

## Лекция 5

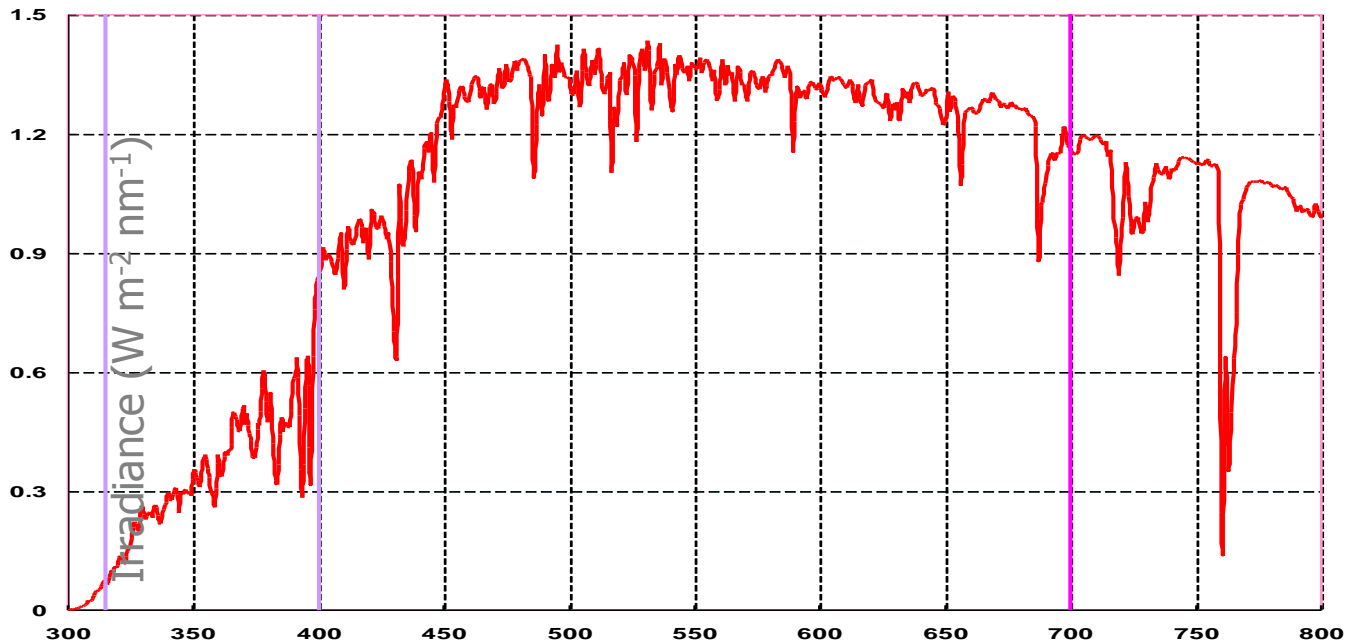
Структурная организация и функционирование фотосинтетических мембран.

Механизмы регуляции процессов фотосинтеза при облучении организма светом различной интенсивности и спектрального состава.

