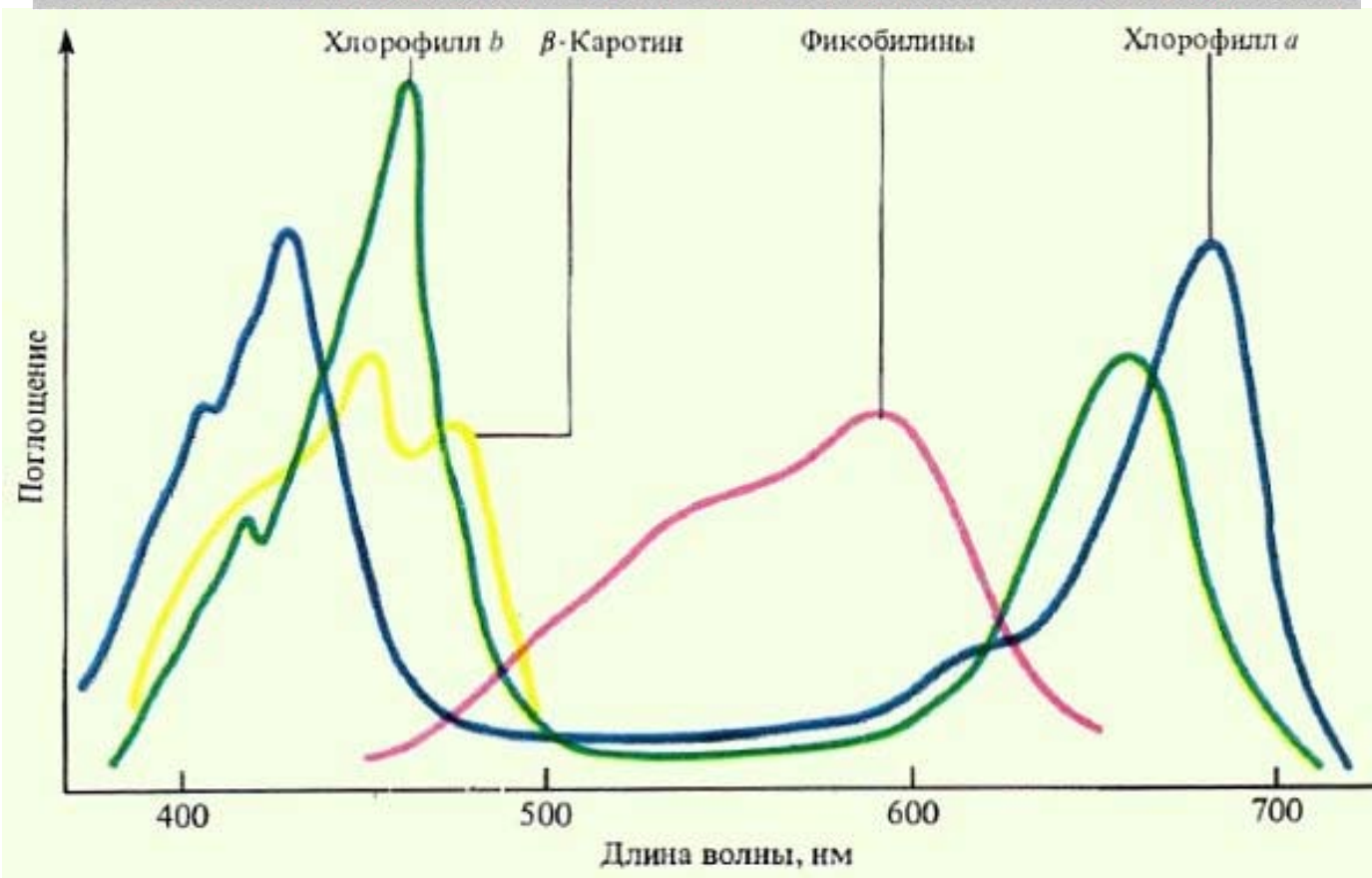
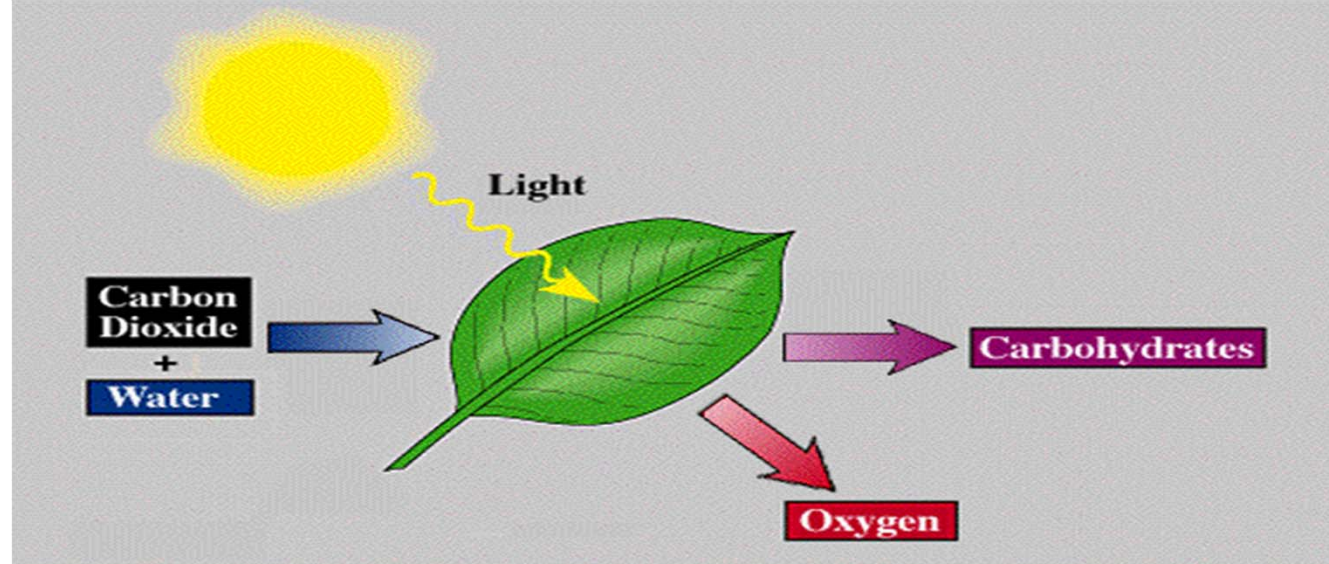


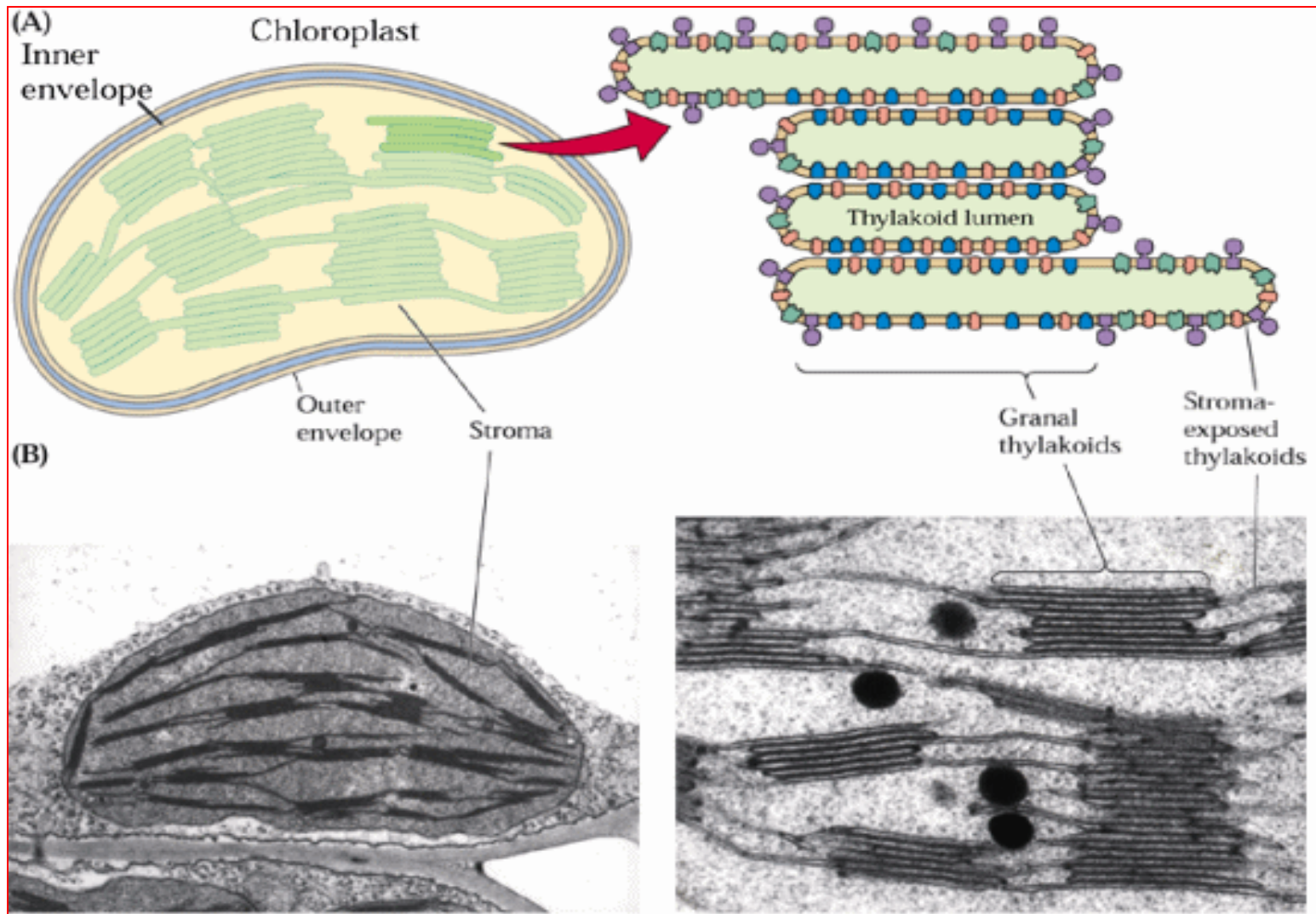
Погосян С.И.

