) активация молекул зрительного пигмента приводит к стимуляции фосфодиэстеразы, гидролизу и снижению концентрации цГМФ в цитоплазме;
- 3) снижение цГМФ приводит к закрытию Na^+ каналов и гиперполяризации мембраны рецептора.

**Первая стадия фототрансдуции:
активация зрительного пигмента**

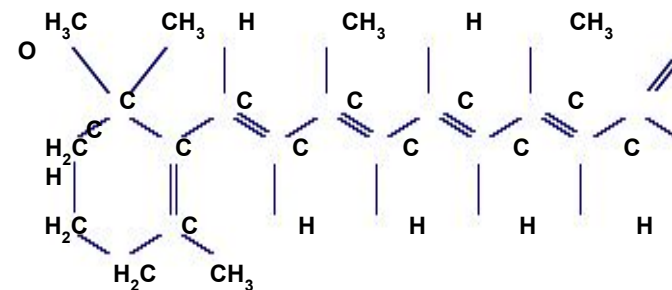


C 11-*cis* retinal (Mr=268) Неактивная форма



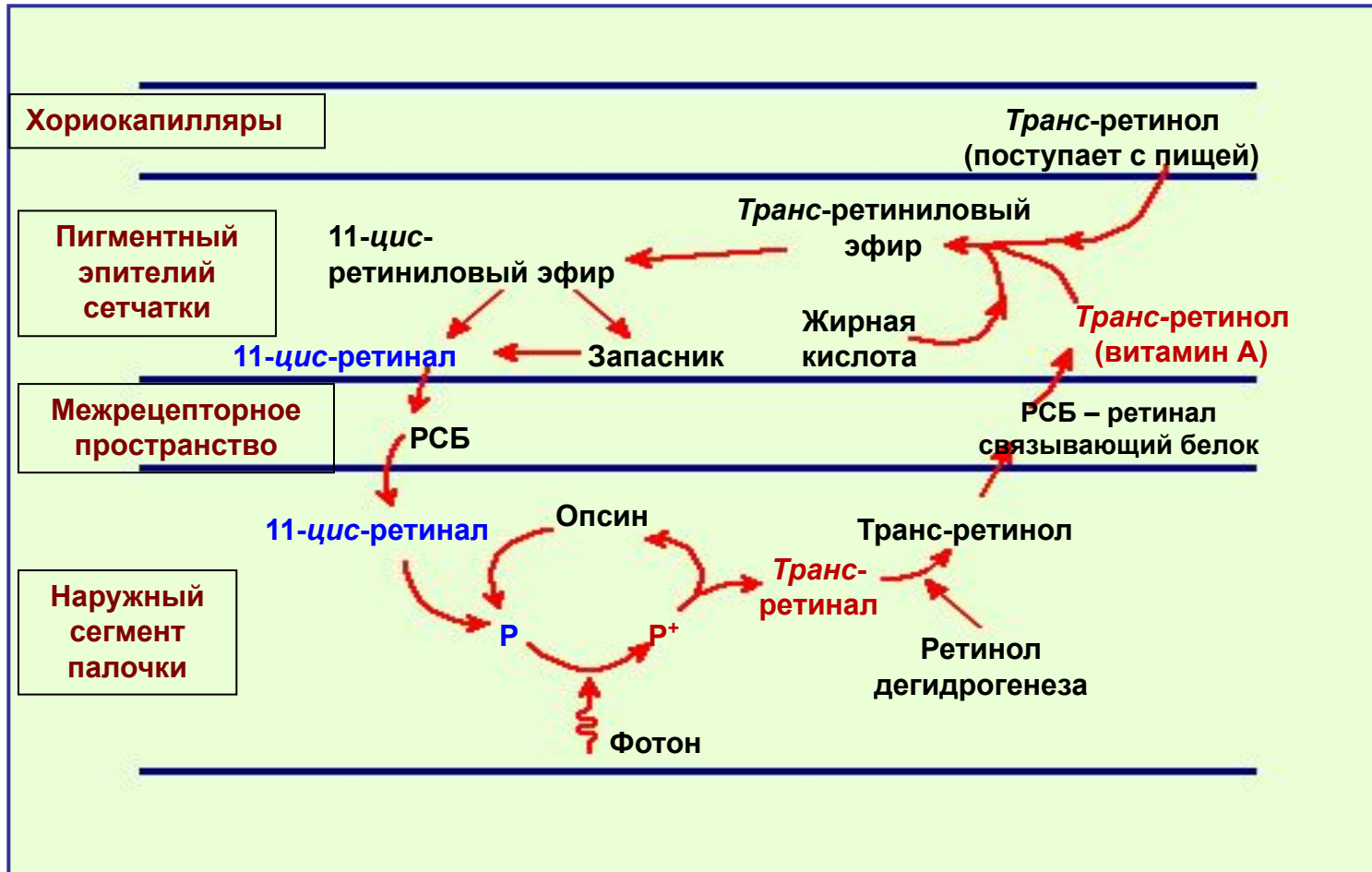
All-*trans* retinal

Активная форма

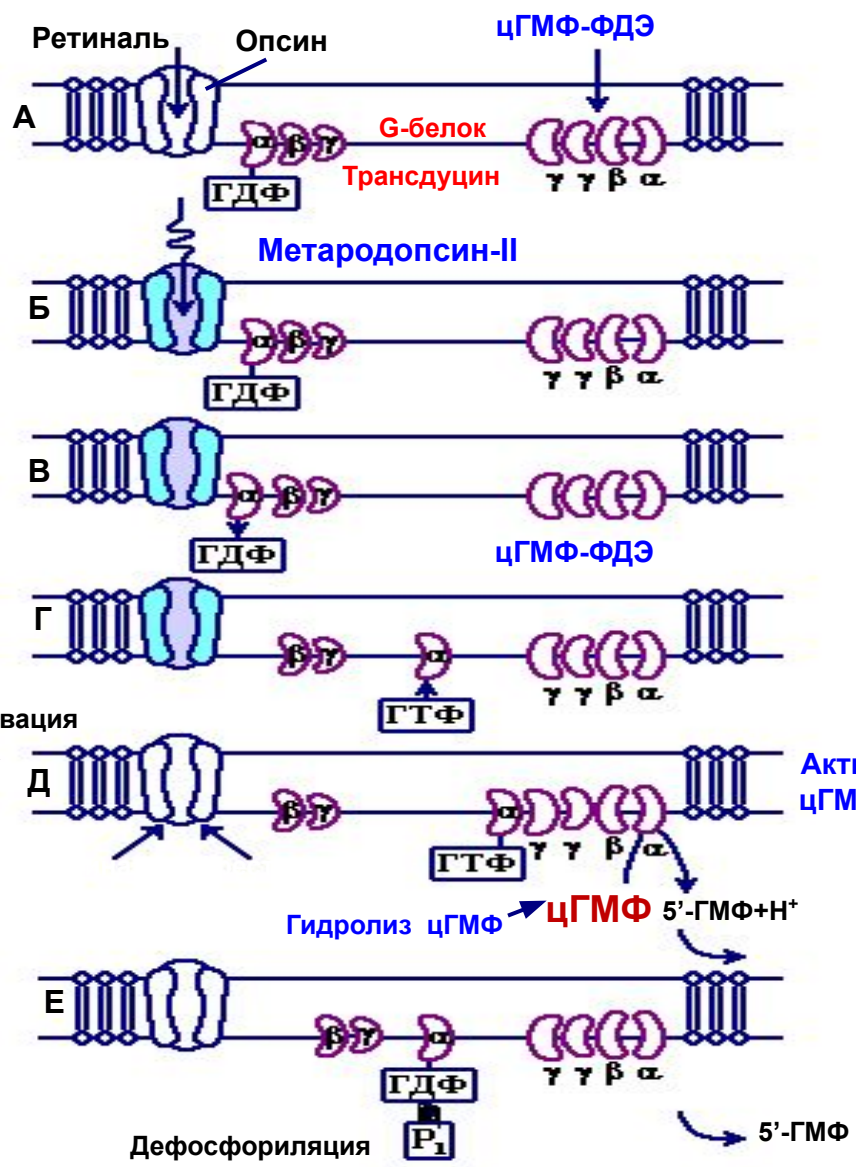


Ретинал – альдегидная форма витамина А.

Регенерация 11-цис-ретинала



Р – родопсин, **Р+** - активированный родопсин.