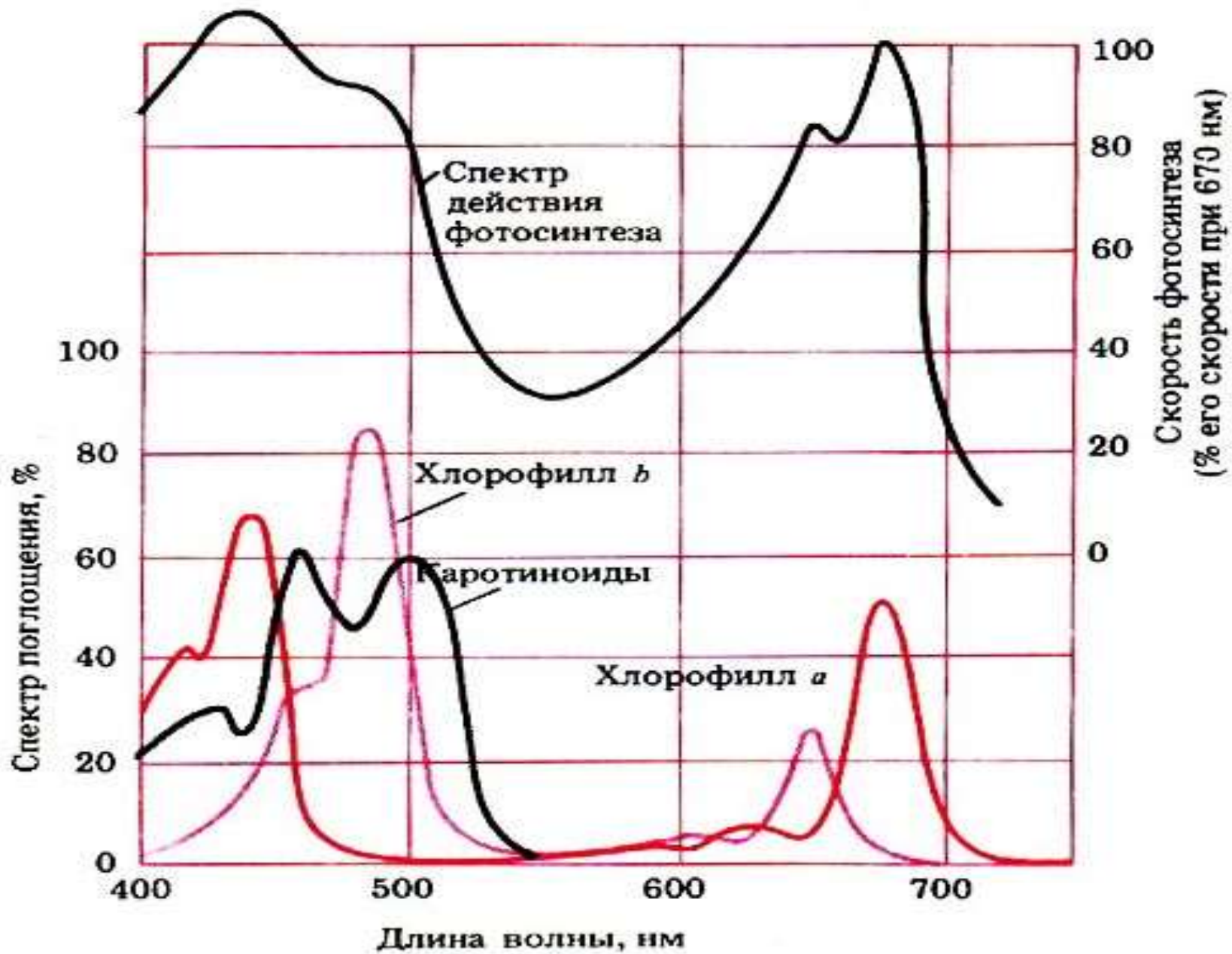
# Спектр солнечного излучения

UV-A

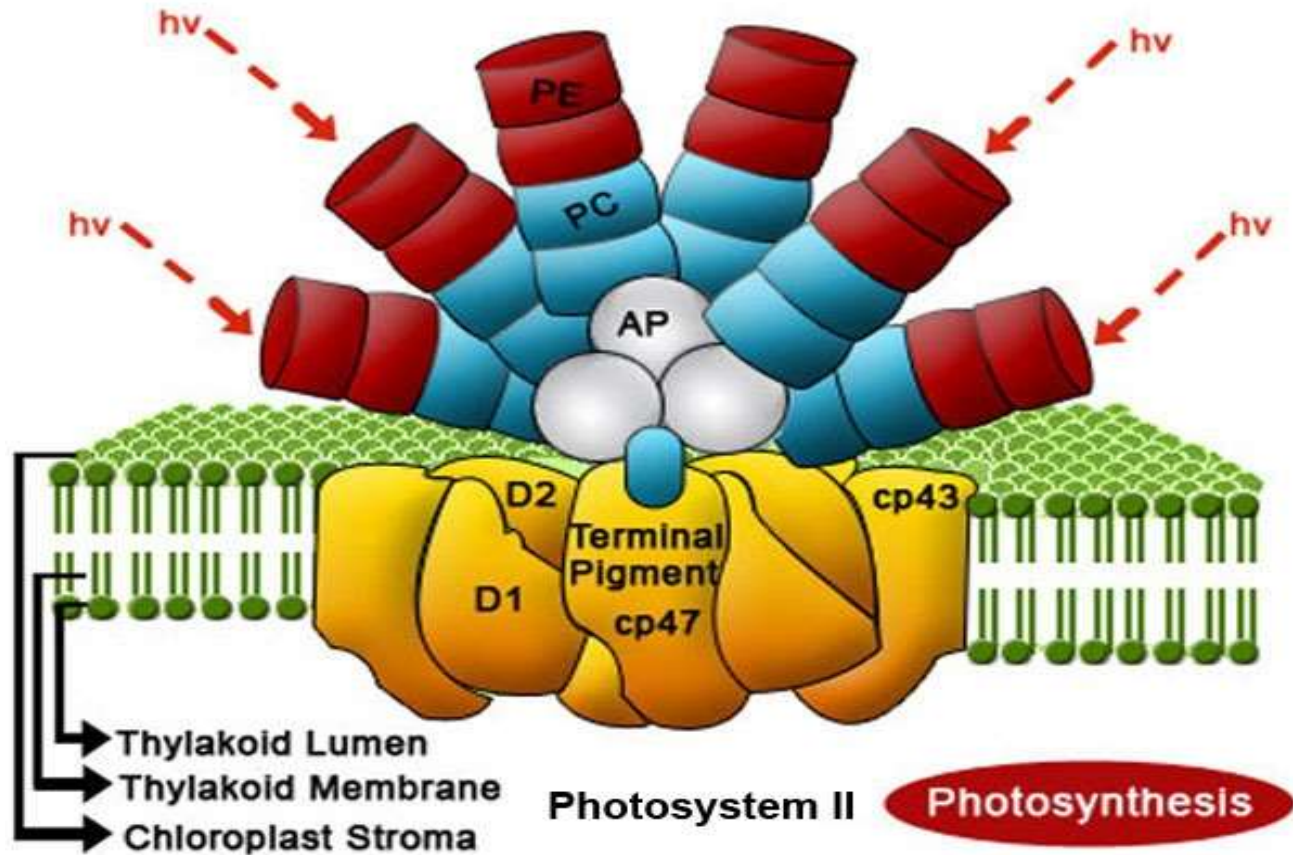
IR



Visible range

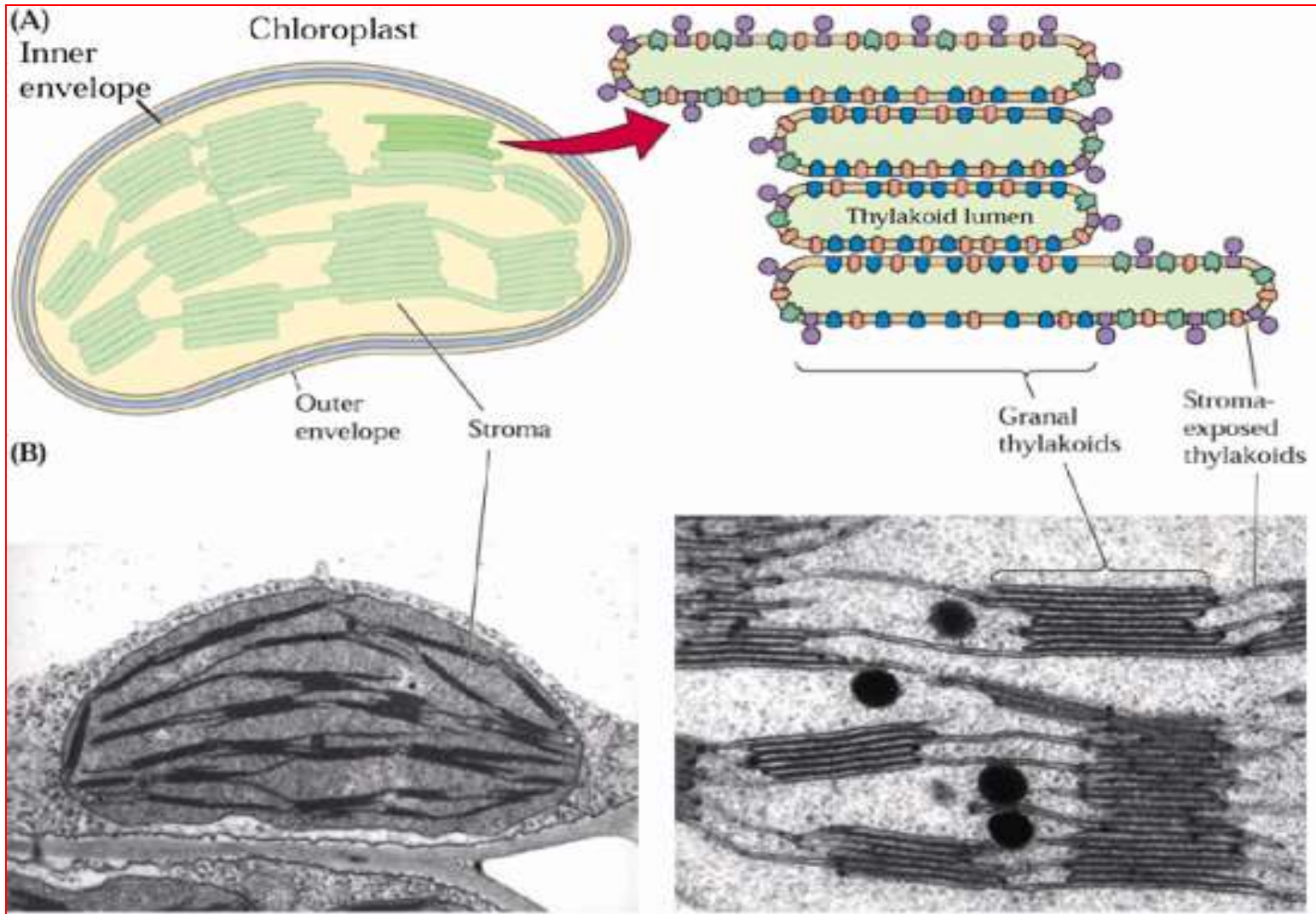


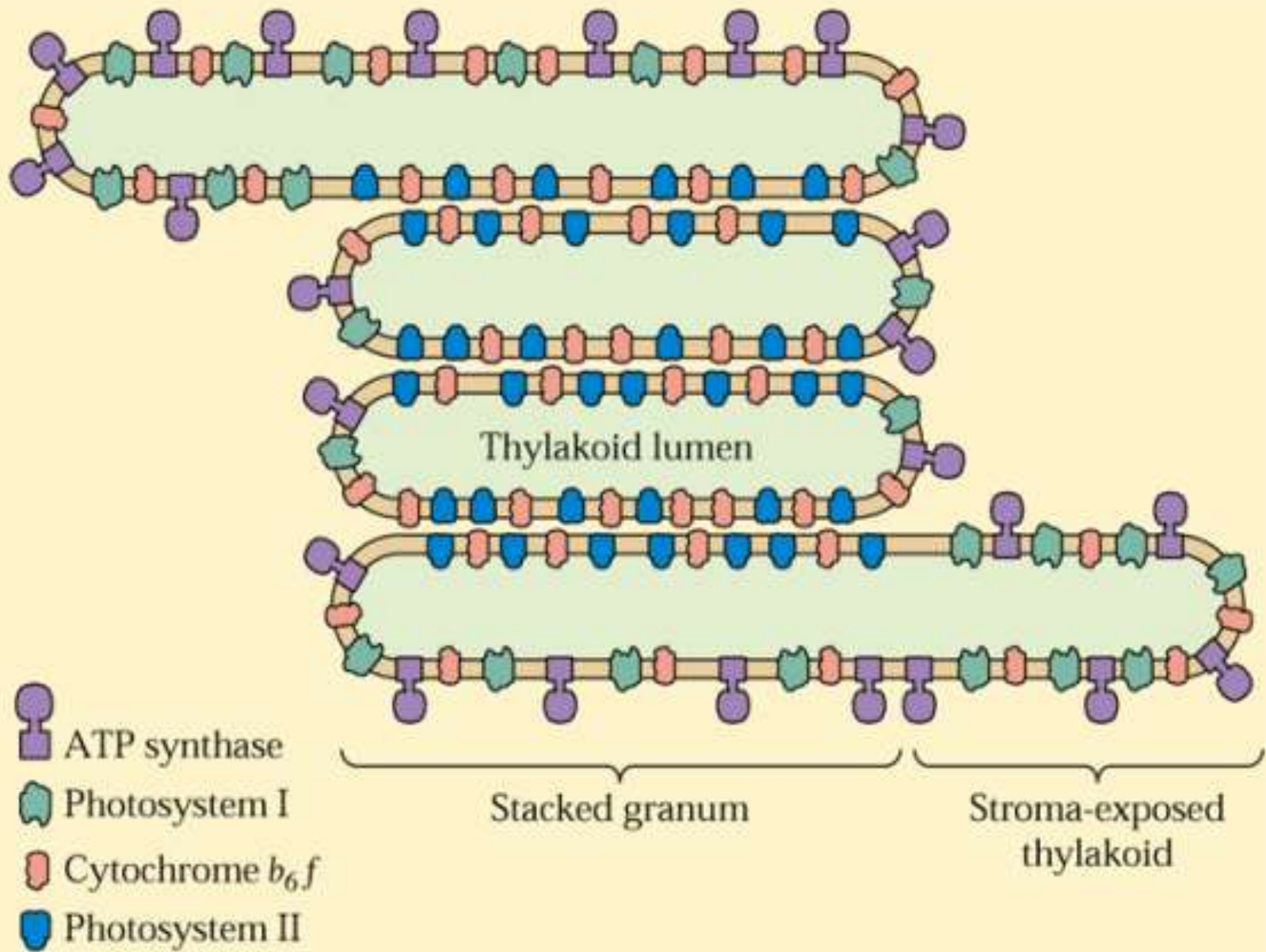
Phycobilisome  
(Cyanobacteria, Red Alga)