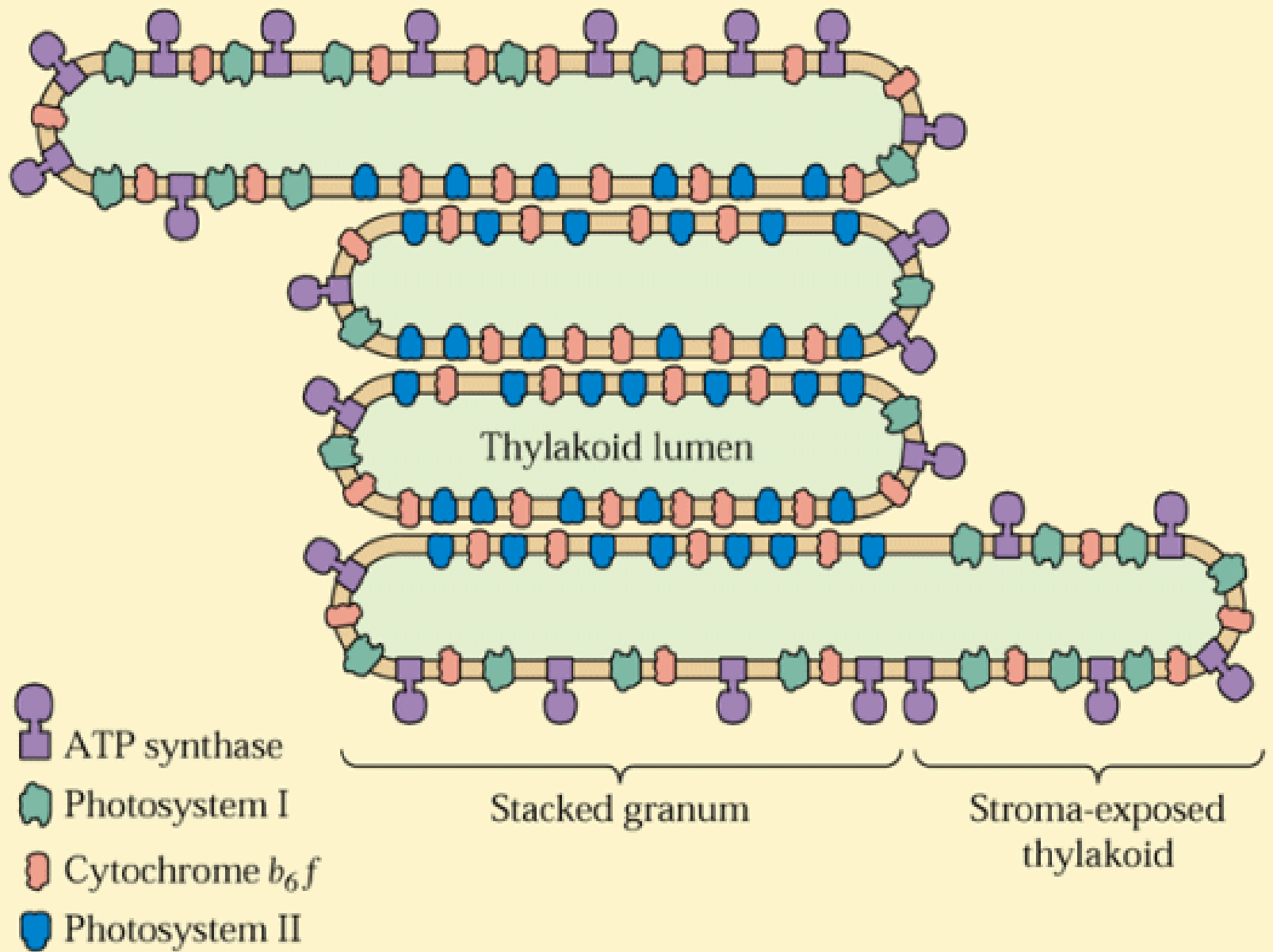
Лекция 4

ФОТОСИНТЕЗ

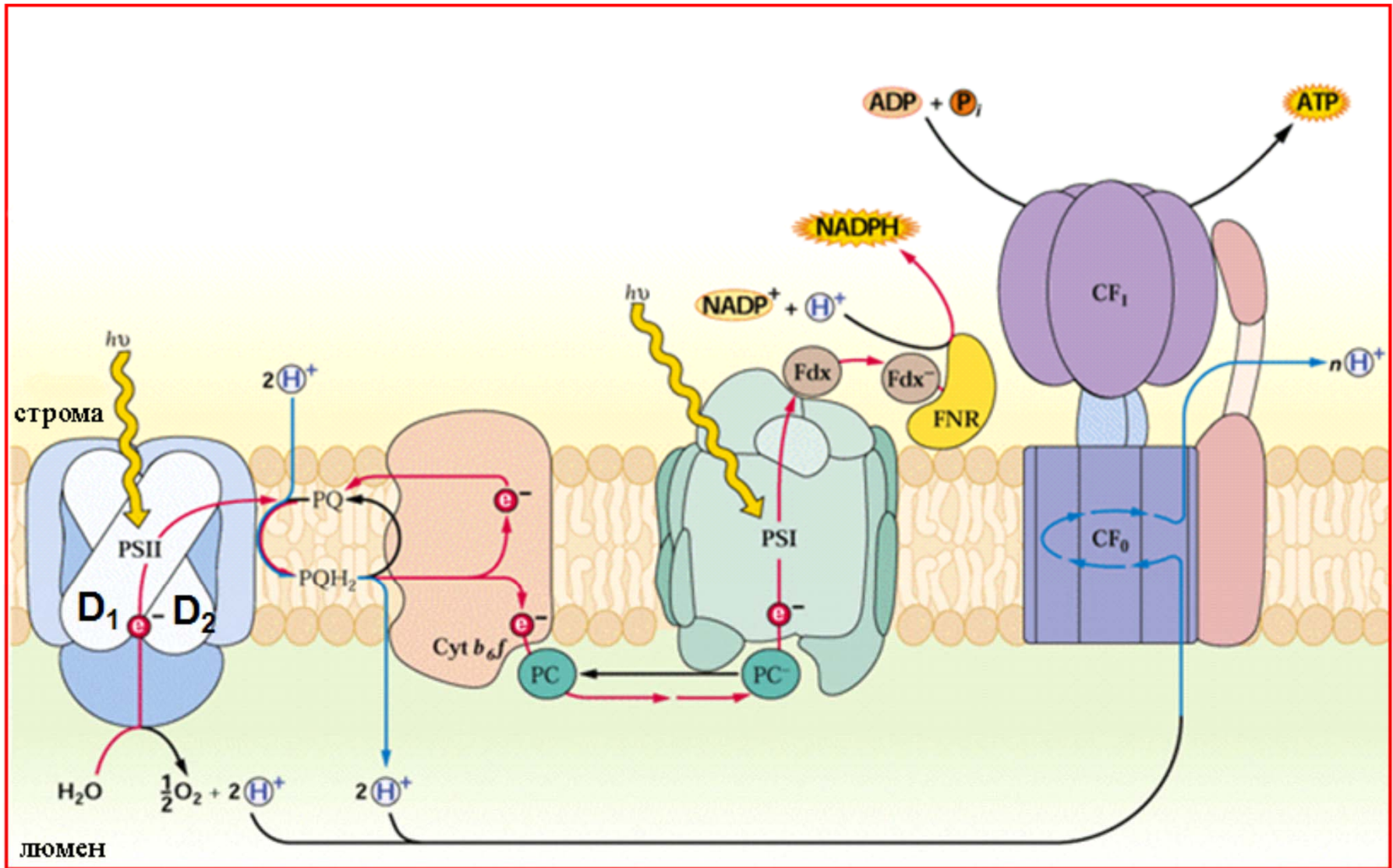


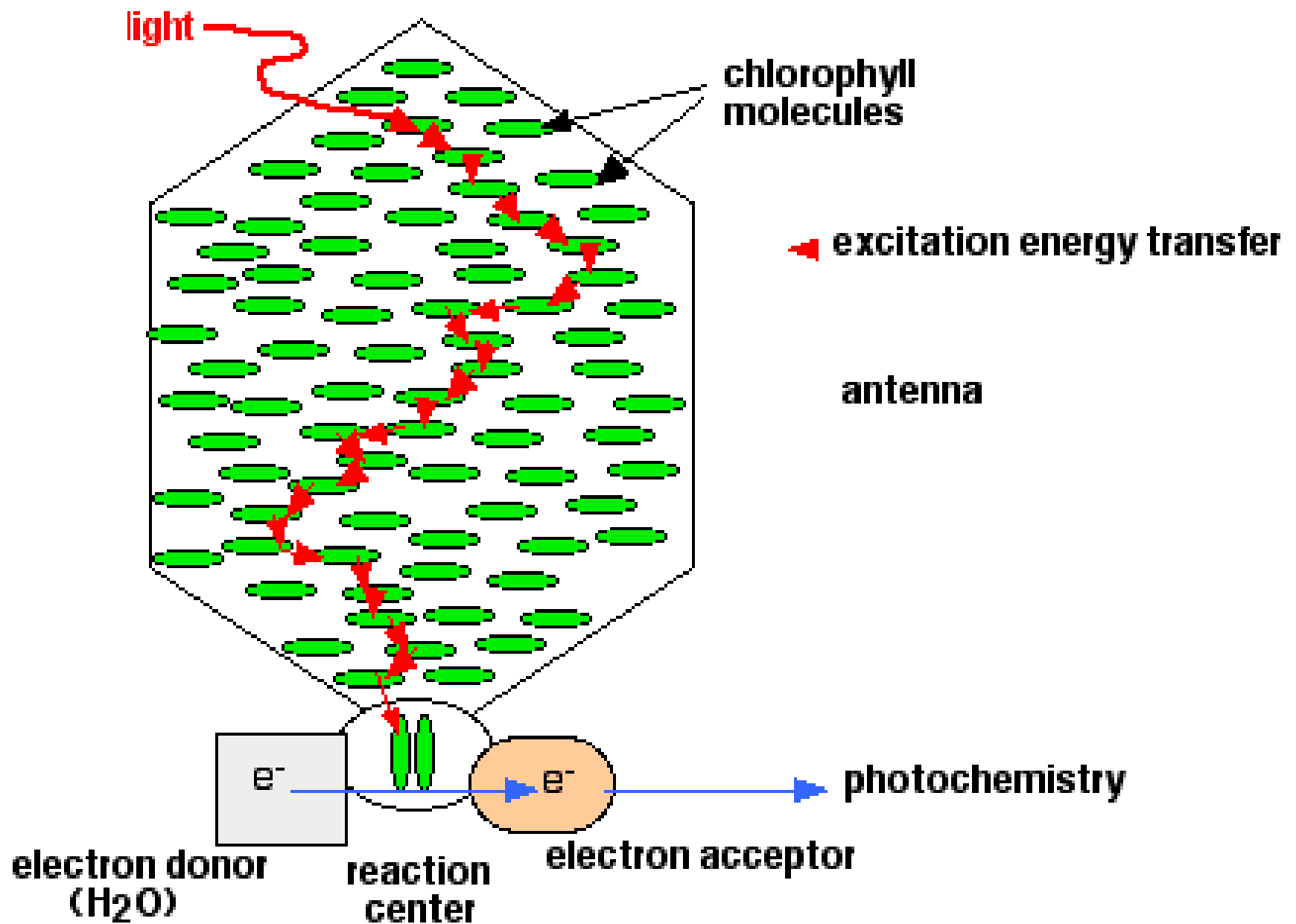
Фотосинтез в растительной клетке осуществляется специализированными органеллами – хлоропластами