Вторая стадия фототрансдукции:
изменение концентрации цГМФ в фоторецепторе

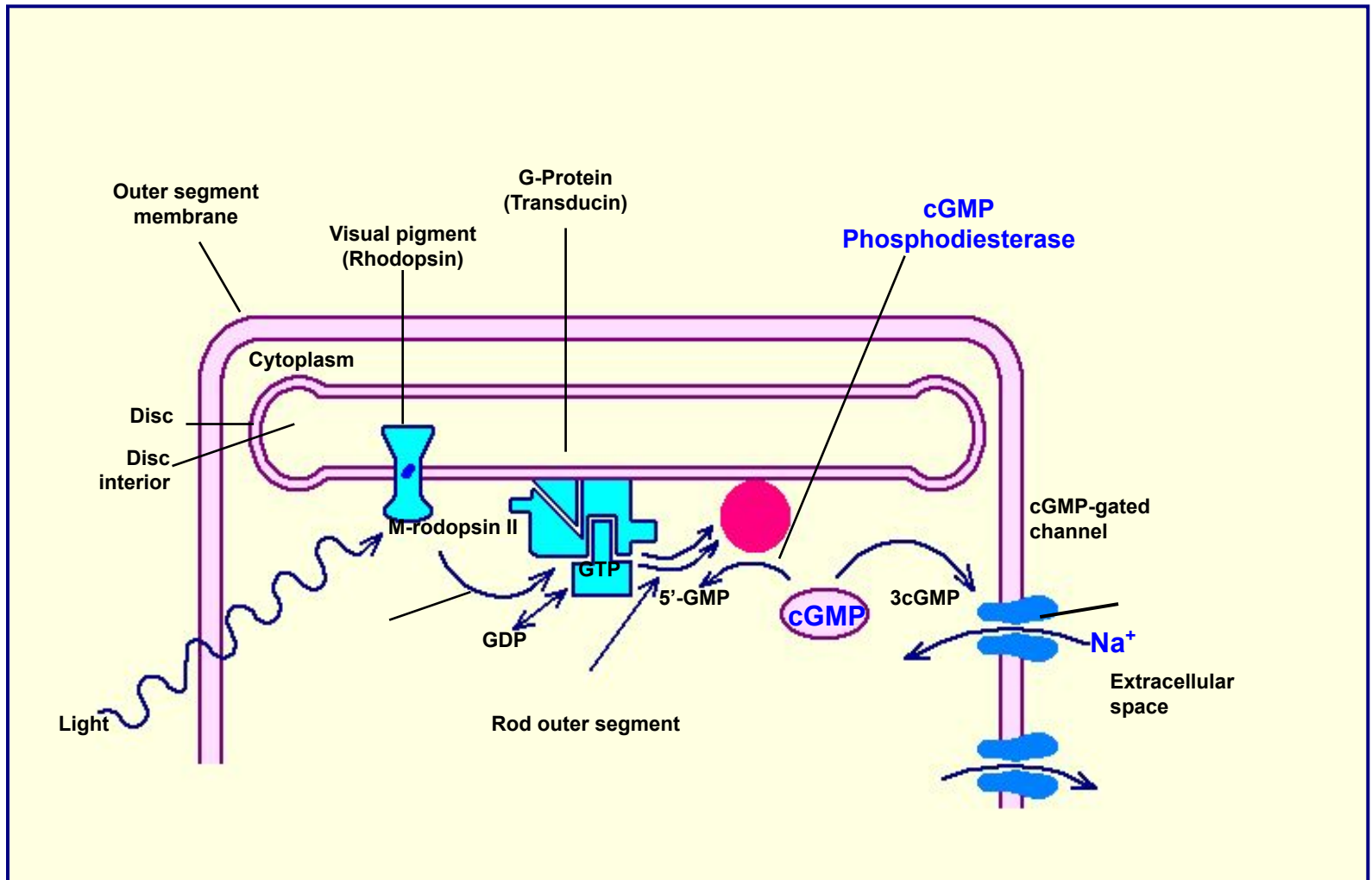
Ca(2+) угнетает

Гуанилат-циклаза – синтез цГМФ из ГТФ
Фосфодиэстераза – гидролиз цГМФ

Метародопсин II активирован

Скорость движения G-белка в мембране 0.1 - 0.001 мкм/сек.