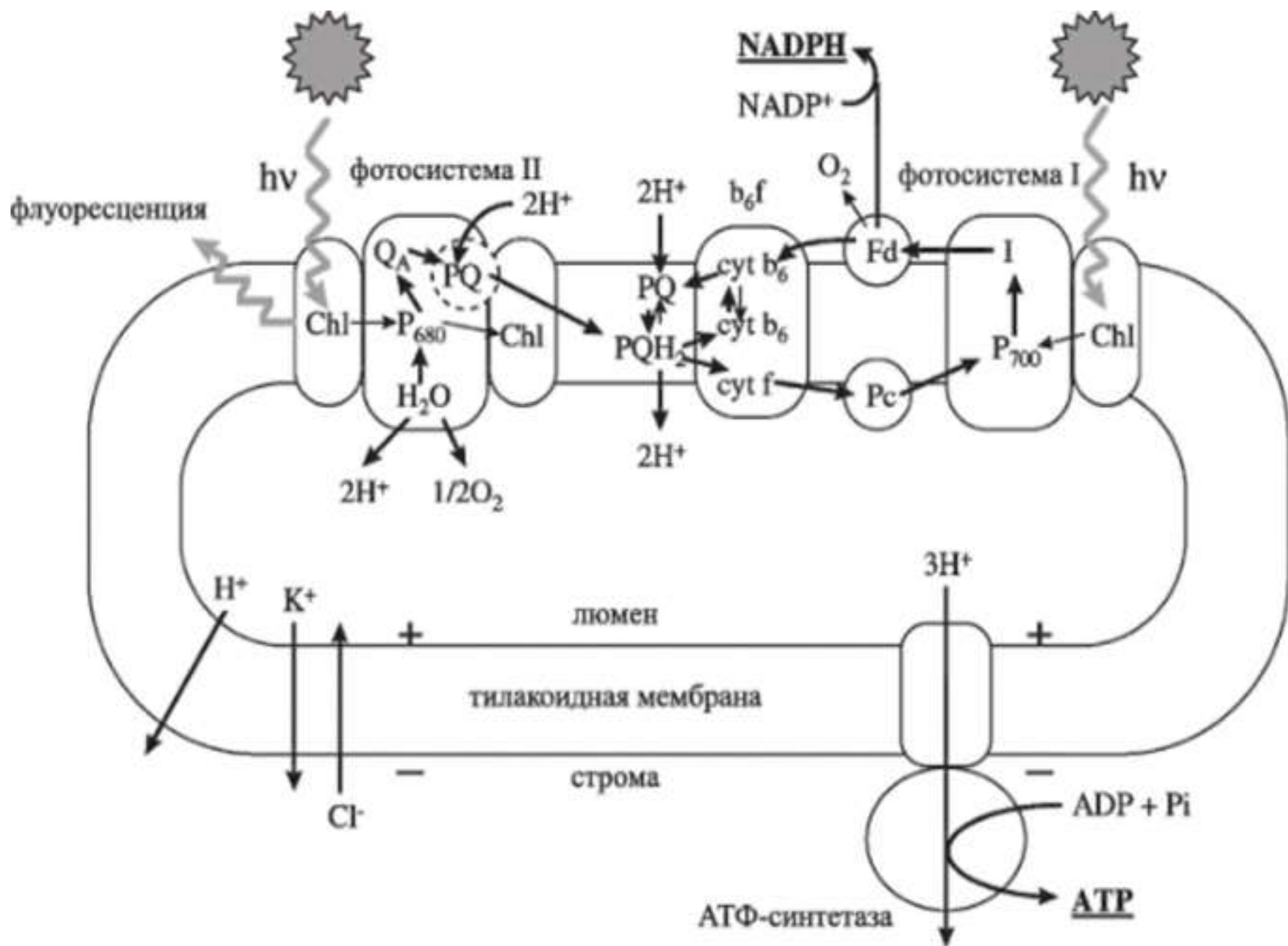


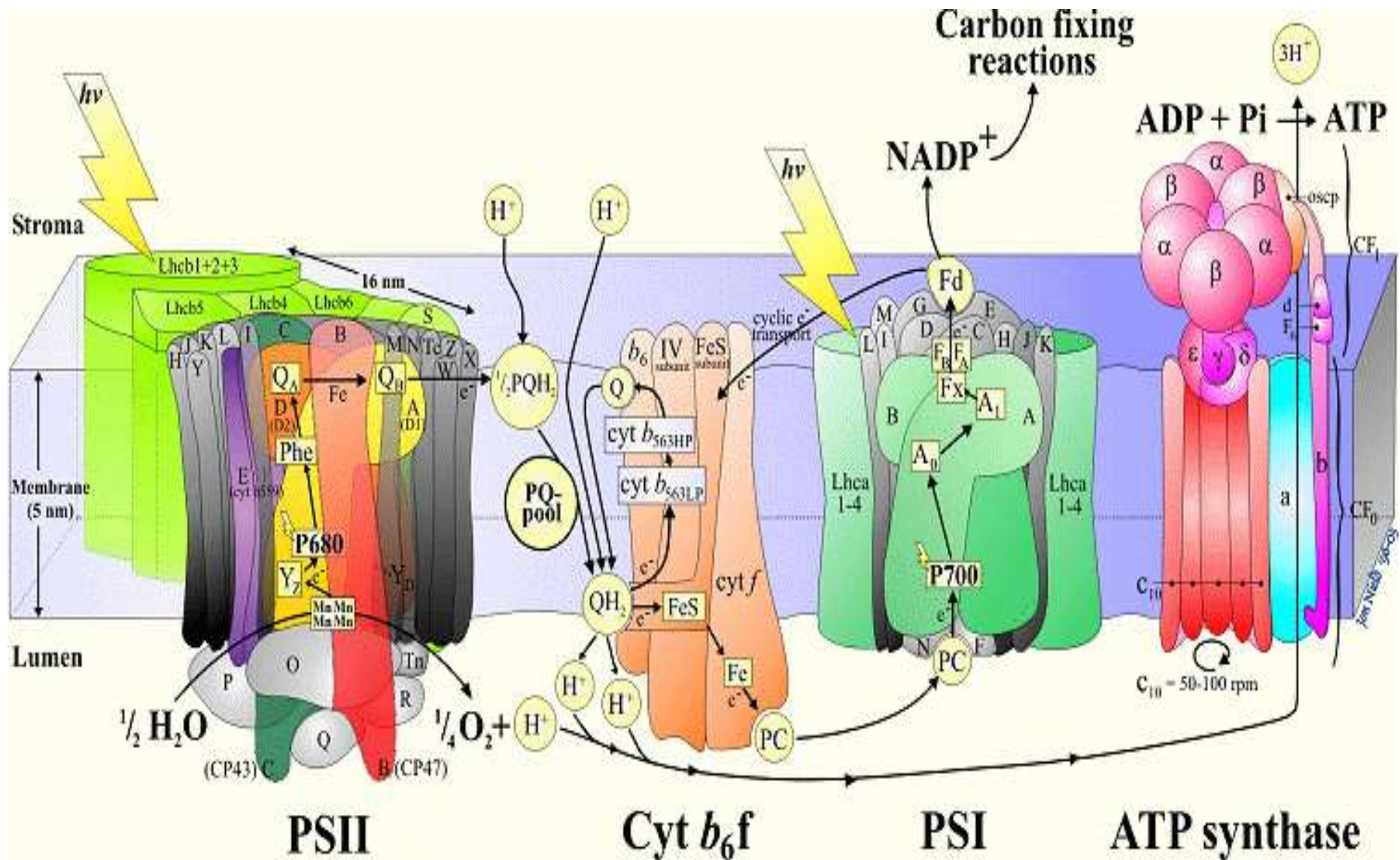
фиксэритрин  $\rightarrow$  фикоцианин  $\rightarrow$  аллофикоцианин  $\rightarrow$   
 $\lambda_{\text{max}}$  565 нм       $\lambda_{\text{max}}$  620 нм       $\lambda_{\text{max}}$  654 нм  
 $\rightarrow$  аллофикоцианин В  $\rightarrow$  хлорофилл а.  
 $\lambda_{\text{max}}$  671 нм       $\lambda_{\text{max}}$  680 нм