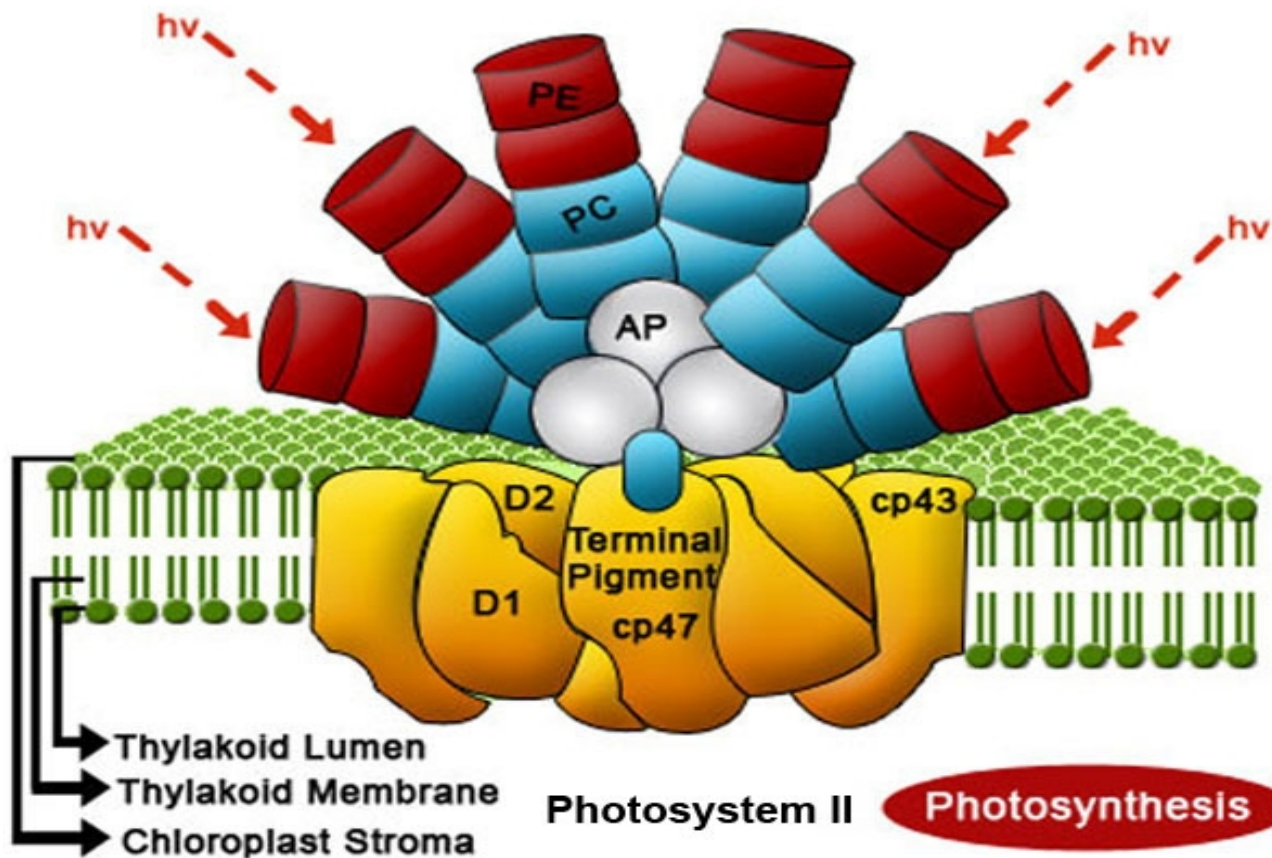


Перенос электронов на фотосинтетической мембране

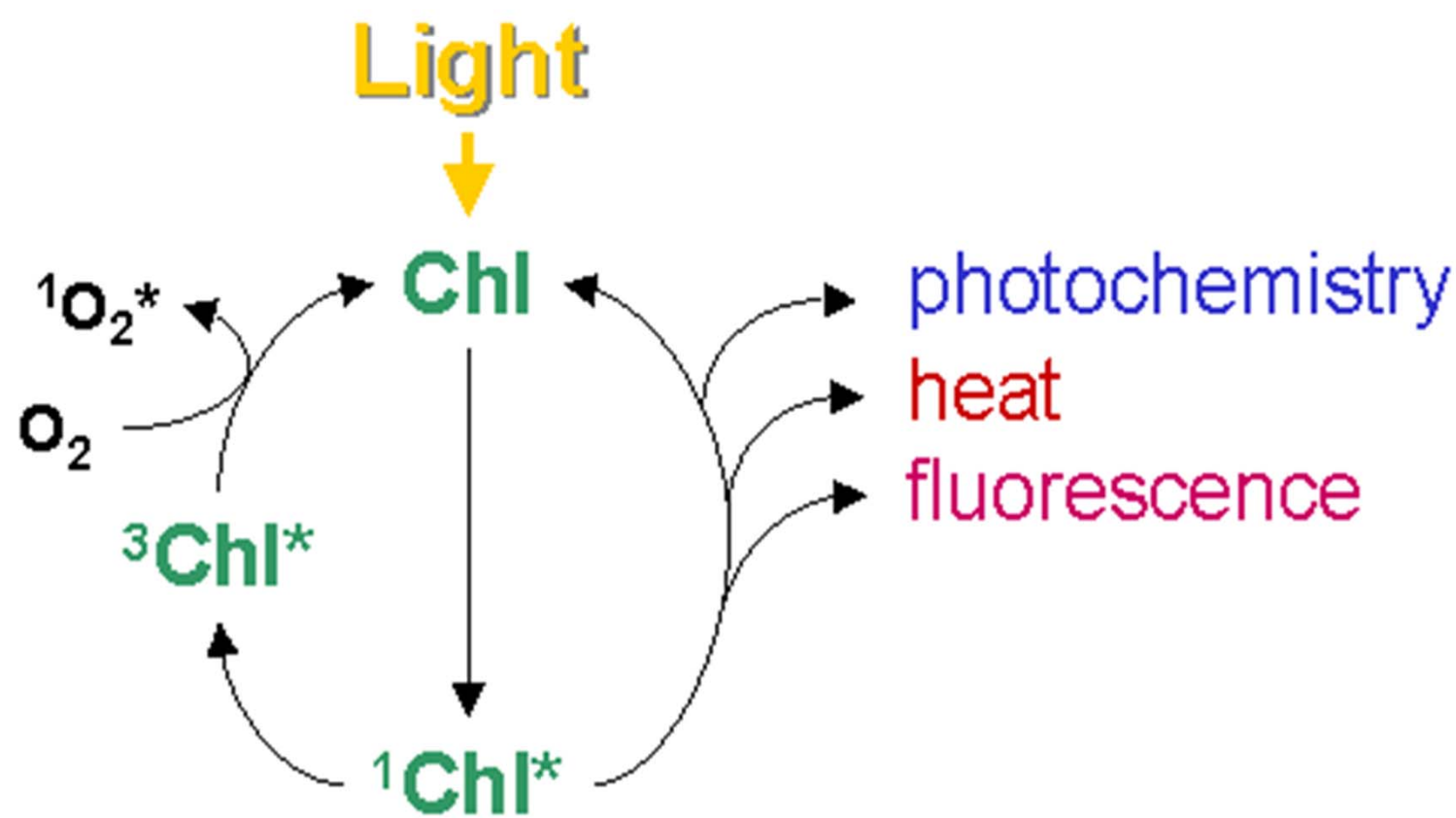


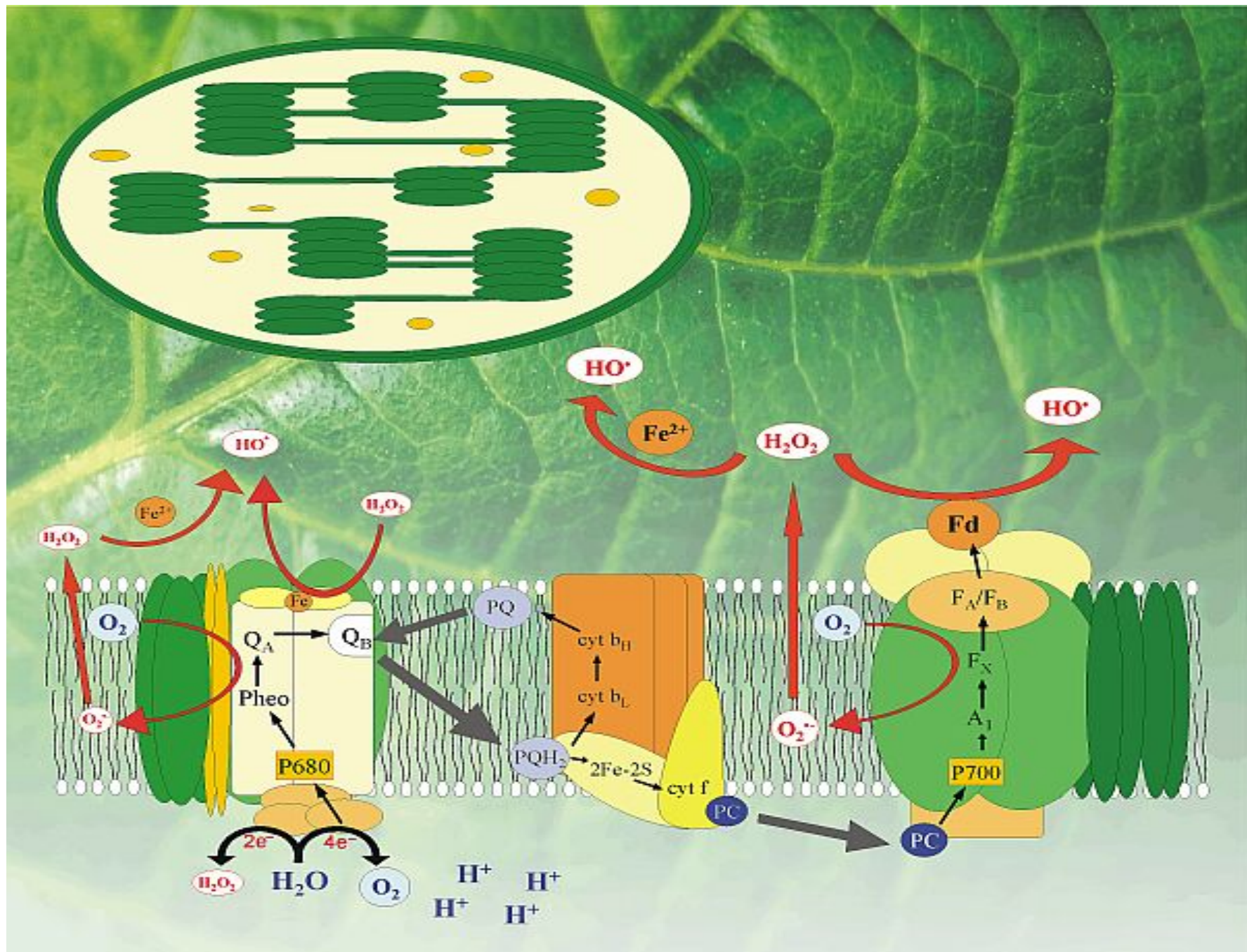


Phycobillisome
(Cyanobacteria, Red Alga)



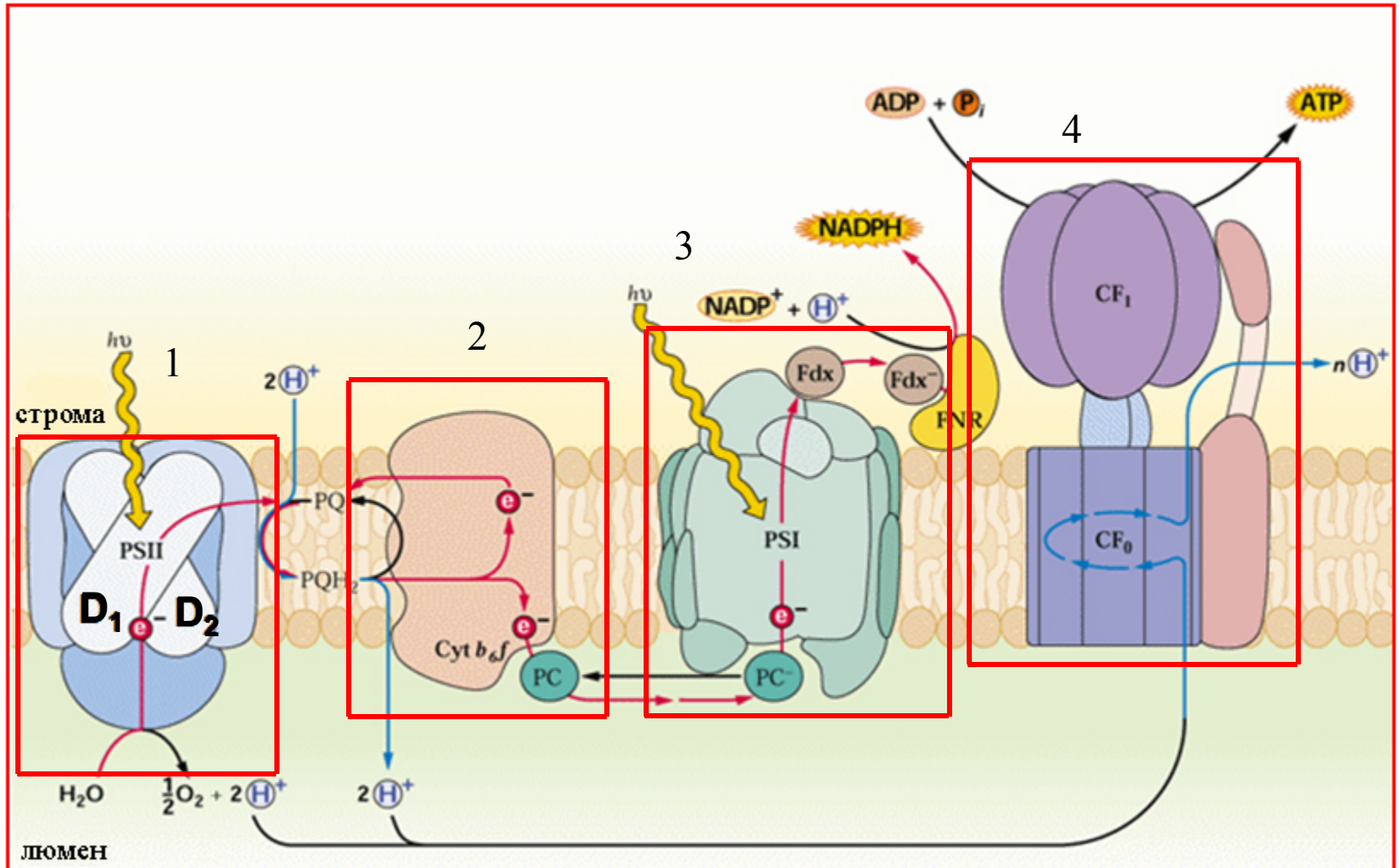
фикоэритрин $\rightarrow$ фикоцианин $\rightarrow$ аллофикоцианин $\rightarrow$
 λ_{max} 565 нм λ_{max} 620 нм λ_{max} 654 нм
 $\rightarrow$ аллофикоцианин В $\rightarrow$ хлорофилл а.
 λ_{max} 671 нм λ_{max} 680 нм





Организация ЭТЦ зеленых водорослей и высших растений.