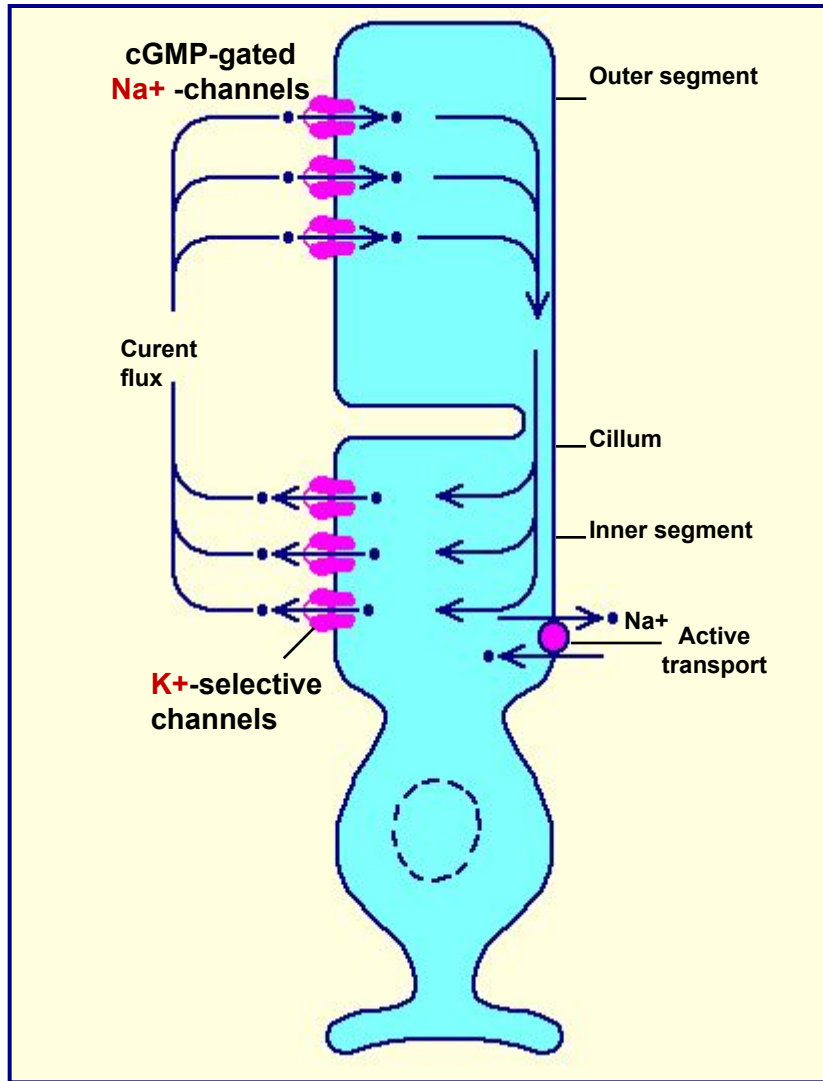
cGMP регулируемые Na- каналы



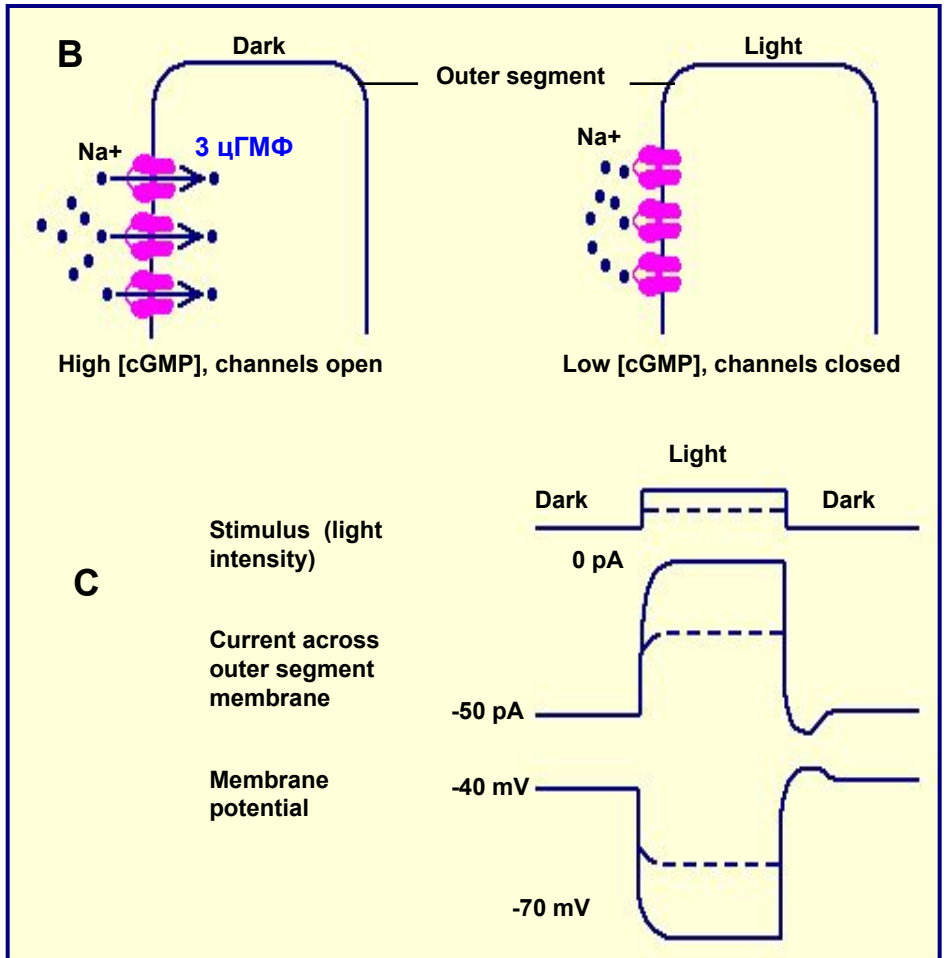
Гуанилат-циклаза – синтез цГМФ из ГТФ

Фосфодиэстераза – гидролиз цГМФ

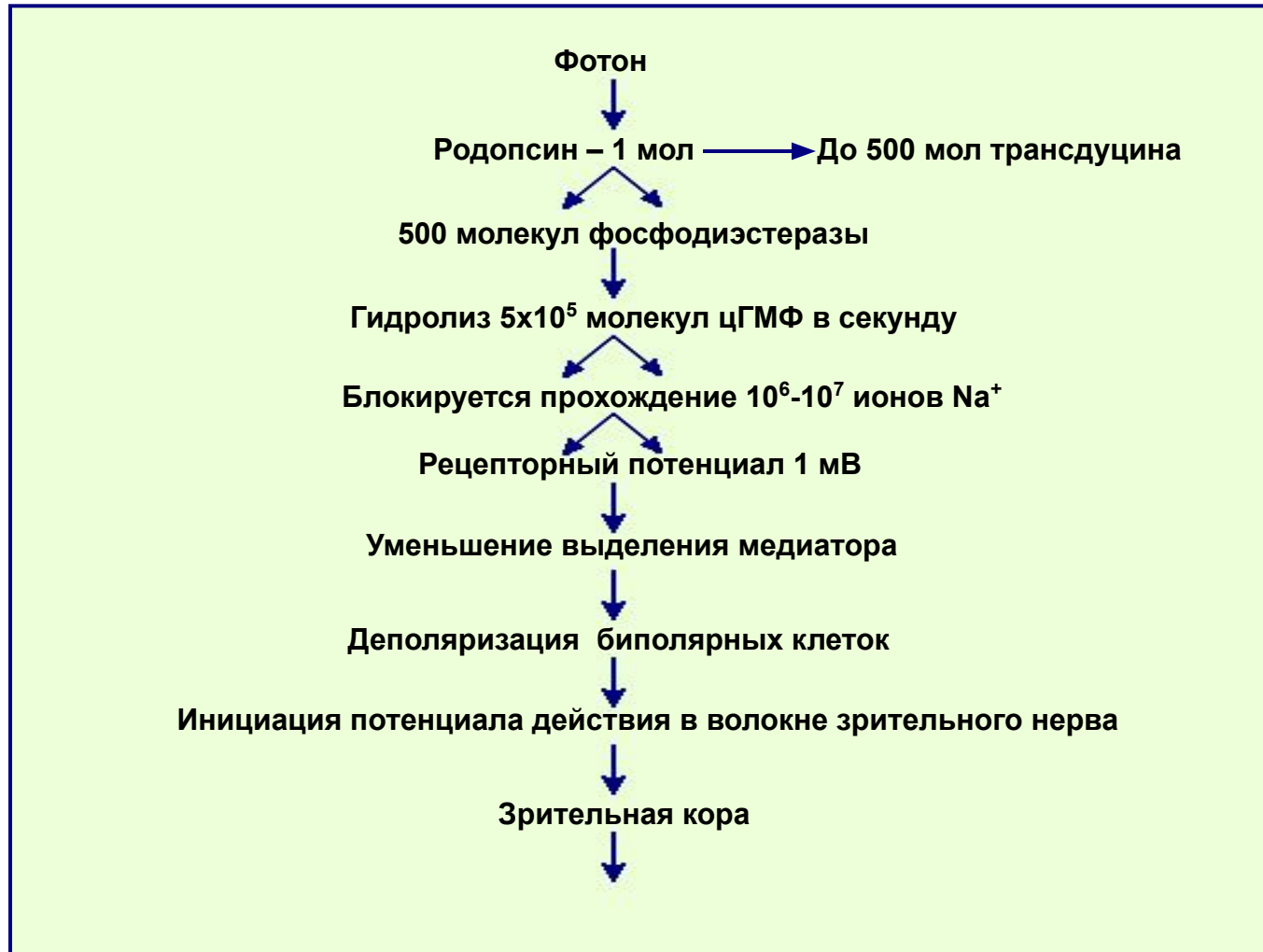