Фотосинтез в растительной клетке осуществляется специализированными органеллами – хлоропластами



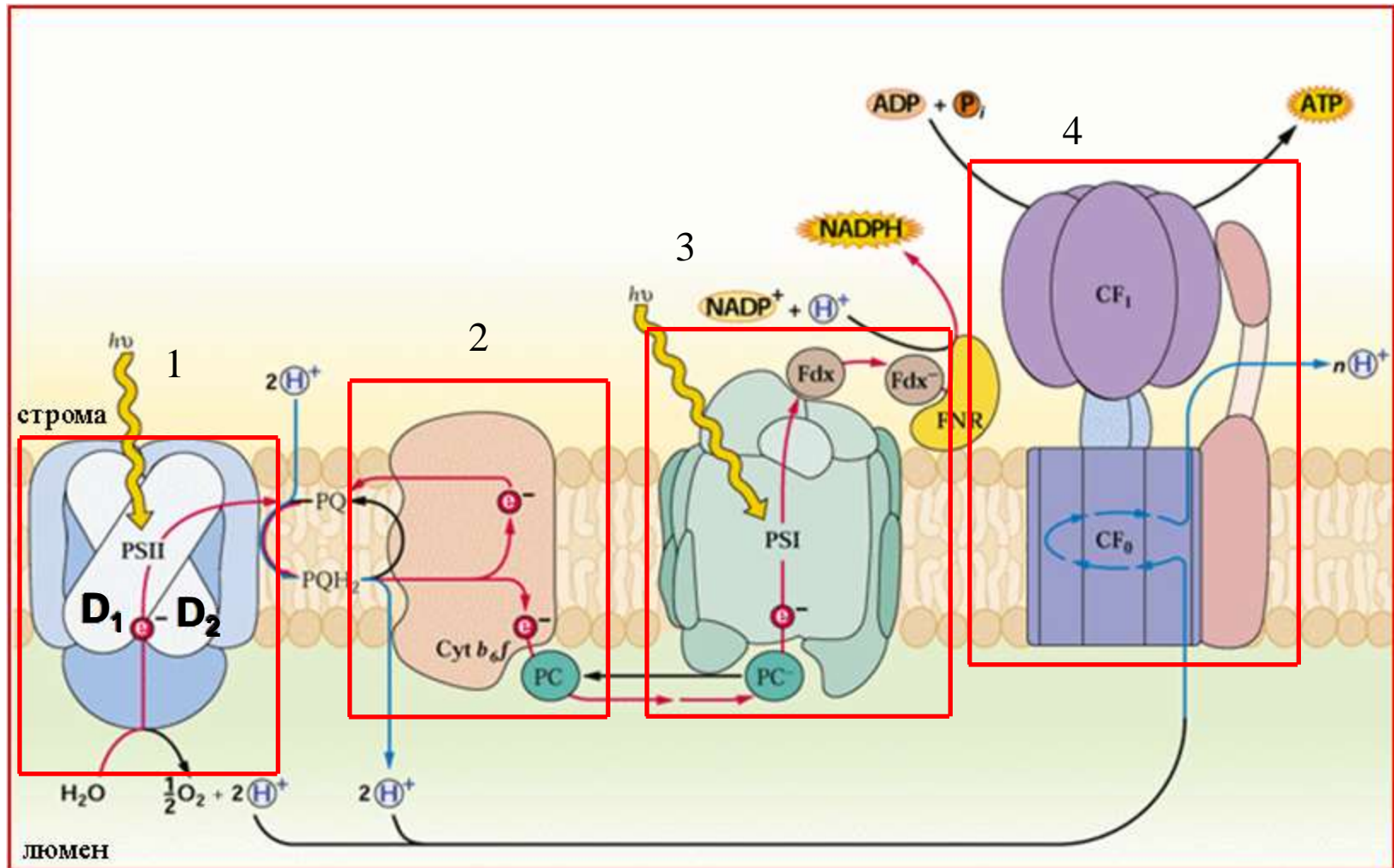








# Организация ЭТЦ зеленых водорослей и высших растений. Участки регуляции.



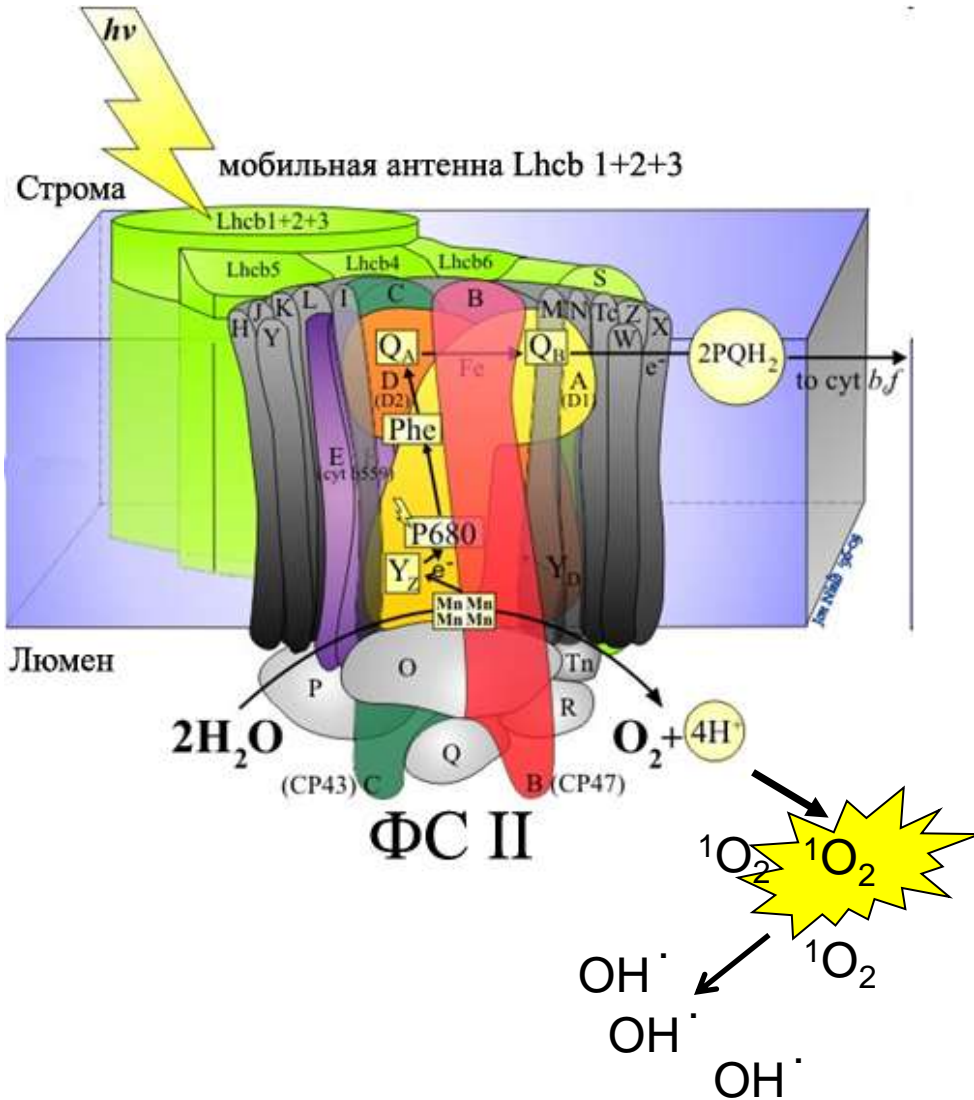
# Особенности работы ЭТЦ

- При обычных условиях инсоляции и атмосферной концентрации  $CO_2$  скорость переноса электрона избыточна по сравнению со скоростью энзиматических реакций фиксации  $CO_2$ . Только высокая скоординированность потоков электрона позволяет избежать избыточной восстановленности переносчиков в ЭТЦ.