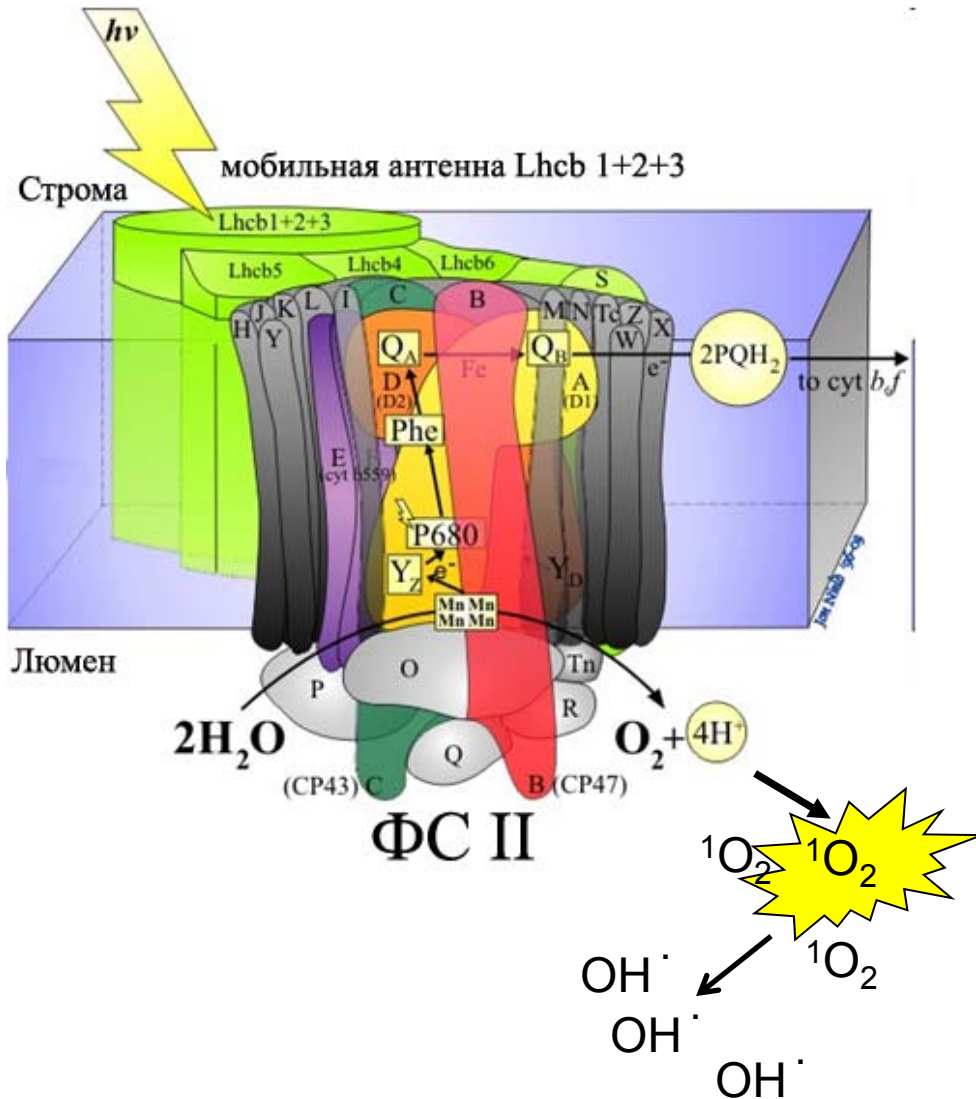
Участки регуляции.



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.

1 участок регуляции – Фотосистема II

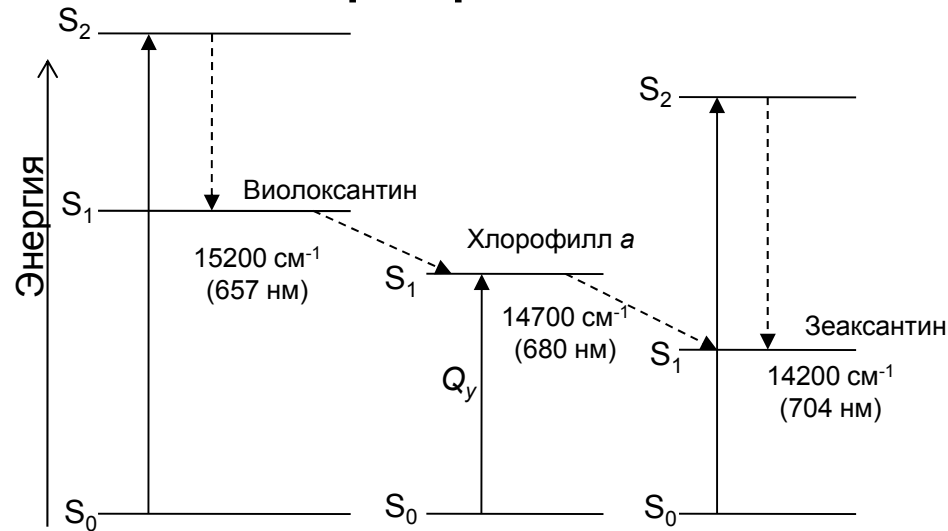


Перевосстановленность ФСII приводит, в конечном итоге, к фотодеструкции белков.

Механизмы регуляции потока электронов:

1. **нециклический поток** регулируется мобильными антеннами : светособирающий комплекс ССК II (белки Lhcb1-3) ;
2. **циклические потоки** вокруг каждой фотосистемы;
3. **псевдоциклический транспорт** электронов
4. **виолоксантиновый цикл**
5. **«тушение» триплетного состояния хлорофилла каротиноидами**
6. **Дезактивация возбужденных с излучением кванта света (флуоресценция)**
7. **«обезвреживание» активных форм кислорода каротиноидами**
8. **замена D1-белка**

«Тушение» возбужденных состояний хлорофилла



«Тушение» при помощи каротиноидов

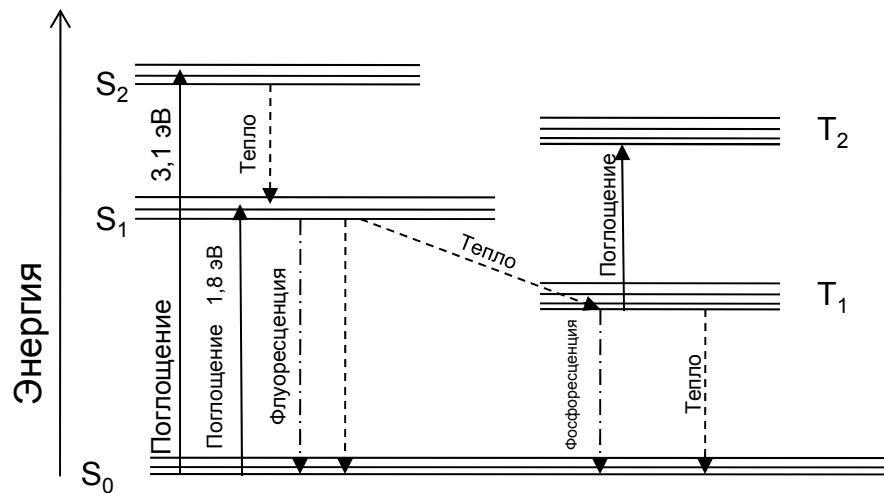
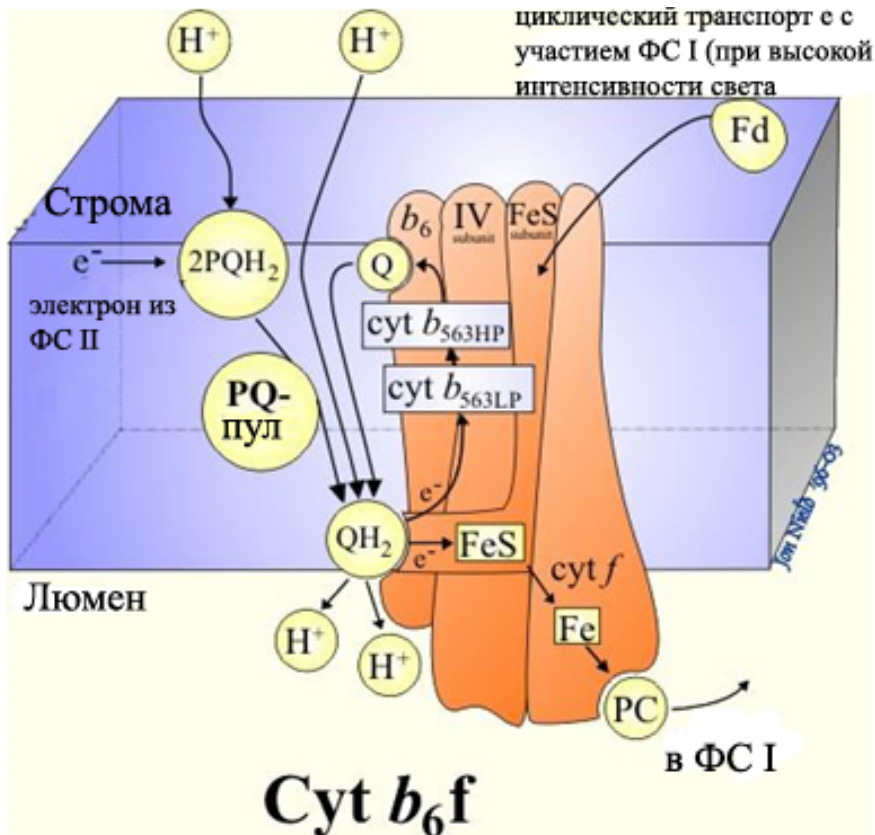


Схема электронных переходов для магнийпорофиринов.