Евгений Фесенко



Третья стадия фототрансдукции:
изменение проницаемости цГМФ-зависимых Na⁺ - каналов мембраны фоторецептора



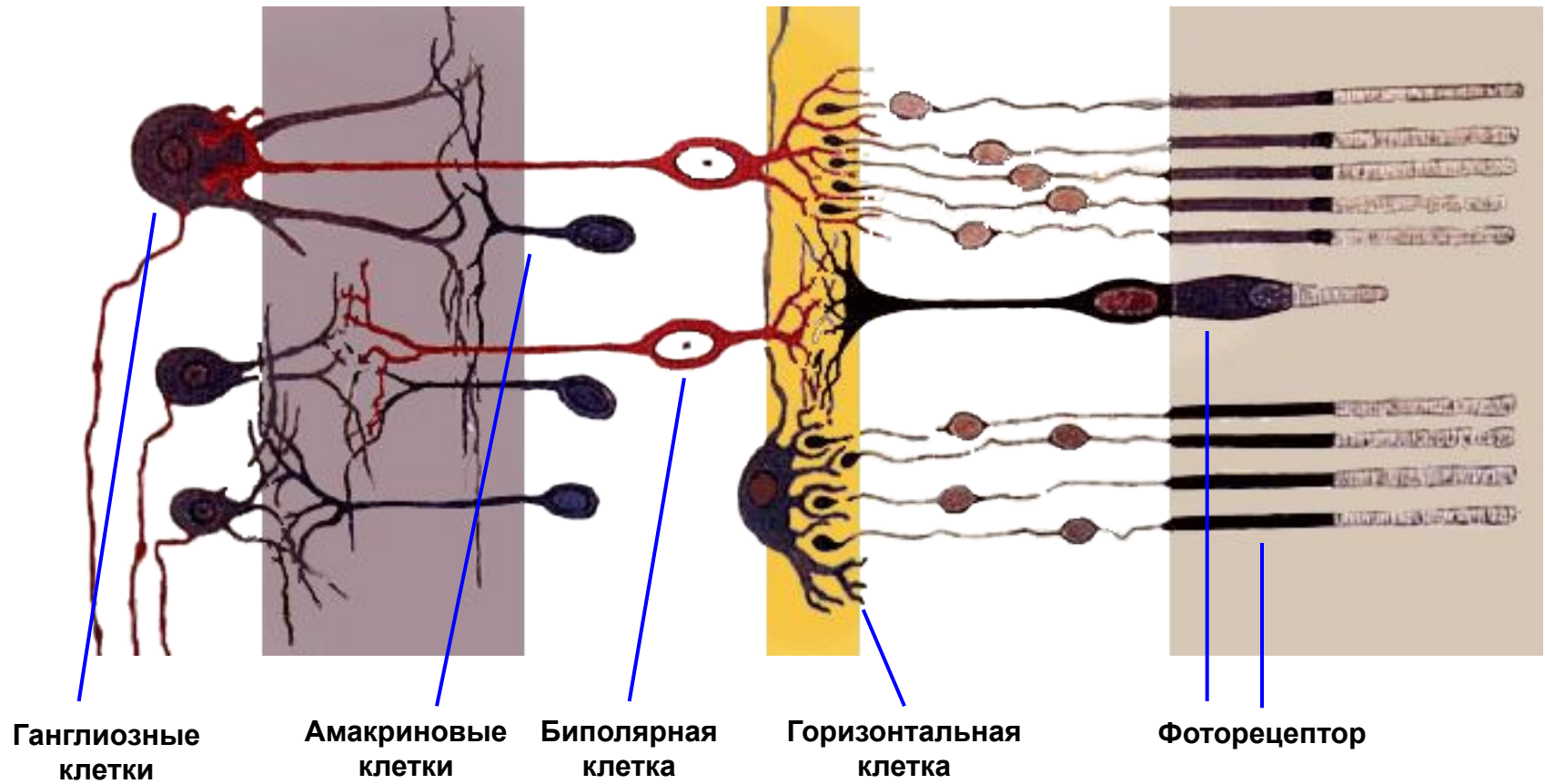
Усилительный каскад в зрительной системе.