# Принципы регуляции ЭТЦ

- Сложное устройство ЭТЦ обеспечивает динамическую (гибкую) адаптацию к изменяющимся условиям освещенности.
- Регуляторные реакции работают по принципу обратной связи. Отрицательная обратная связь проявляется в регуляторных реакциях световых стадий фотосинтеза (распределение световой энергии между двумя фотосистемами, нефотохимическое тушение возбужденных состояний).

# 1 участок регуляции – Фотосистема II

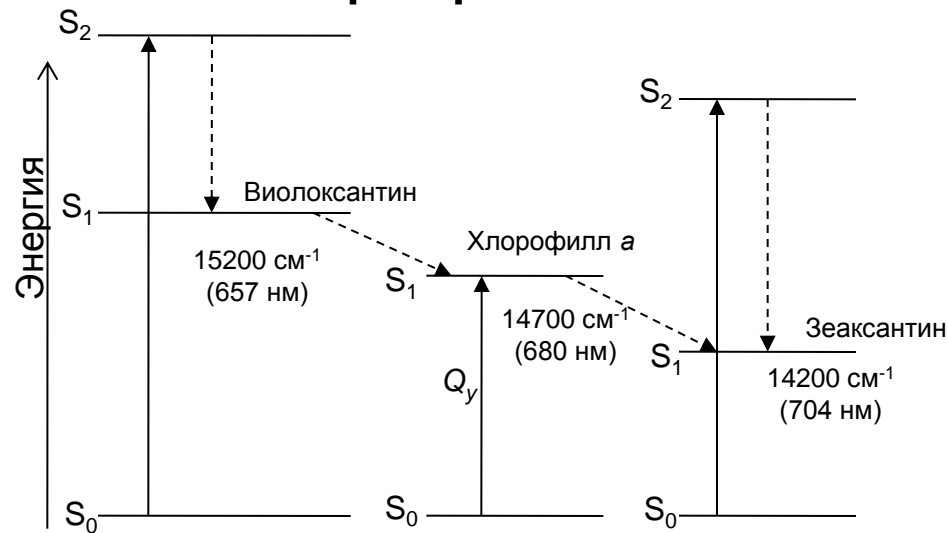


Перевосстановленность ФСII приводит, в конечном итоге, к фотодеструкции белков.

Механизмы регуляции потока электронов:

1. **нециклический поток** регулируется мобильными антеннами : светособиравующий комплекс ССК II (белки Lhcb1-3) ;
2. **виолоксантиновый цикл**
3. **«тушение» триплетного состояния хлорофилла каротиноидами**
4. **Дезактивация возбужденных с излучением кванта света (флуоресценция)**
5. **«обезвреживание» активных форм кислорода каротиноидами**
6. **замена D1-белка**

# «Тушение» возбужденных состояний хлорофилла



«Тушение» при помощи каротиноидов

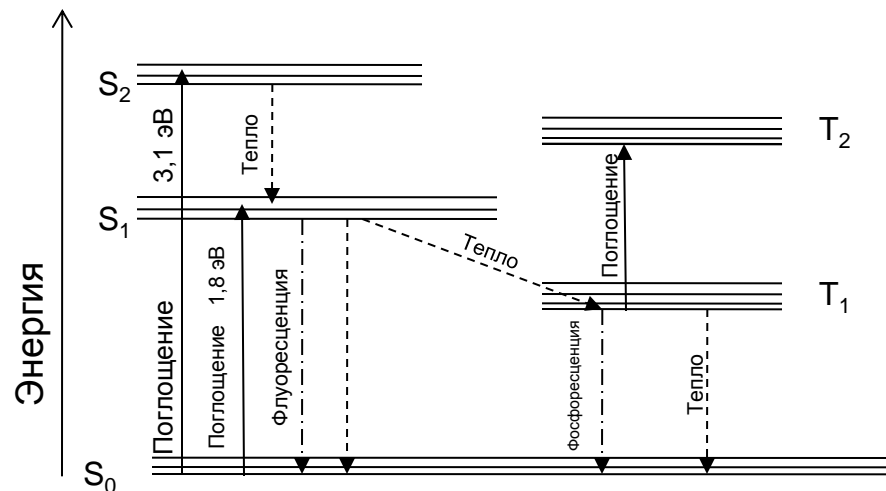
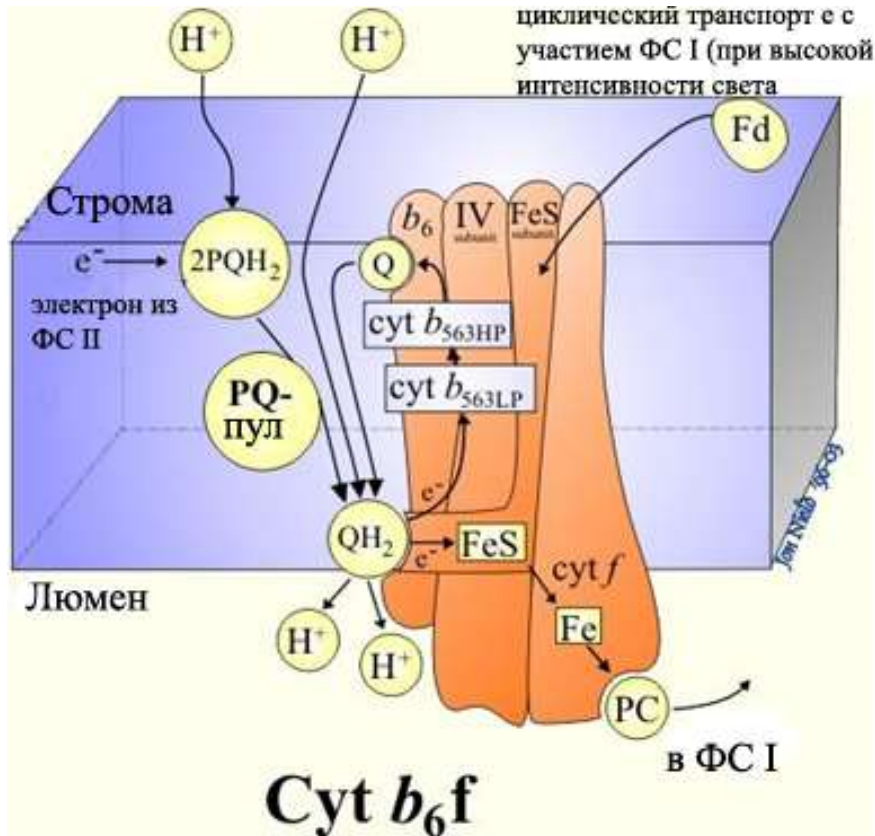


Схема электронных переходов для магнийпорфиринов.