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

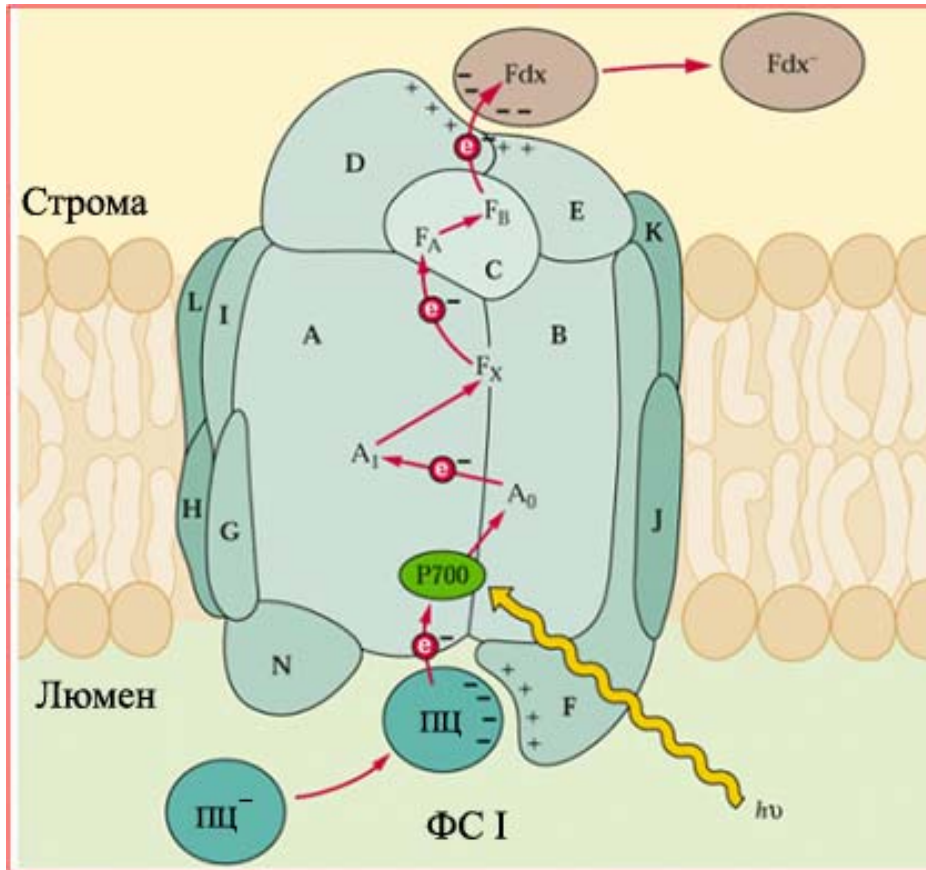
pH=8



pH=6

1. Редокс состояние цитохром b_6f комплекс определяет переход мобильной антенны ССК II между ФС II и ФС I. При высокой восстановленности cyt b_6f происходит переход ССК II к ФС I.
2. Скорость окисления пула пластохинонов цитохромным комплексом в значительной степени регулируется величиной pH в люмене.
3. Выход протонов из люмена при помощи АТФ-синтазного комплекса сопряжен с синтезом АТФ. Поэтому *концентрация АДФ и Φ_n* – субстратов реакции синтеза АТФ, является важным фактором регуляции процесса окисления пластохинонов в хлоропластах.
4. Электронным буфером в хлоропластах служит пул PQ, который до определенных пределов может накапливать избыточные электроны, поступающие от ФСII и не используемые для восстановления НАДФ⁺.

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

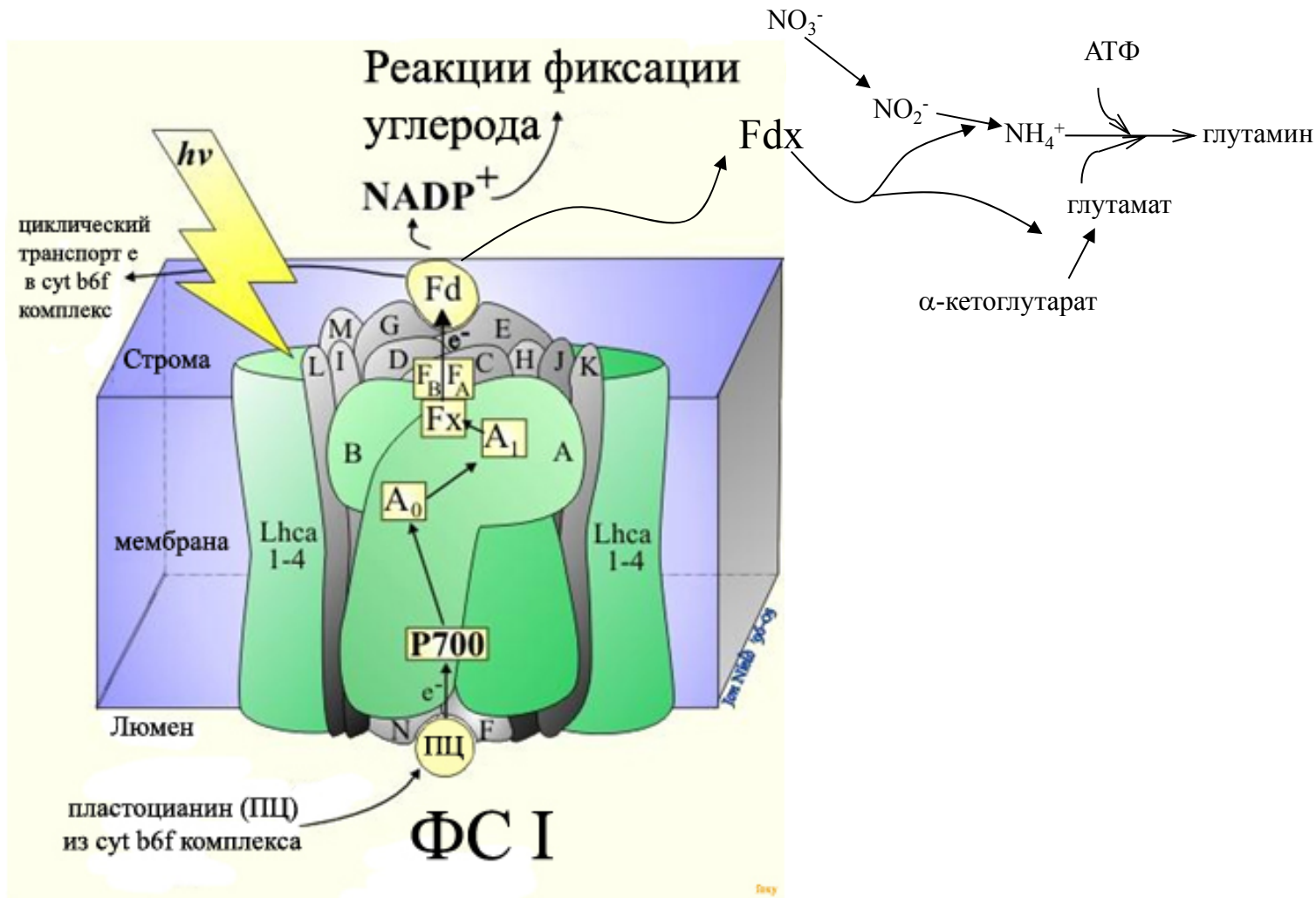


Положение ФС I в ЭТЦ обуславливает особенности ее функционирования:

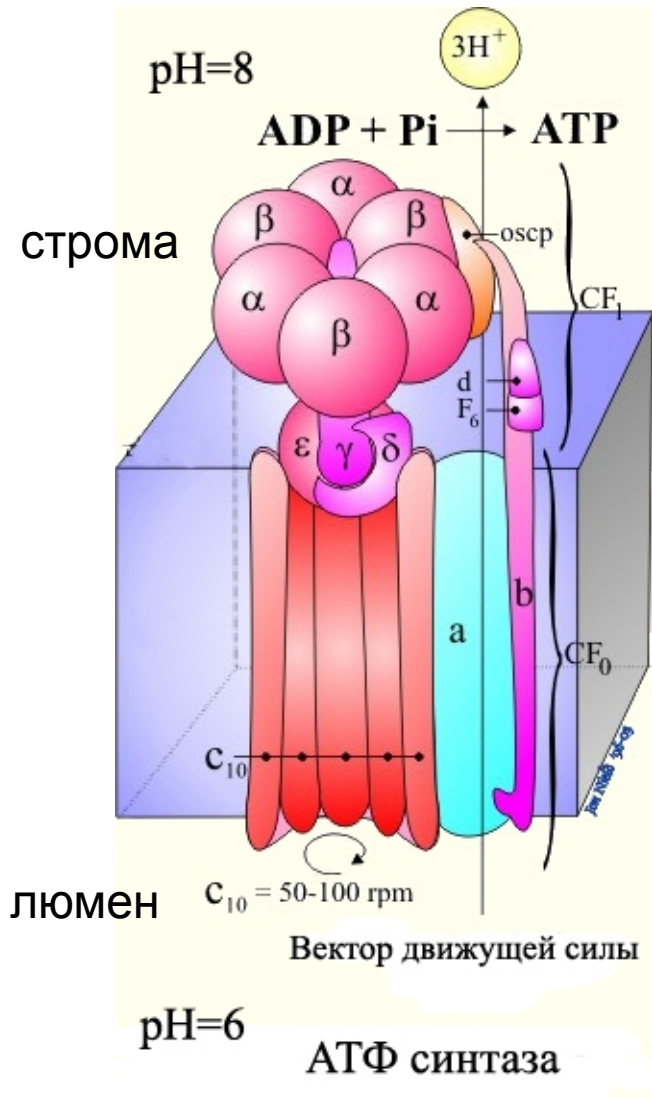
- Скорость транспорта электронов на акцепторной стороне ФСI определяется концентрацией окисленного НАДФ⁺ и Fd_{окисл}. При недостатке НАДФ⁺ перенос электронов с восстановленного ферредоксина может происходить по циклическому пути.
- Главным потребителями НАДФН и Fd_{восст} в хлоропластах являются циклы ассимиляции углерода (НАДФН), азота и серы (НАДФН и Fd_x). 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 b₆f комплекса.
- Метаболический контроль, регулирующий восстановленность НАДФ и Fdx (см. пример).



4 точка регуляции: АТР-синтаза



- Протонный насос, работающий на перепаде электрохимического потенциала H⁺.

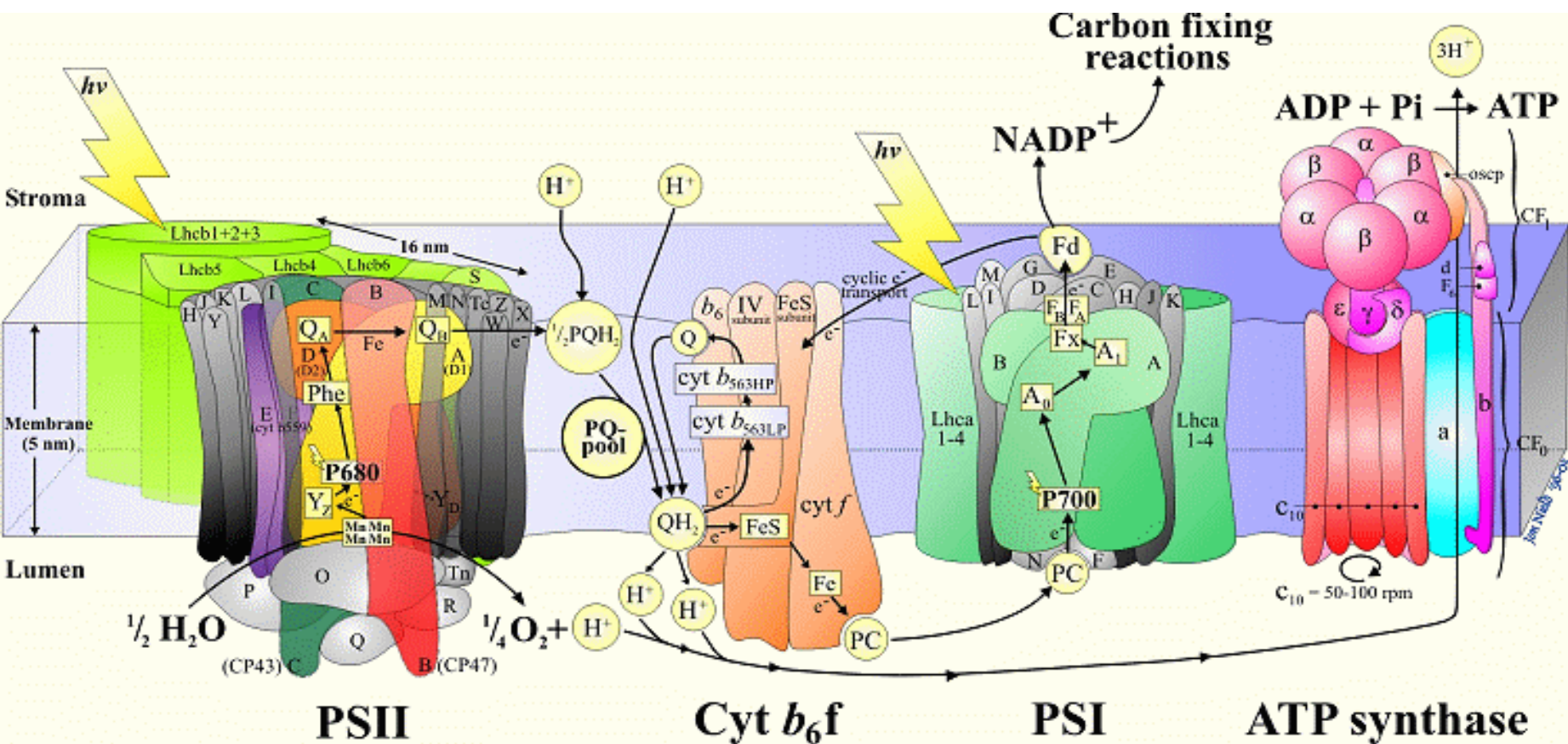
Регуляция работы:

ΔpH=2, что накладывает условия на вектор и скорость движения H⁺.