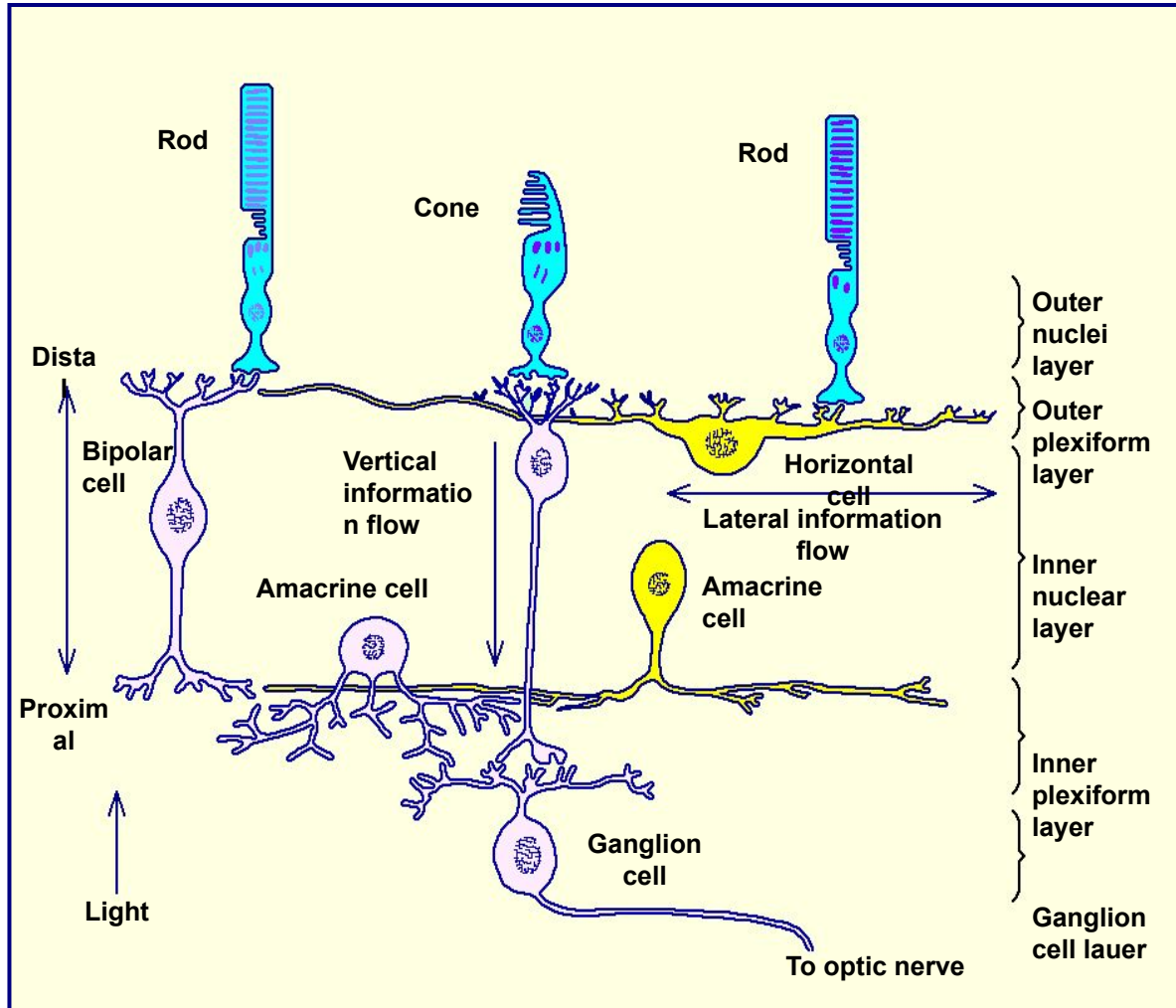
Адаптация к свету

- **Сокращение зрачка**
- **Десенситизация колбочек**
- **Ca(2+) – зависимая модуляция синтеза цГМФ**

Клетки сетчатки глаза



Нейроны сетчатки

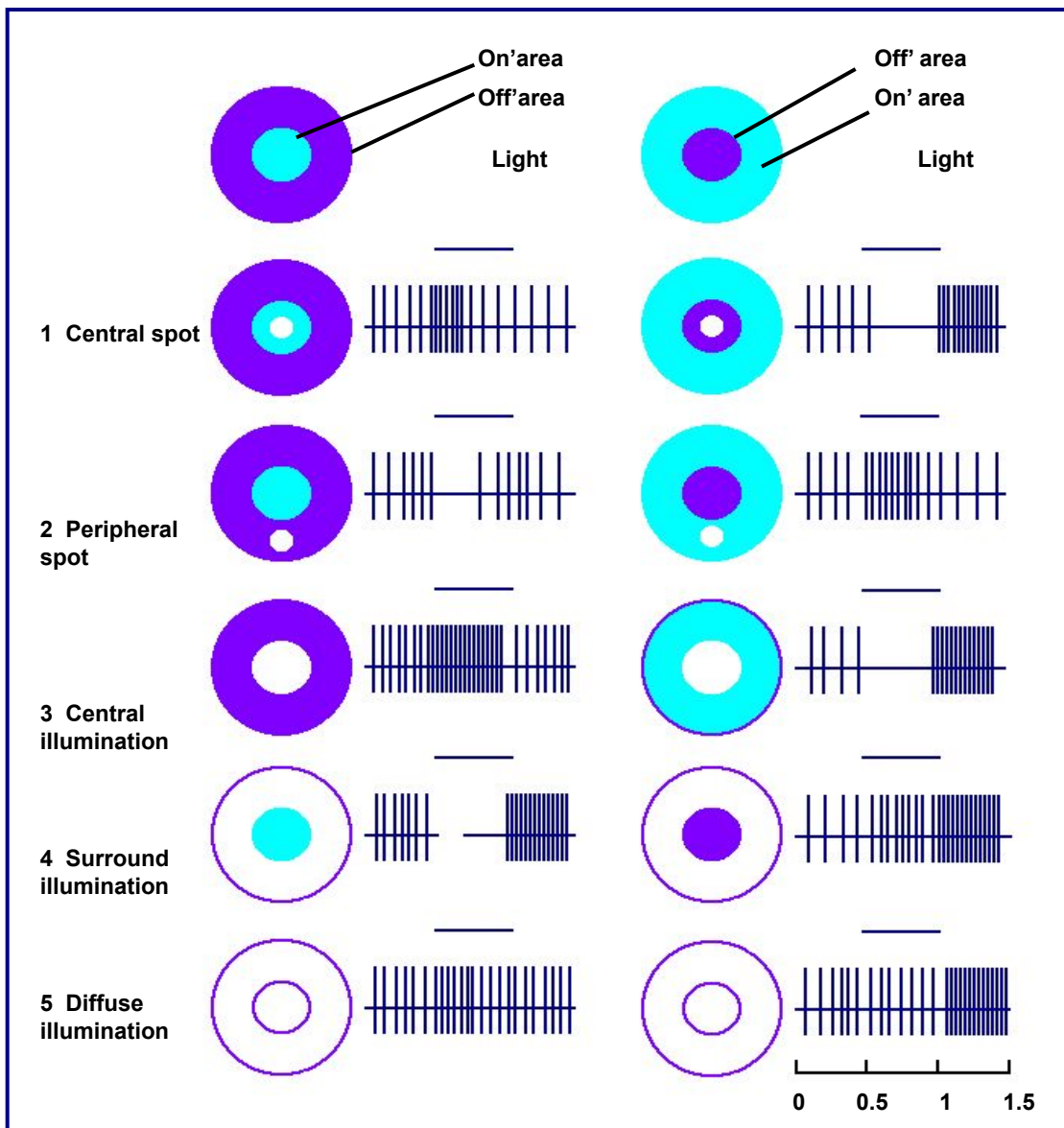


- 1) Фоторецепторы
- 2) Горизонтальные клетки
- 3) Биполярные клетки
- 4) Амакриновые клетки
- 5) Ганглиозные клетки

Два параллельных пути переработки информации

A On-center field

B Off-center field

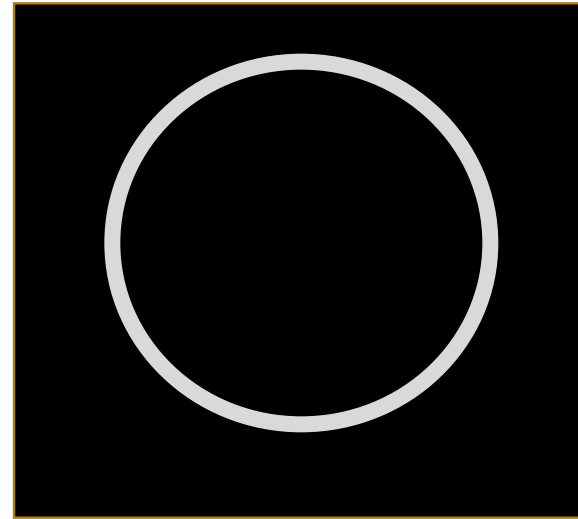
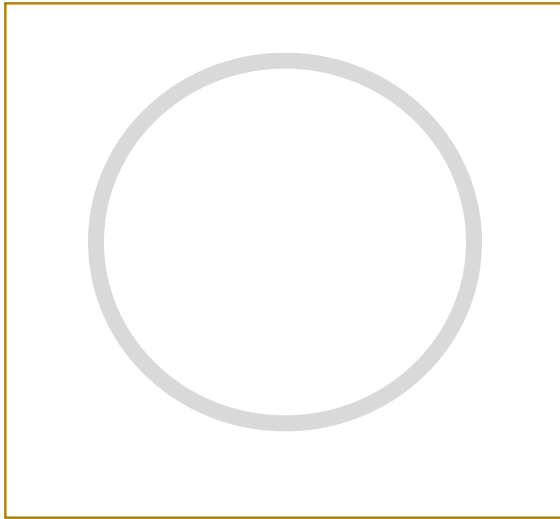