# Точка регуляции №2: Цитохром $b_6f$ комплекс и пул хинонов.

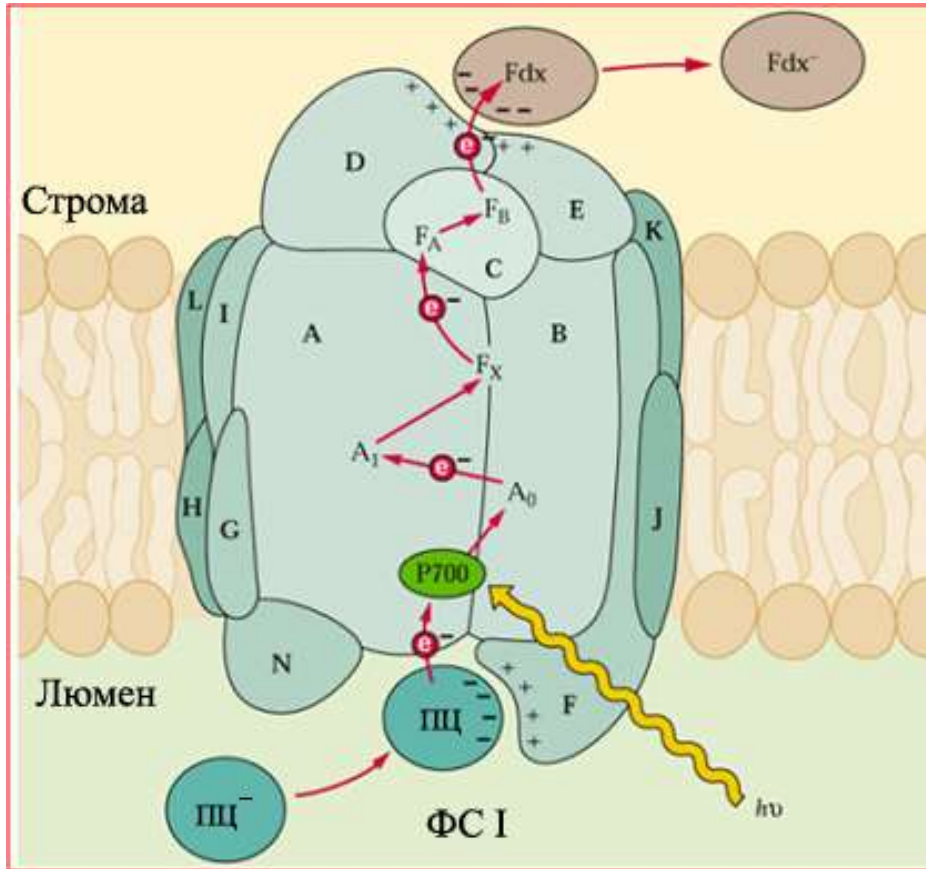
pH=8



pH=6

1. Скорость окисления пула пластохинолов цитохромным комплексом в значительной степени регулируется величиной  $pH$  в люмене.
2. Выход протонов из люмена при помощи АТФ-синтазного комплекса сопряжен с синтезом АТФ. Поэтому концентрация АДФ и  $\Phi_H$  – субстратов реакции синтеза АТФ, является важным фактором регуляции процесса окисления пластохинолов в хлоропластах.
3. Электронным буфером в хлоропластах служит пул PQ, который до определенных пределов может накапливать избыточные электроны, поступающие от ФСII и не используемые для восстановления НАДФ<sup>+</sup>.

# 3 точка регуляции фотосистема I: где-то между ЭТЦ и метаболизмом...

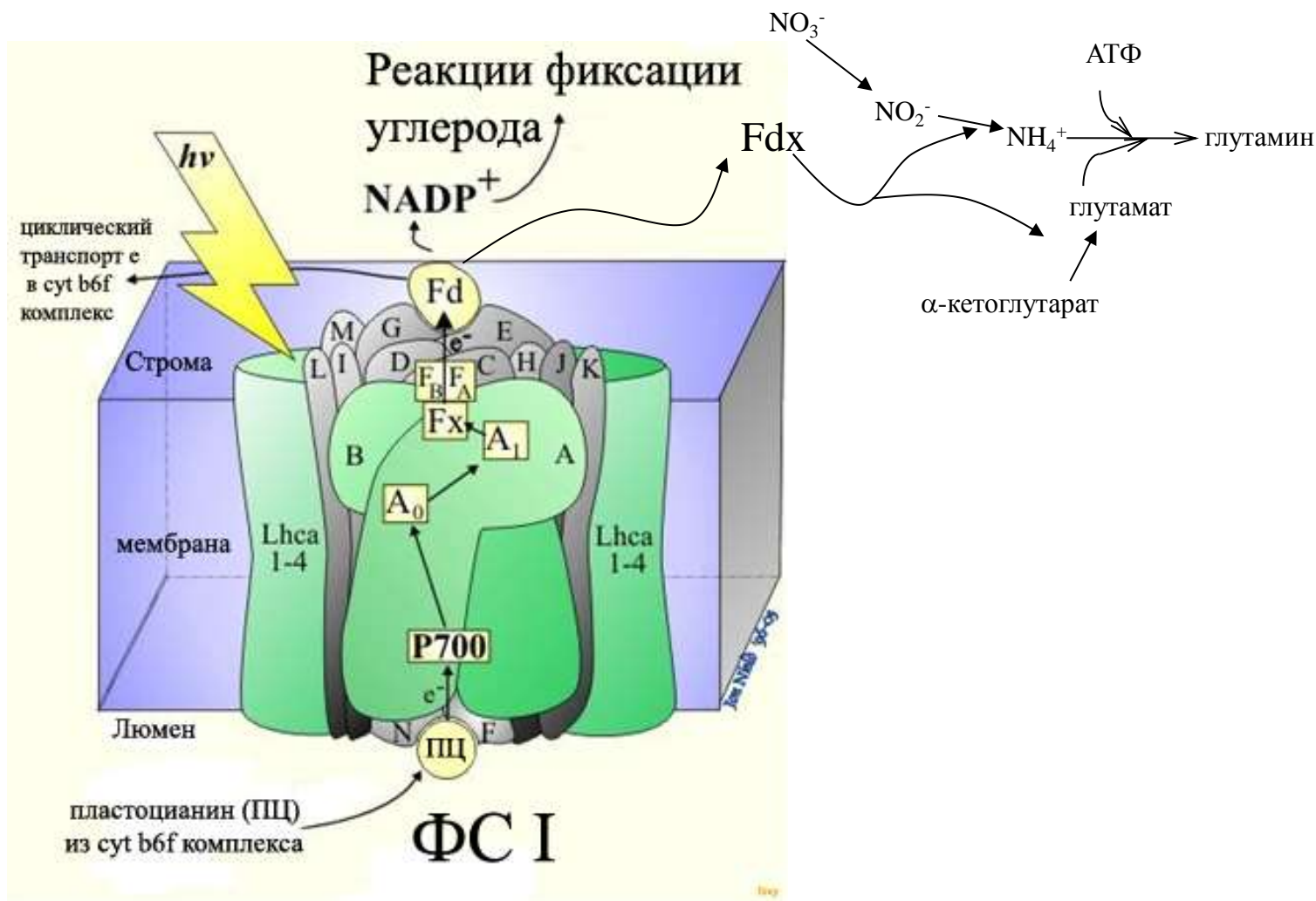


Положение ФС I в ЭТЦ обуславливает особенности ее функционирования:

- Скорость транспорта электронов на акцепторной стороне ФС I определяется концентрацией окисленного НАДФ<sup>+</sup> и Fdx<sub>окисл</sub>. При недостатке НАДФ<sup>+</sup> перенос электронов с восстановленного ферредоксина может происходить по циклическому пути.
- Главным потребителями НАДФН и Fdx<sub>восст</sub> в хлоропластах являются циклы ассимиляции углерода (НАДФН), азота и серы (НАДФН и Fdx). Поэтому *активность реакций метаболизма биогенных элементов - важный фактор регуляции скорости потока электронов в ЭТЦ хлоропластов.*

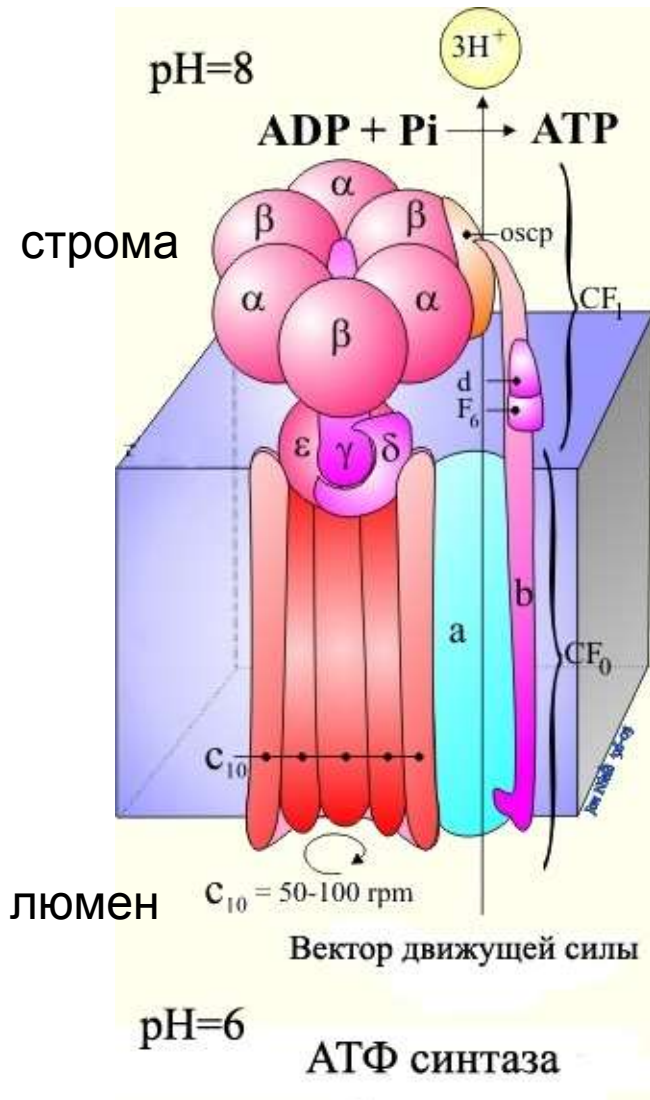
# Регуляция работы ФС I

- Увеличение интенсивности потока электронов за счет мобильной антенны ССК II
- Циклический транспорт электрона с участием Fdx и *cyt b<sub>6</sub>f* комплекса.
- Метаболический контроль, регулирующий восстановленность НАДФ и Fdx (см. пример).