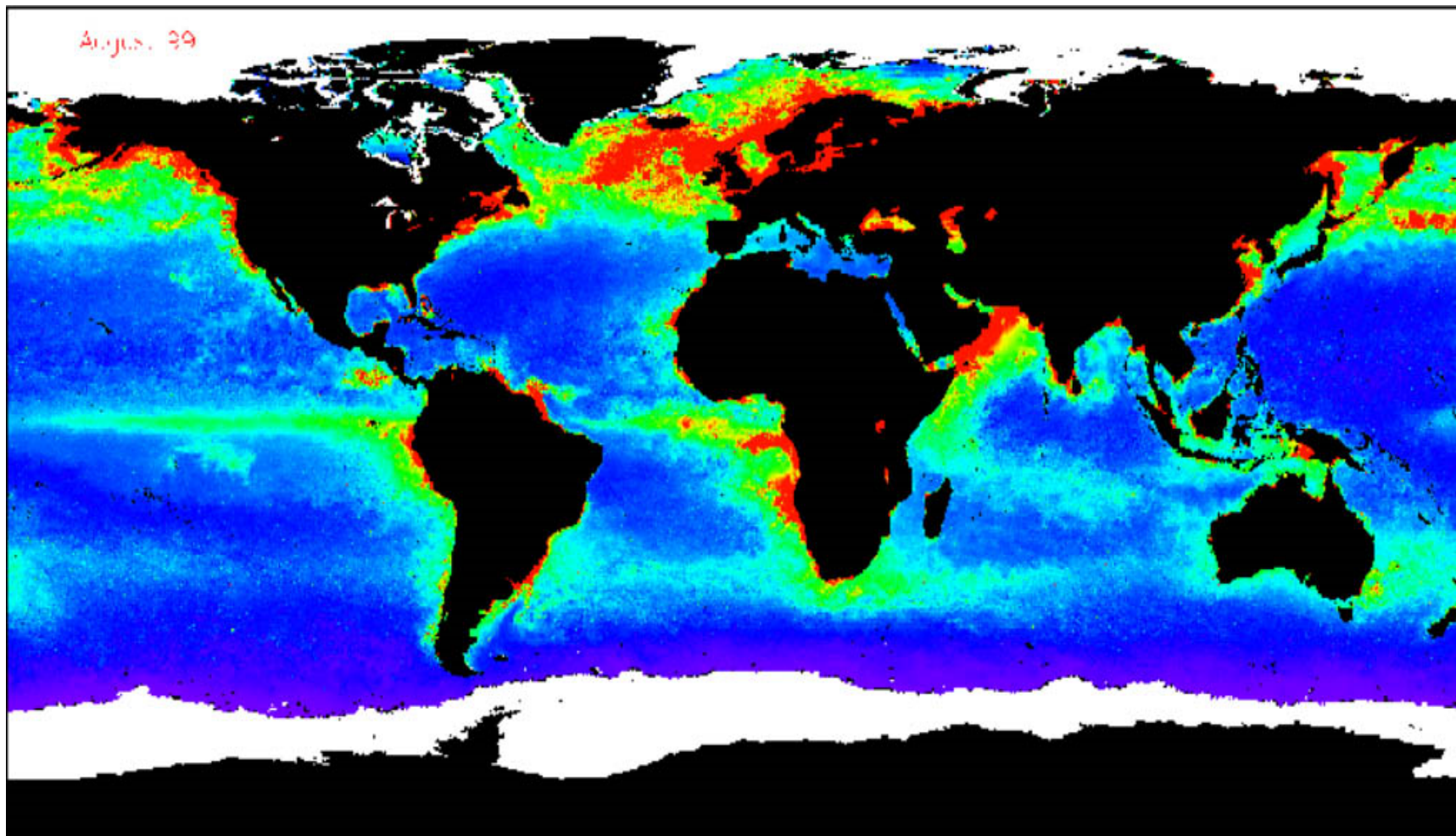
В случае повышенной активности ФС II и пула хинонов наблюдается резкое снижение pH в люмене. Это активирует работу АТР-синтазы. Крайний случай: трансмембранный градиент настолько высокий, что может вызвать пробой мембраны.

Зачем все так сложно?

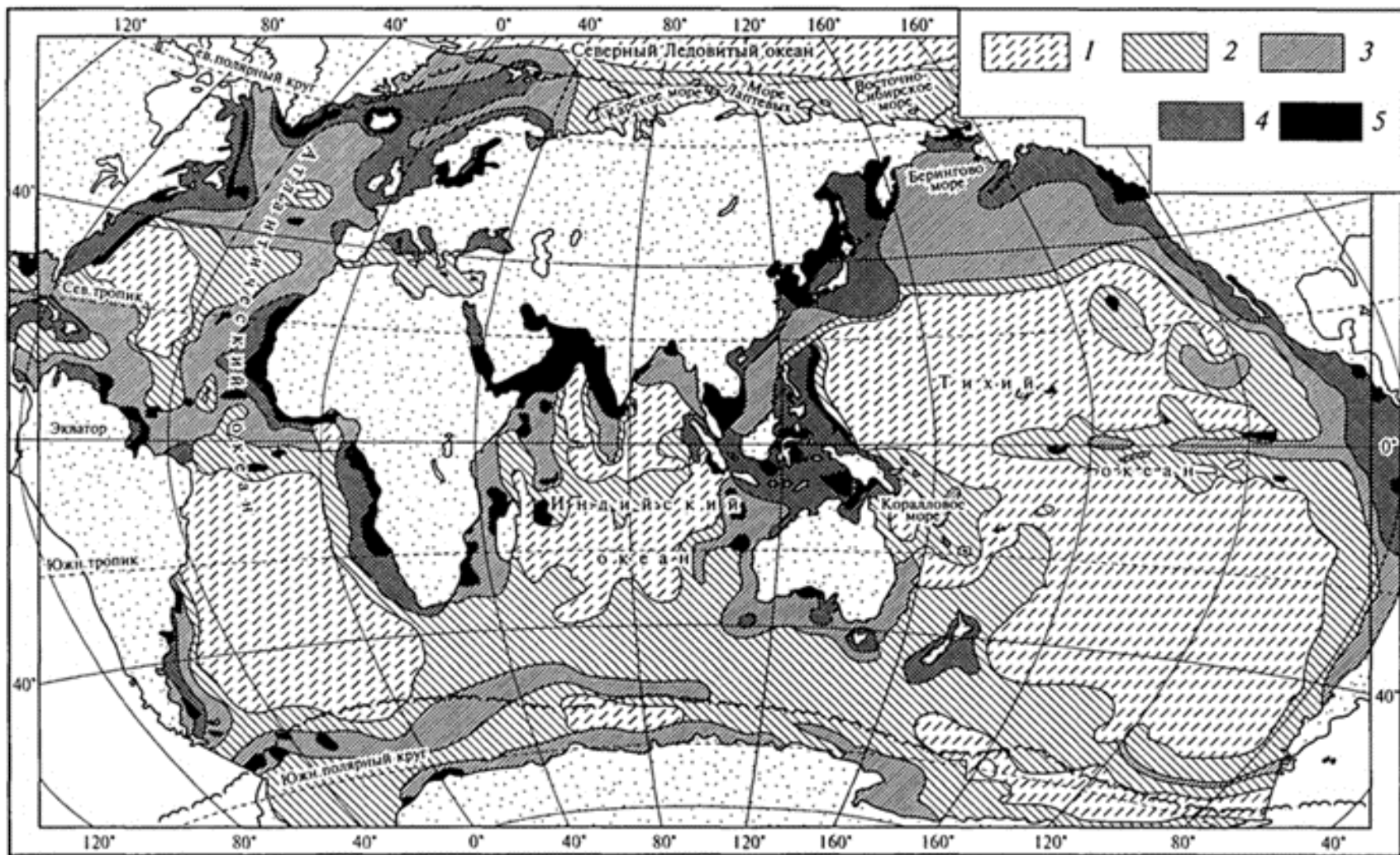
- Сложное устройство ЭТЦ обеспечивает динамическую (гибкую) адаптацию к изменяющимся условиям освещенности.
- Регуляторные реакции работают по принципу обратной связи. Отрицательная обратная связь проявляется в регуляторных реакциях световых стадий фотосинтеза (распределение световой энергии между двумя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

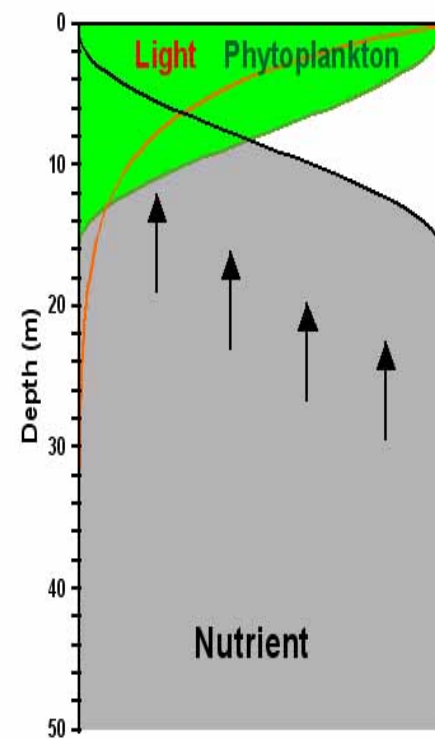
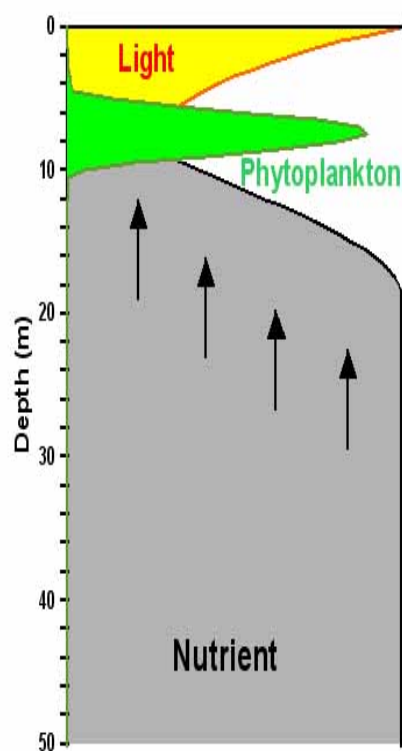
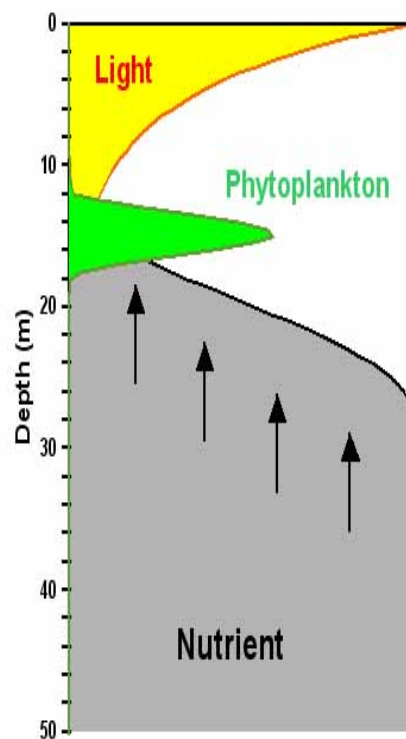
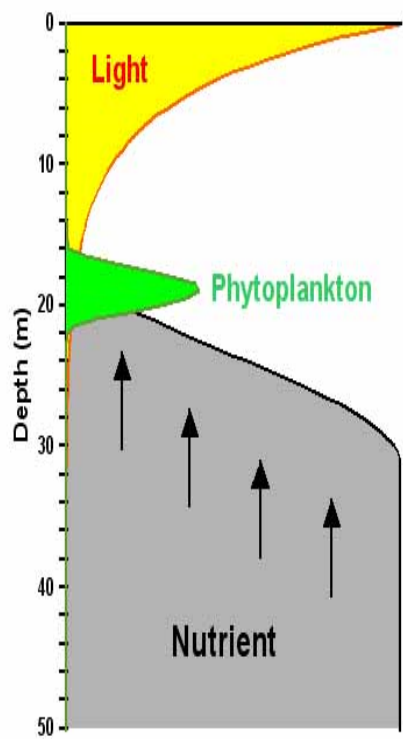