Рецепторное поле ганглиозной клетки - область сетчатки, фоторецепторы которой изменяют активность этой ганглиозной клетки

- Рецепторное поле круглое
- Имеет центр и антагонистическое окружение
- По типу организации рецепторного поля ганглиозные клетки подразделяются на **on-** и **off-клетки** и обрабатывают информацию двумя параллельными путями

Ключевой принцип зрительной системы – реакция на контраст, т.е. выделение предмета из окружения

Ключевой принцип зрительной системы – реакция на контраст, т.е. выделение предмета из окружения



Одно и то же серое кольцо выглядит светлее по контрасту с черным, чем по контрасту с белым

Импульсная активность ганглиозных клеток отражает различие в освещенности центра и окружения, т.е. информация даже о небольших различиях передается в центр

Анализ деталей и движения предмета начинается уже в сетчатке

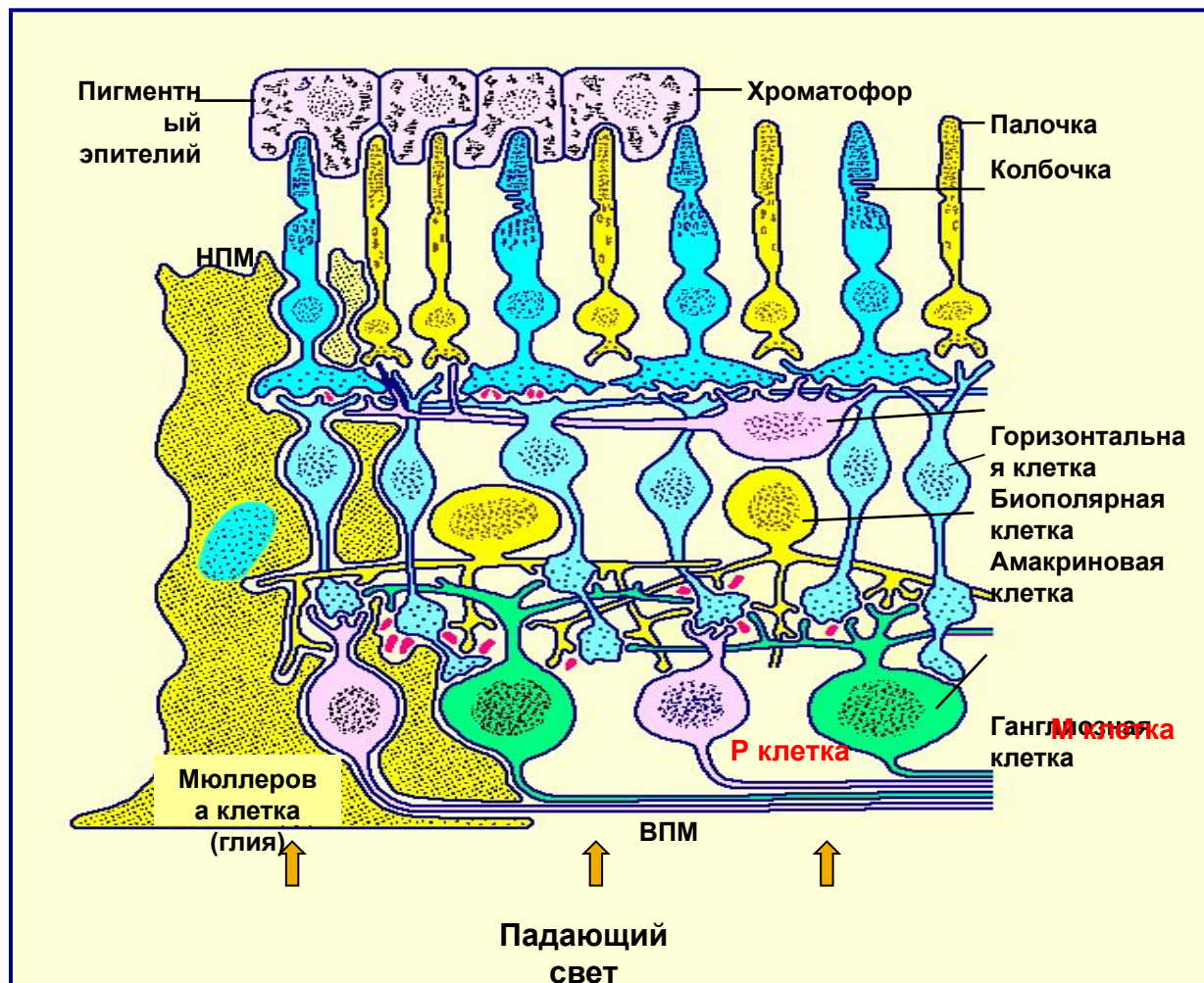
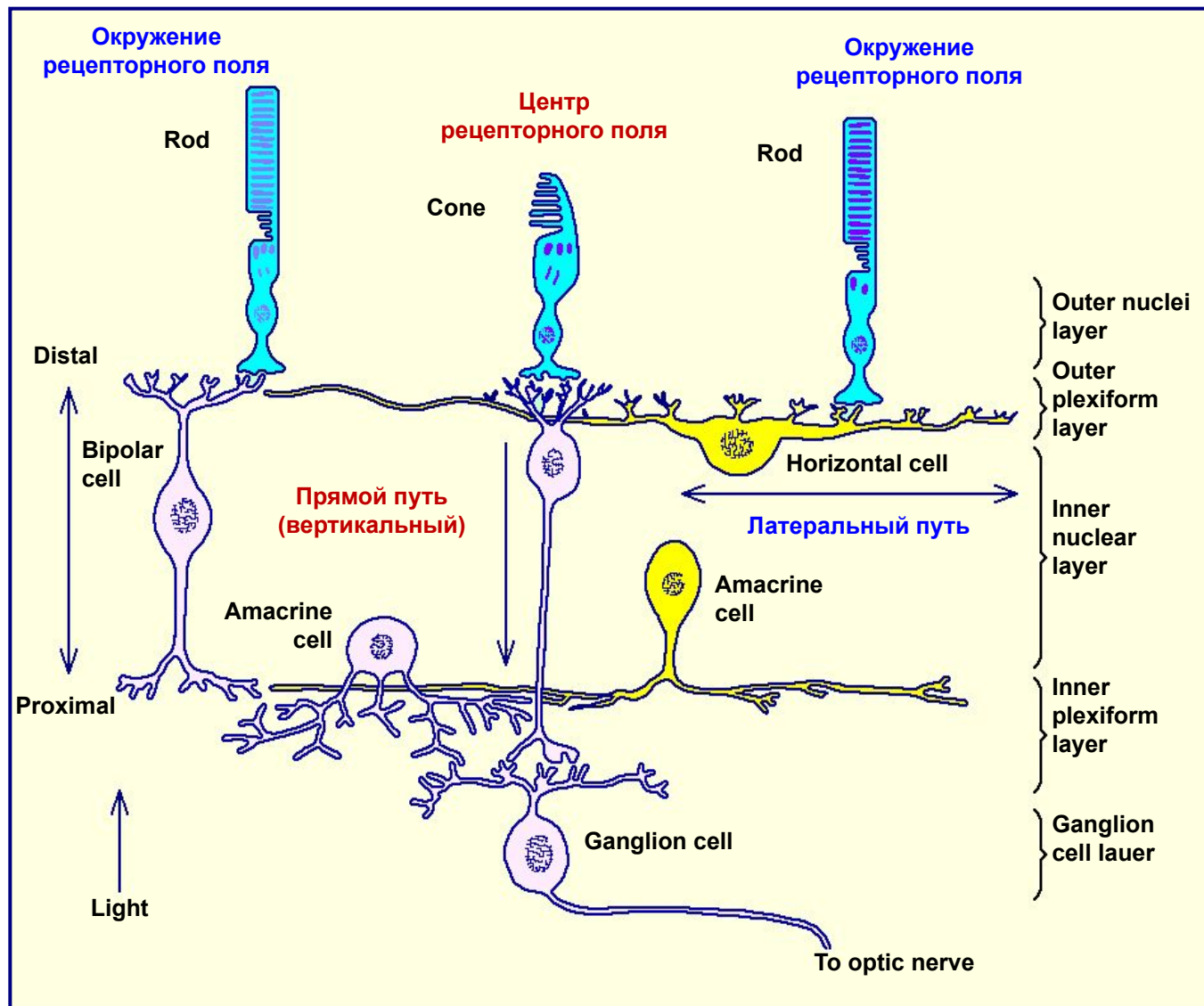
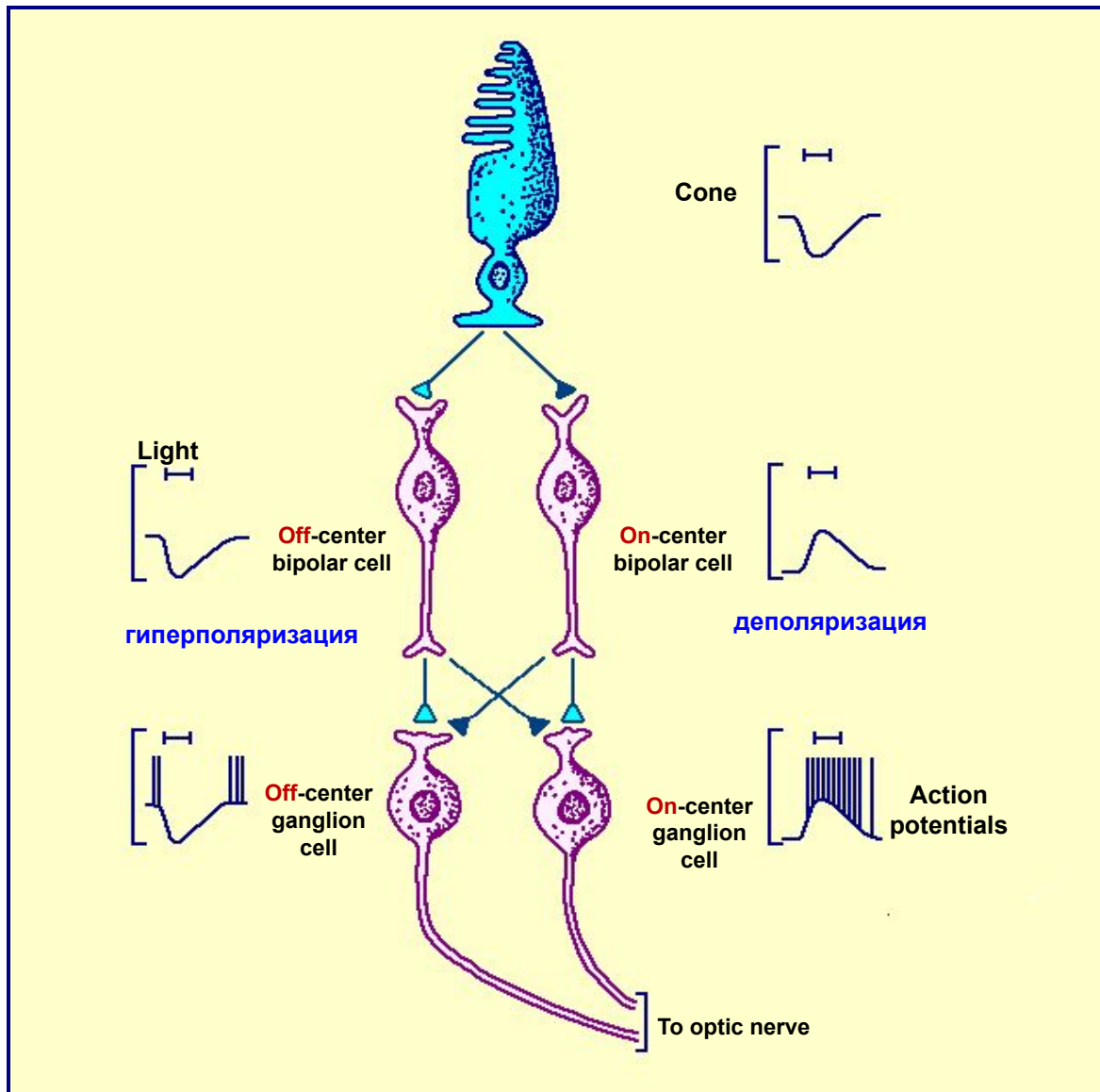