# 4 точка регуляции: АТФ-синтаза



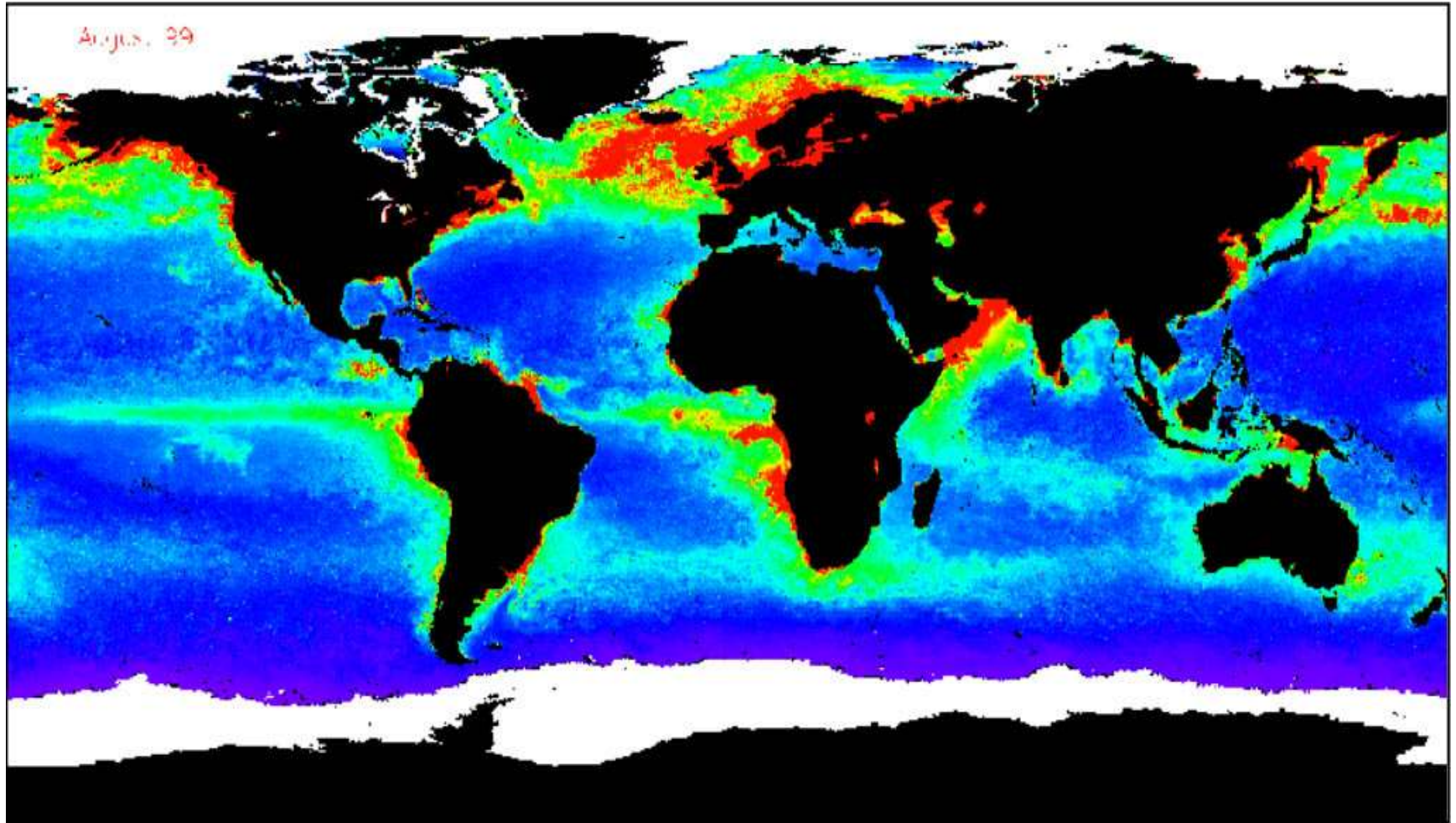
- Протонный насос, работающий на перепаде электрохимического потенциала H<sup>+</sup>.

Регуляция работы:

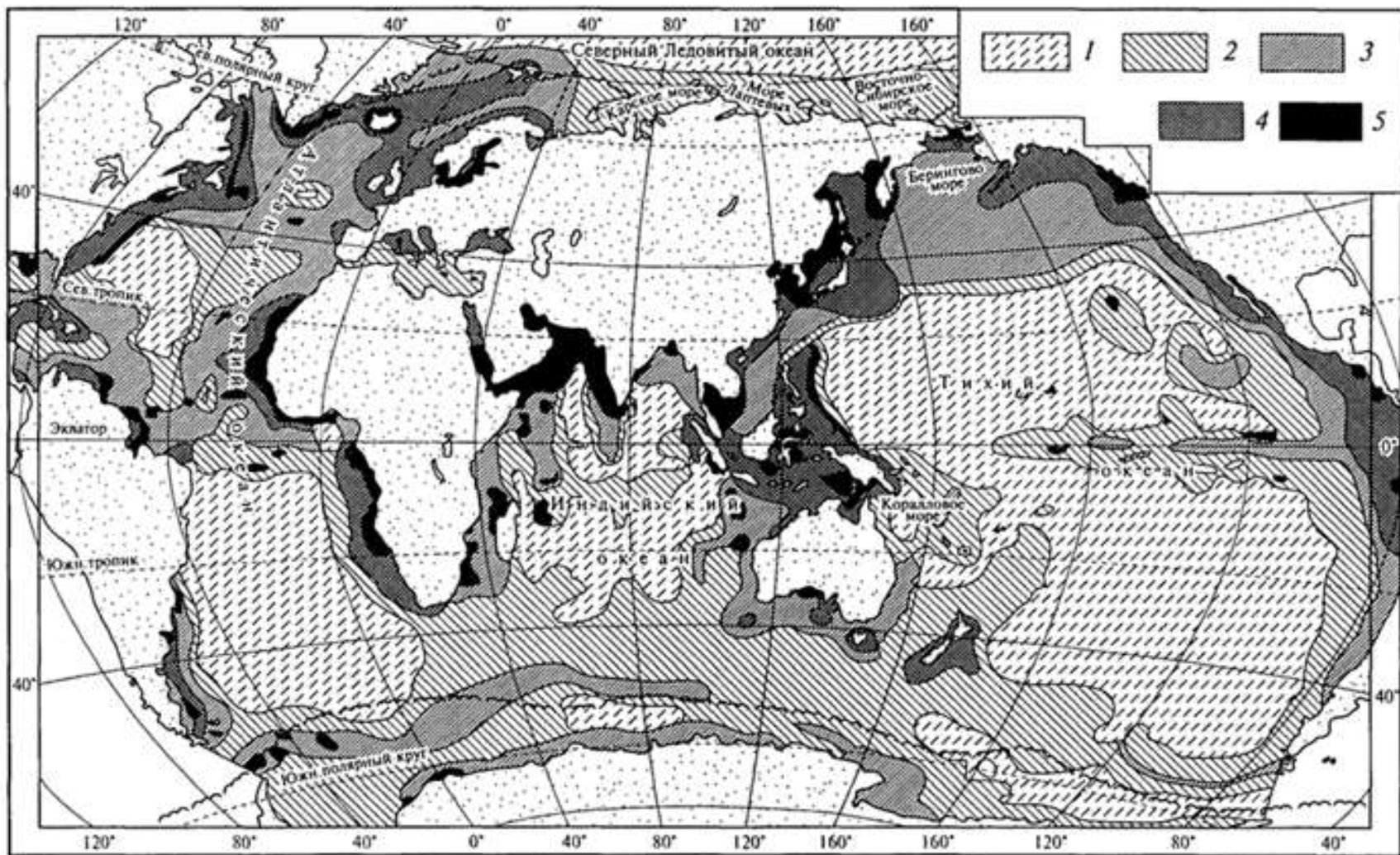
$\Delta pH=2$ , что накладывает условия на вектор и скорость движения H<sup>+</sup>.  
В случае повышенной активности ФС II и пула хинонов наблюдается резкое снижение рН в люмене. Это активирует работу АТФ-синтазы.  
Крайний случай: трансмембранный градиент настолько высокий, что может вызвать пробой мембраны.