Распределение хлорофилла в Мировом океане

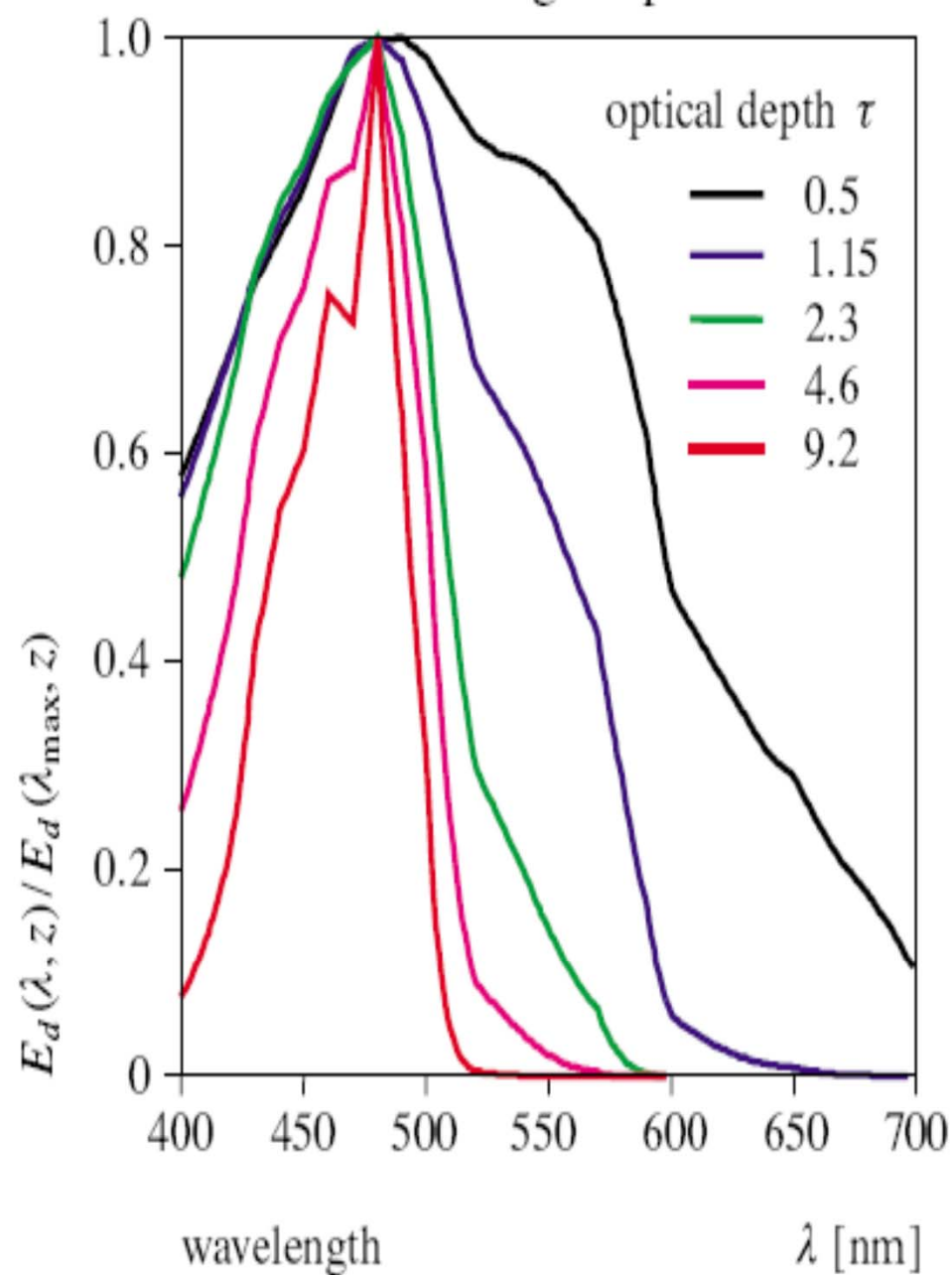


Первичная продукция Мирового океана

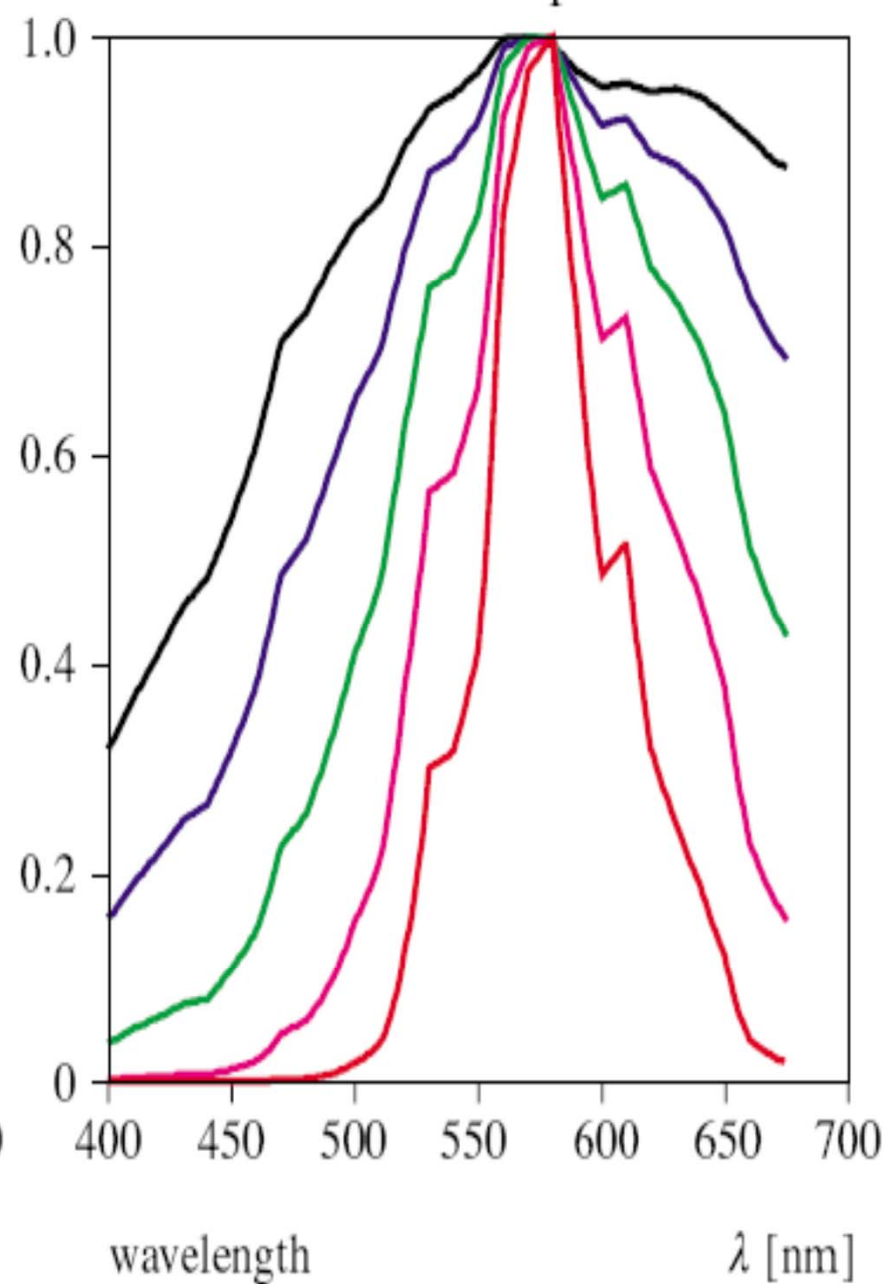




O1- oligotrophic



E5 - eutrophic



Сравнение эффективности источников растительного биотоплива [Dismukes, 2008]

Источник	Биодизель л/(га год)	Площадь для удовлетворения современных потребностей млн. га	Площадь, % от зем. суши
Соя	446	10 932	72.9
Рапс	1190	4 097	27.3
Масличная пальма	5950	819	5.5
Водоросли эфф. 1% ¹⁾	45 000	108	0.7
Водоросли эфф. 4% ²⁾	137 000	36	0.2

1) Нижняя оценка дана исходя из данных эффективности превращения солнечной энергии в дизельное биотопливо при выращивании водорослей в трубчатом реакторе

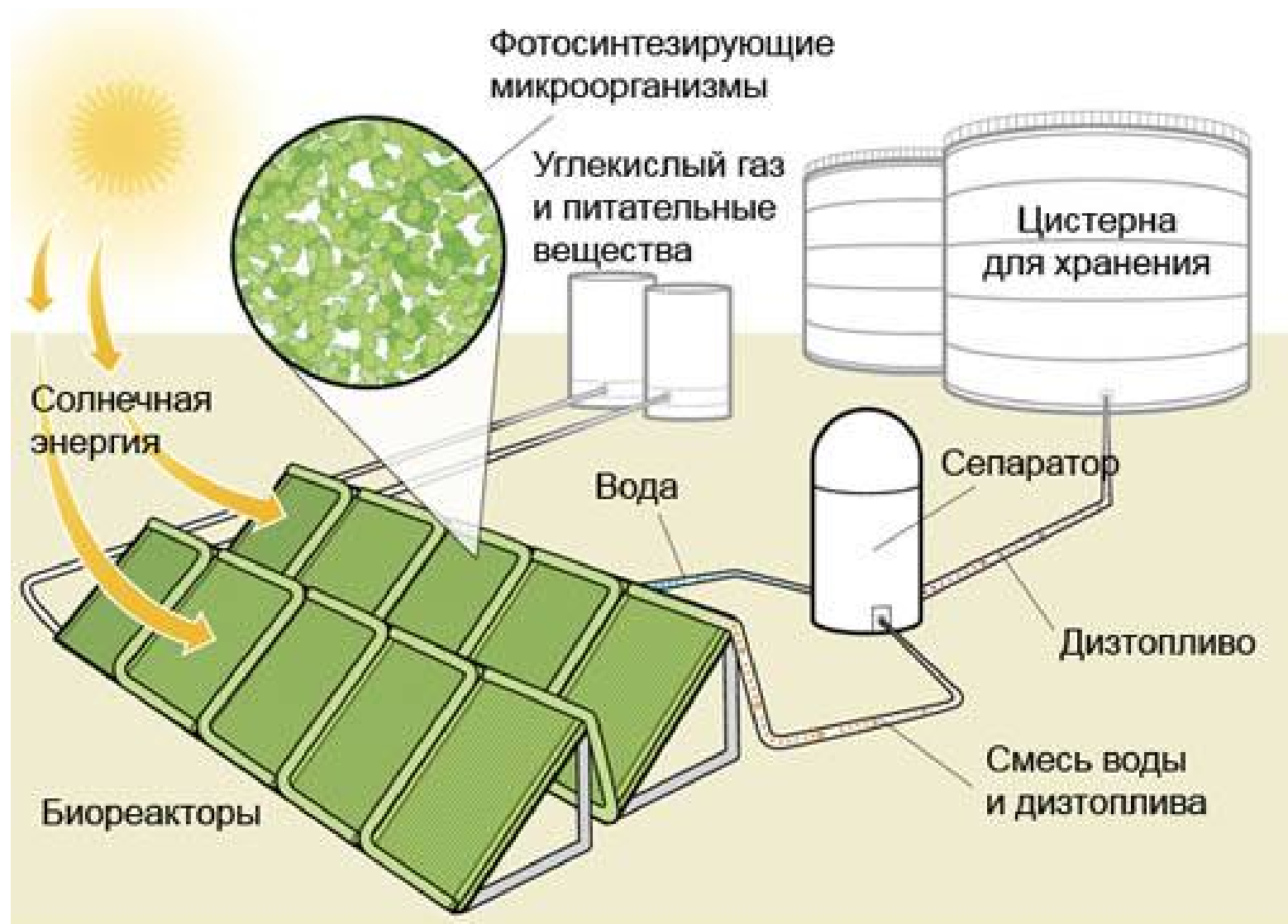
2) Верхняя оценка дана на основе максимальной эффективности водорослей.