Схема строения сетчатки приматов (по данным электронной микроскопии).

НПМ – наружная пограничная мембрана, ВПМ – внутренняя пограничная мембрана

Нейроны сетчатки – вертикальные и латеральные пути передачи информации ганглиозным клеткам

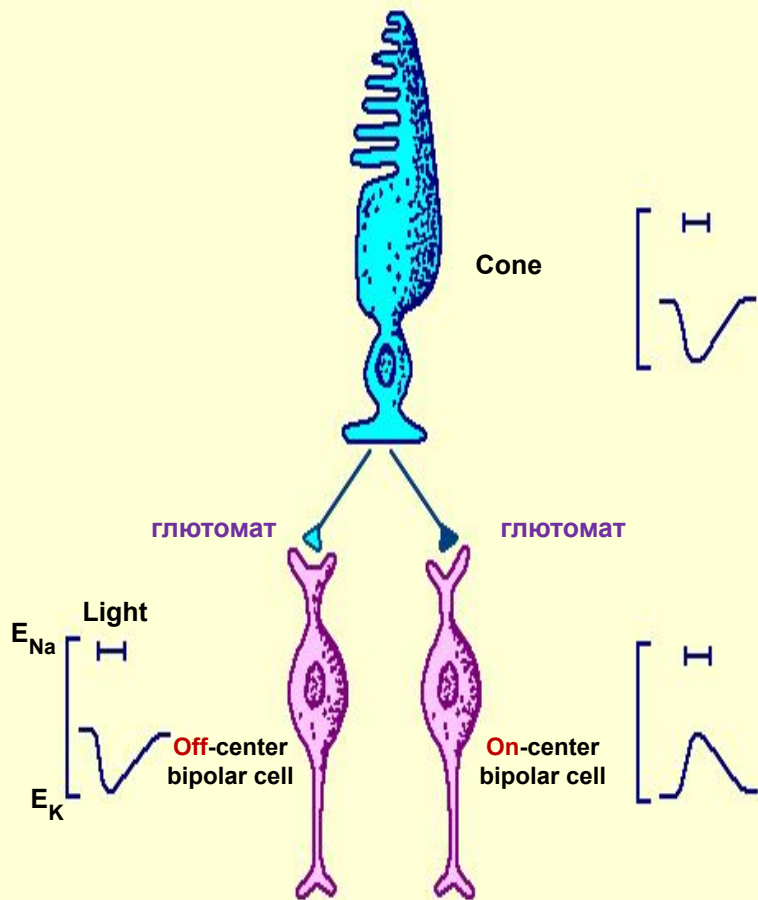




Прямые пути в центре
рецепторного поля
ганглиозной клетки

A

Light on center

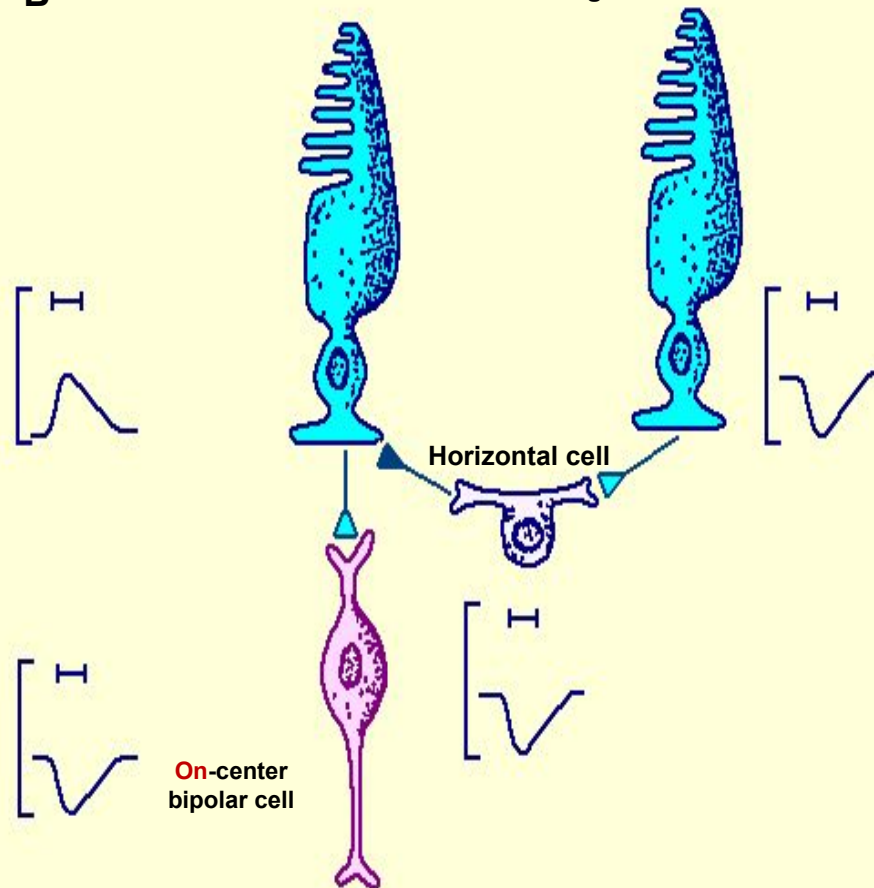


Прямые пути в центре рецепторного поля ганглиозной клетки

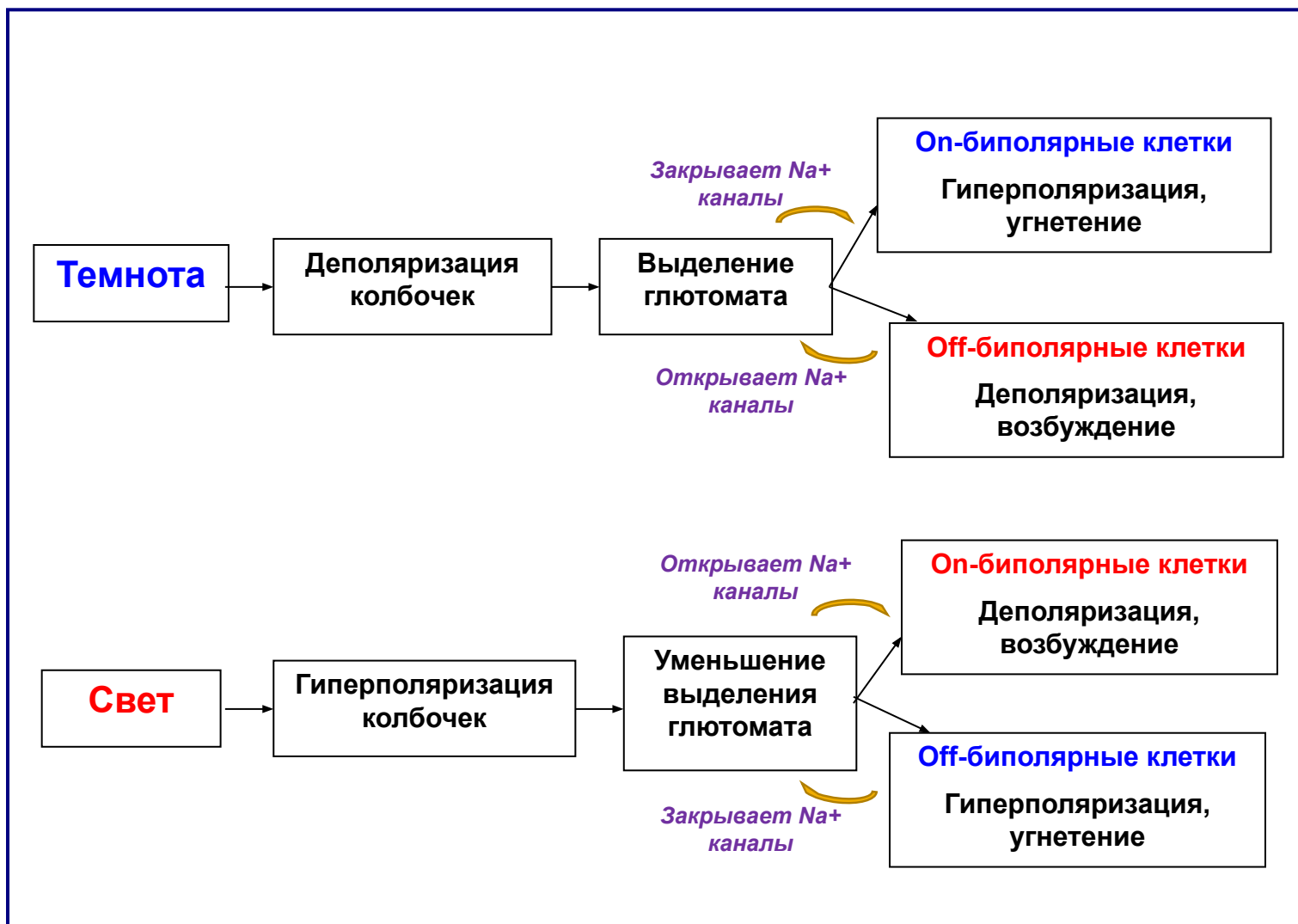
Латеральные пути из окружения рецепторного поля через горизонтальные и амакриновые клетки сетчатки

B

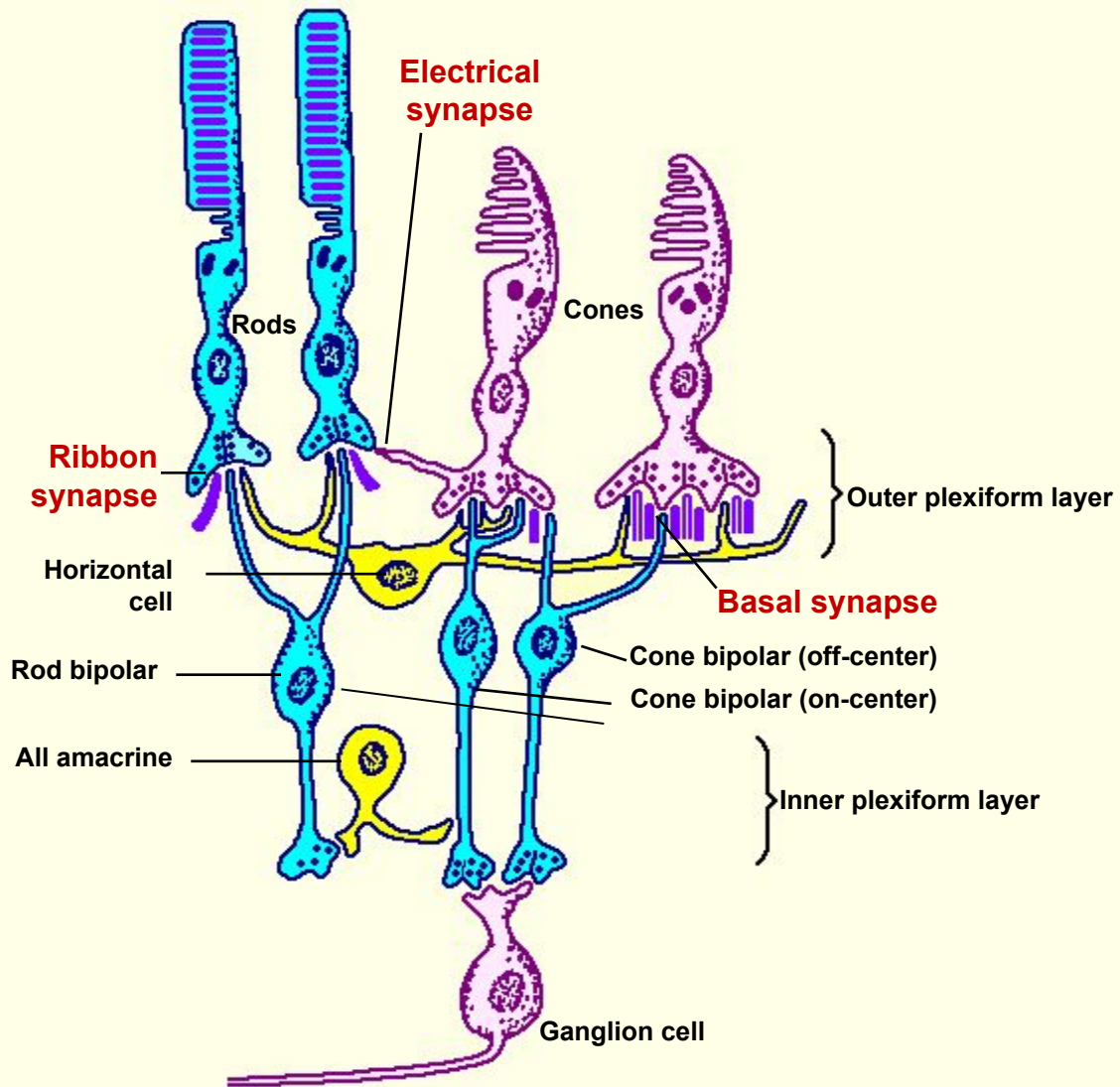
Light on surround



Передача информации от фоторецептора к on- и off - биполярным клеткам сетчатки



Синапсы сетчатки



- Электрические синапсы
- Ребристые синапсы
- Базальные синапсы

Адаптация к темноте

Адаптация к сумеркам

- Расширение зрачка.
- Сигналы от палочек передаются напрямую колбочкам через электрические синапсы и далее ганглиозным клеткам (свойства рецептивных полей не изменяются).