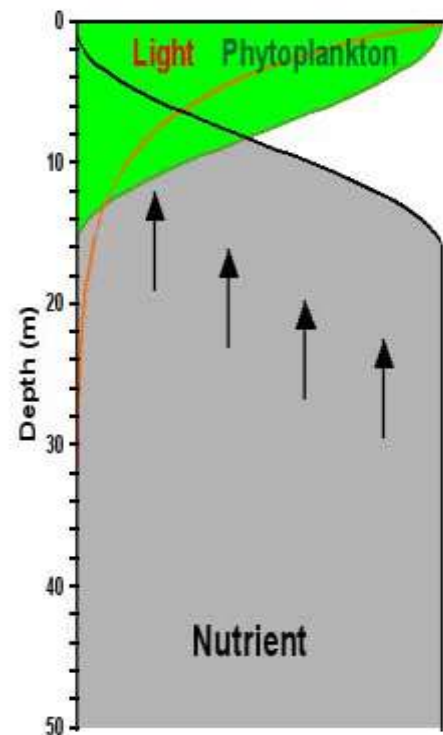
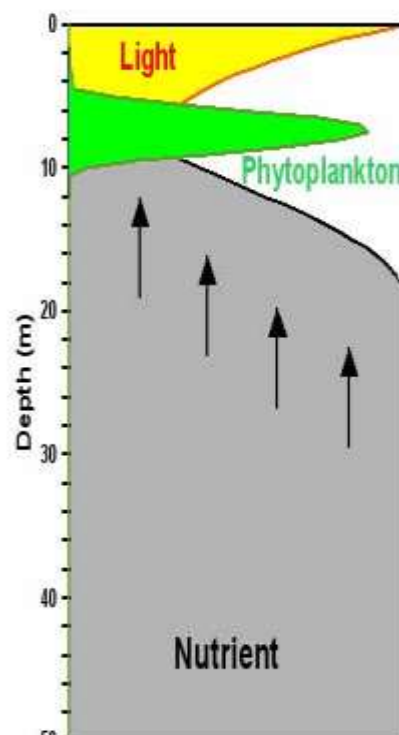
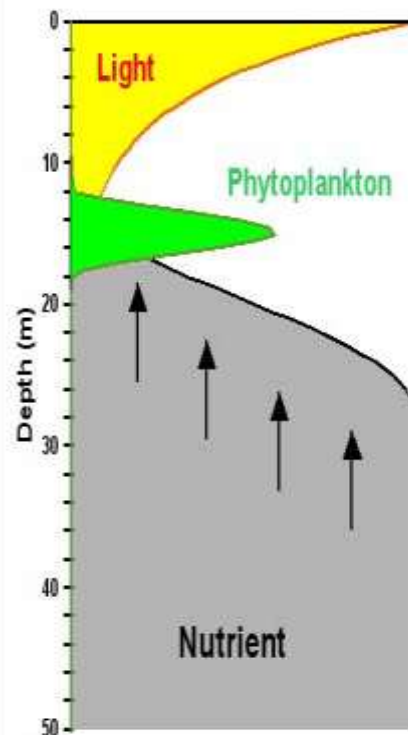
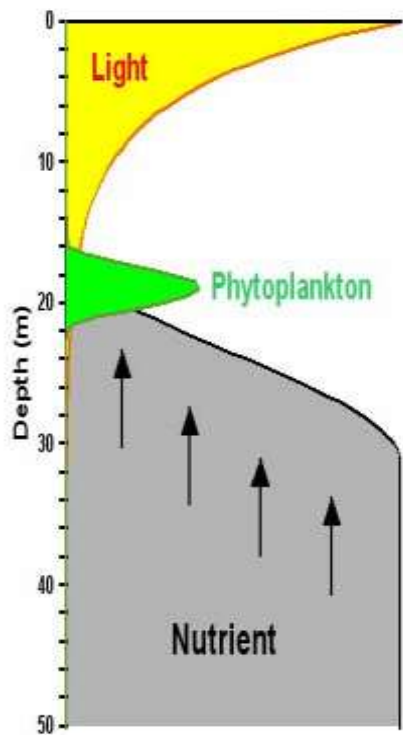
Зачем все так сложно?

# Распределение хлорофилла в Мировом океане

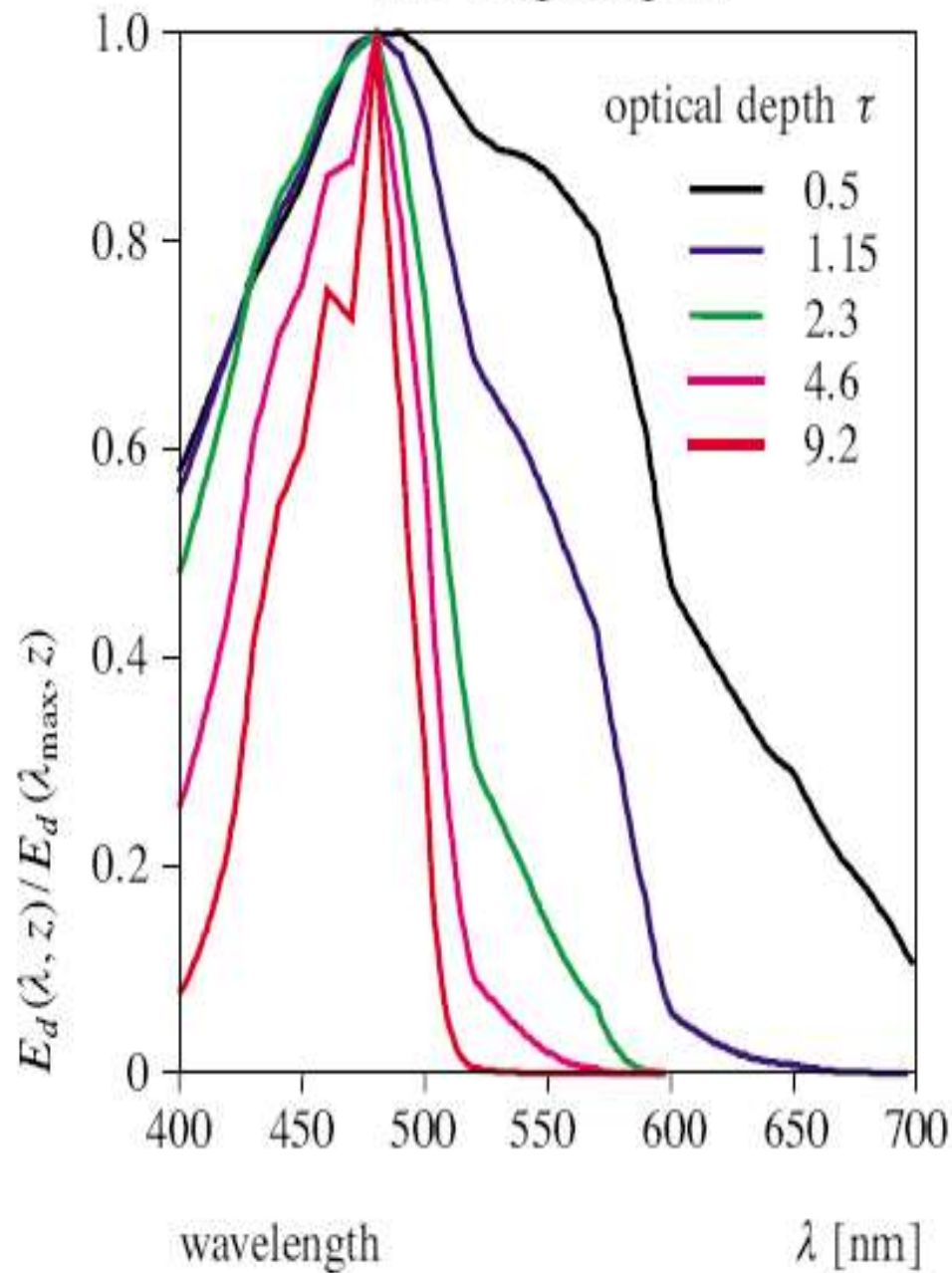


# Первичная продукция Мирового океана





O1- oligotrophic



E5 - eutrophic