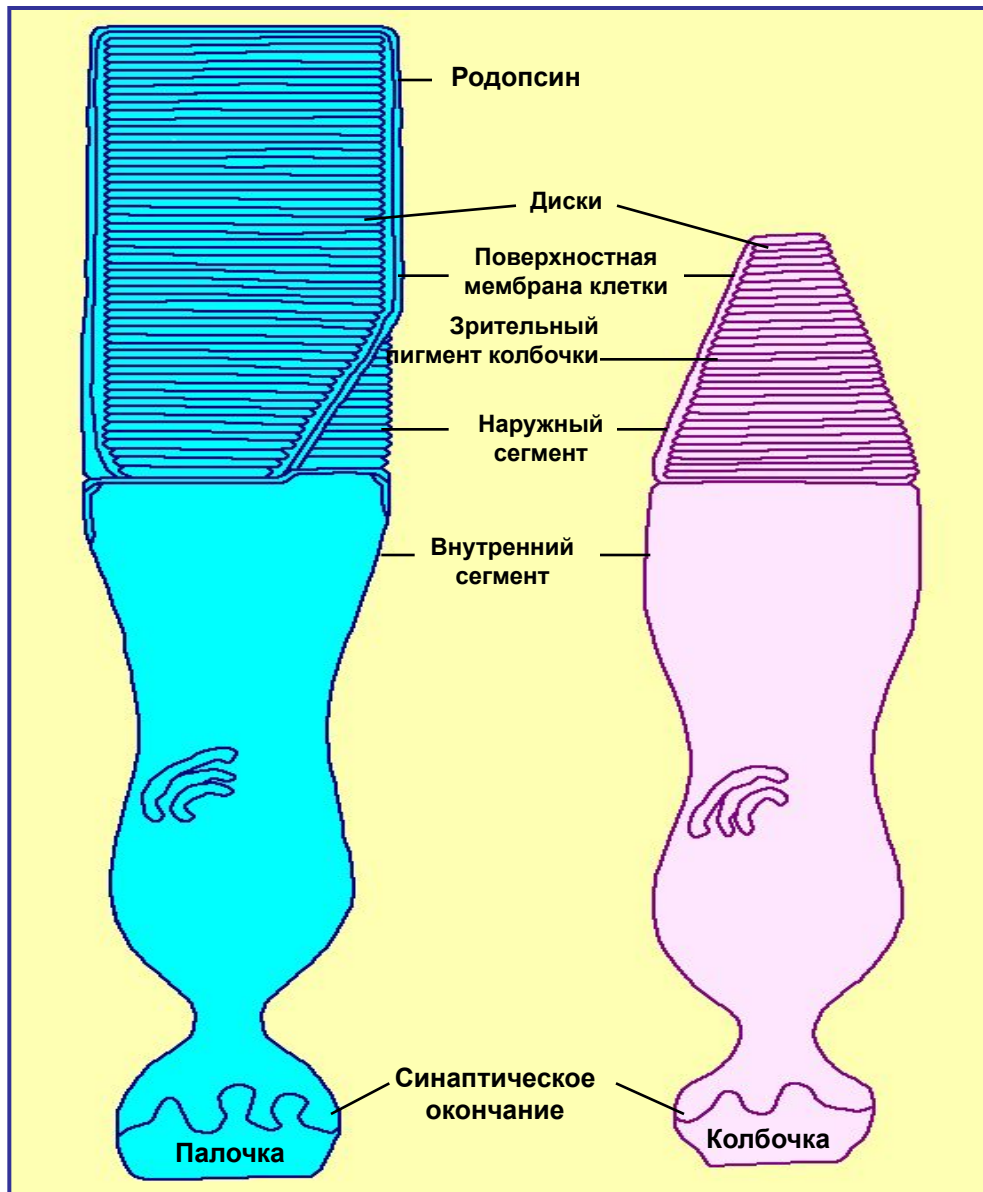
Адаптация к темноте (свет звезды)

- Расширение зрачка.
- Изменение проведения сигнала от палочек: прямые связи между палочками и колбочками закрываются, и сигнал передается непосредственно от палочек к ганглиозным клеткам через палочковые биполярные клетки.
- Повышение чувствительности ганглиозных клеток за счет отсутствия угнетающего действия окружения (реакция на 1 фотон), т.е. Реакция не на контраст, а собственно на свет.



*...И созерцать этот мир
несказанный!*





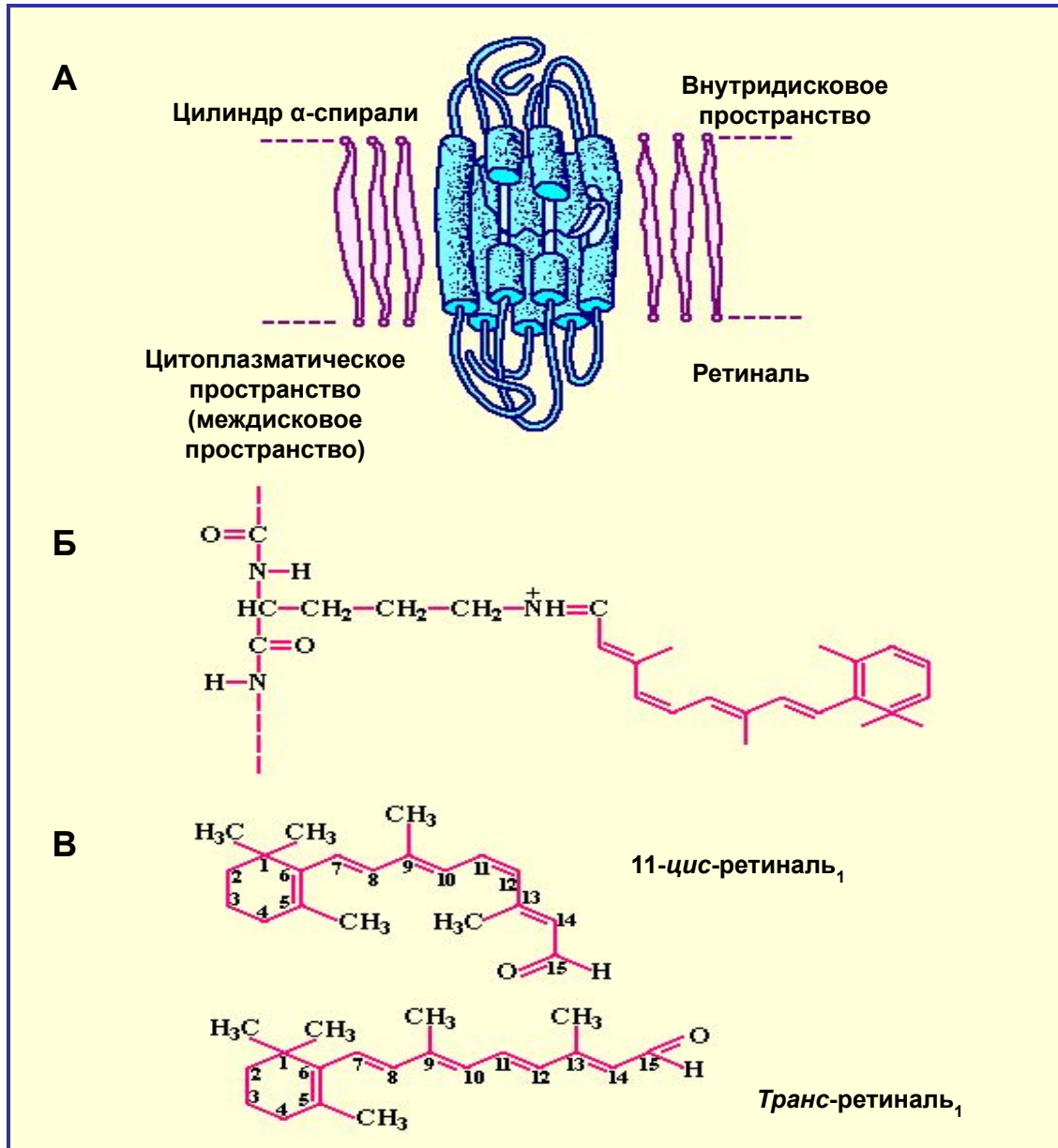
Палочки и колбочки устроены в принципе одинаково. Наружный сегмент клетки содержит молекулы светопоглощающего пигмента (в палочках это родопсин); они располагаются в мембранных образованиях, называемых дисками.

Во внутреннем сегменте находится ядро и митохондрии. Синаптическое окончание связывает фоторецептор с другими клетками сетчатки.

Палочки функционируют при сумеречном освещении, колбочки – при дневном.

У человека колбочки трех типов. Каждая содержит пигмент с максимумом поглощения в определенной области спектра – синей, зеленой либо красной.

Активация родопсина



Сигнальная система G-белка в биологической мембране.

Скорость движения G-белка в мембране 0.1 - 0.001 мкм/сек.