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОМАССЫ ВОДОРОСЛЕЙ

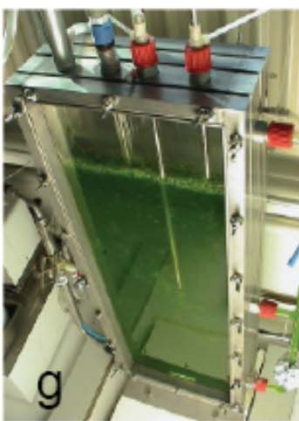
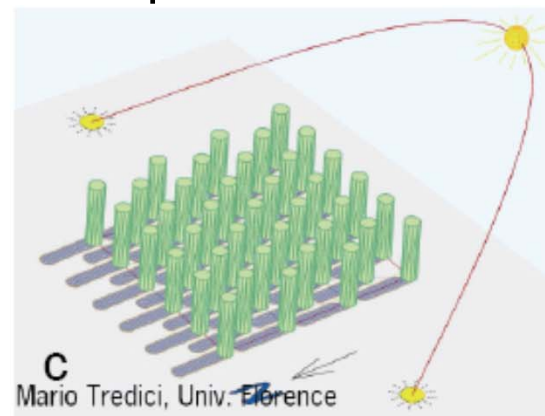
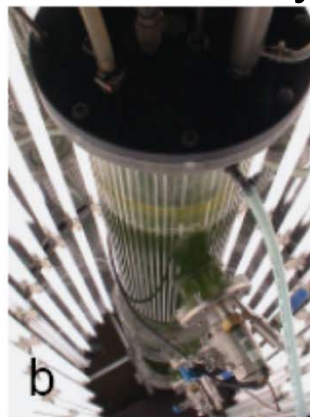


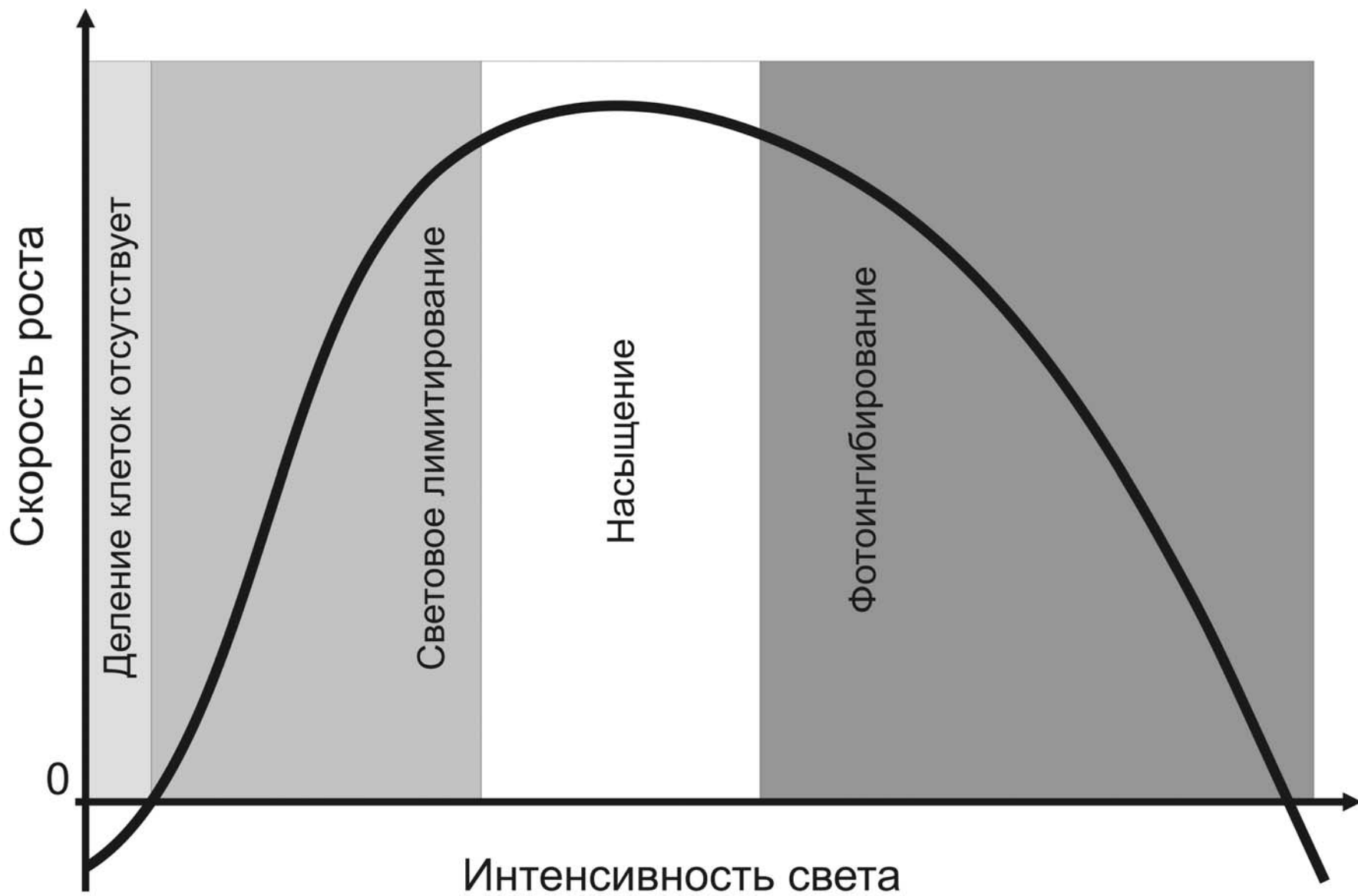
Преимуществами водорослей являются [Dismukes, 2008]:

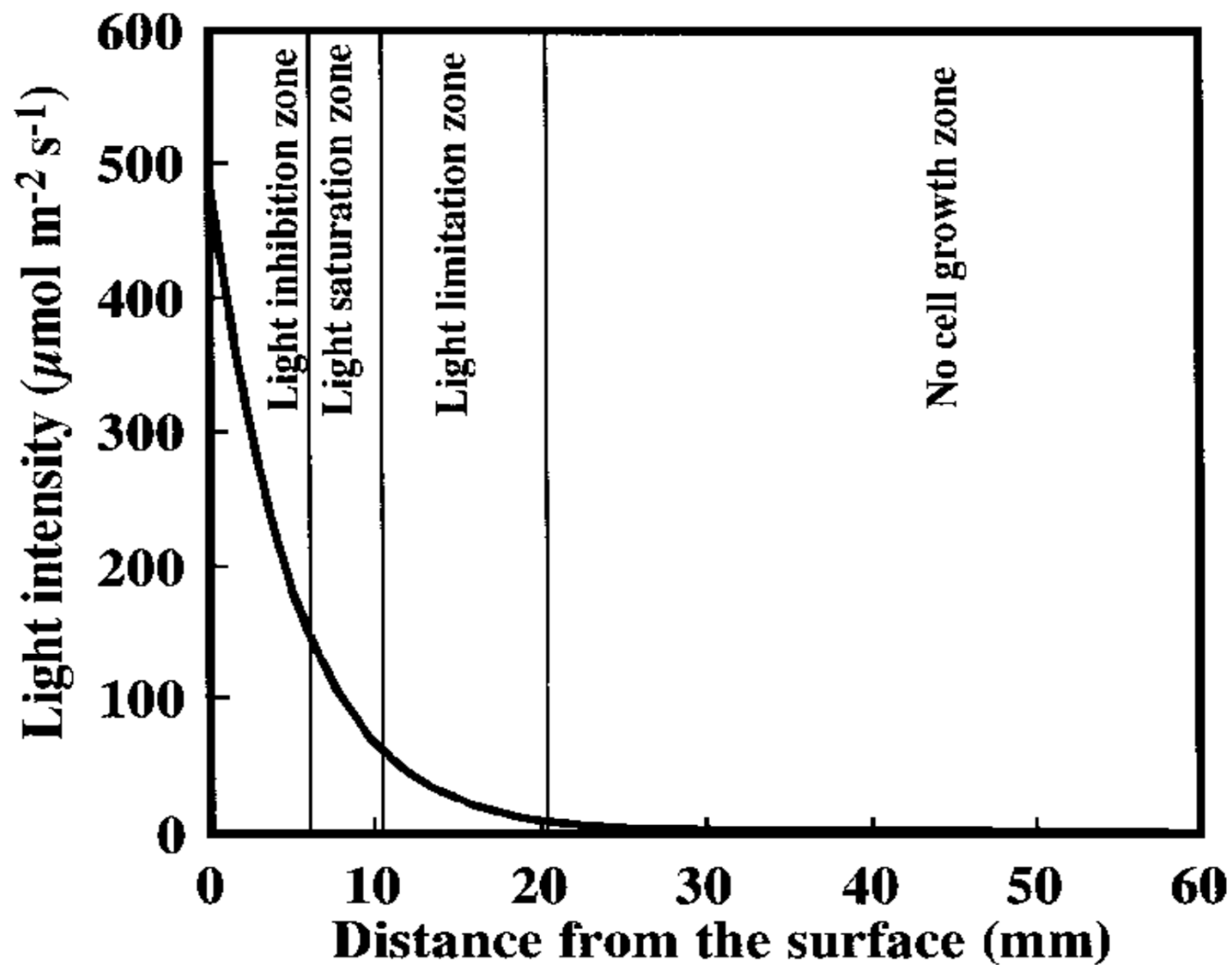
- Способность равномерно поглощать свет и возможность проточного культивирования с непрерывным отбором.
- Отсутствие в составе биомассы многих видов трудноразлагаемых биополимеров. После экстракции углеводов или липидов остается биомасса богатая белками.
- Метаболическое и экологическое разнообразие, что позволяет выбрать виды наиболее подходящие для выращивания в разных условиях, обладающие определенными свойствами, необходимыми для более легкого сбора выращенной биомассы, и специфическим метаболизмом, позволяющим получать водород, этанол, или органические кислоты до этапа переработки биомассы.
- Возможность управления направленностью биосинтеза (белки, углеводы, липиды) путем изменения внешних условий.
- Водоросли можно выращивать на морской воде, запасы которой практически не ограничены, а для высших растений требуется ценная пресная вода, которой уже не хватает.
- Водоросли не занимают сельскохозяйственные земли и тем самым не конкурируют с выращиванием пищевых и кормовых культур.
- Культиваторы водорослей можно использовать для поглощения углекислого газа, вырабатываемого тепловыми электростанциями и для снижения уровня фосфора и азота в сточных водах.



Примеры закрытых систем культивирования.

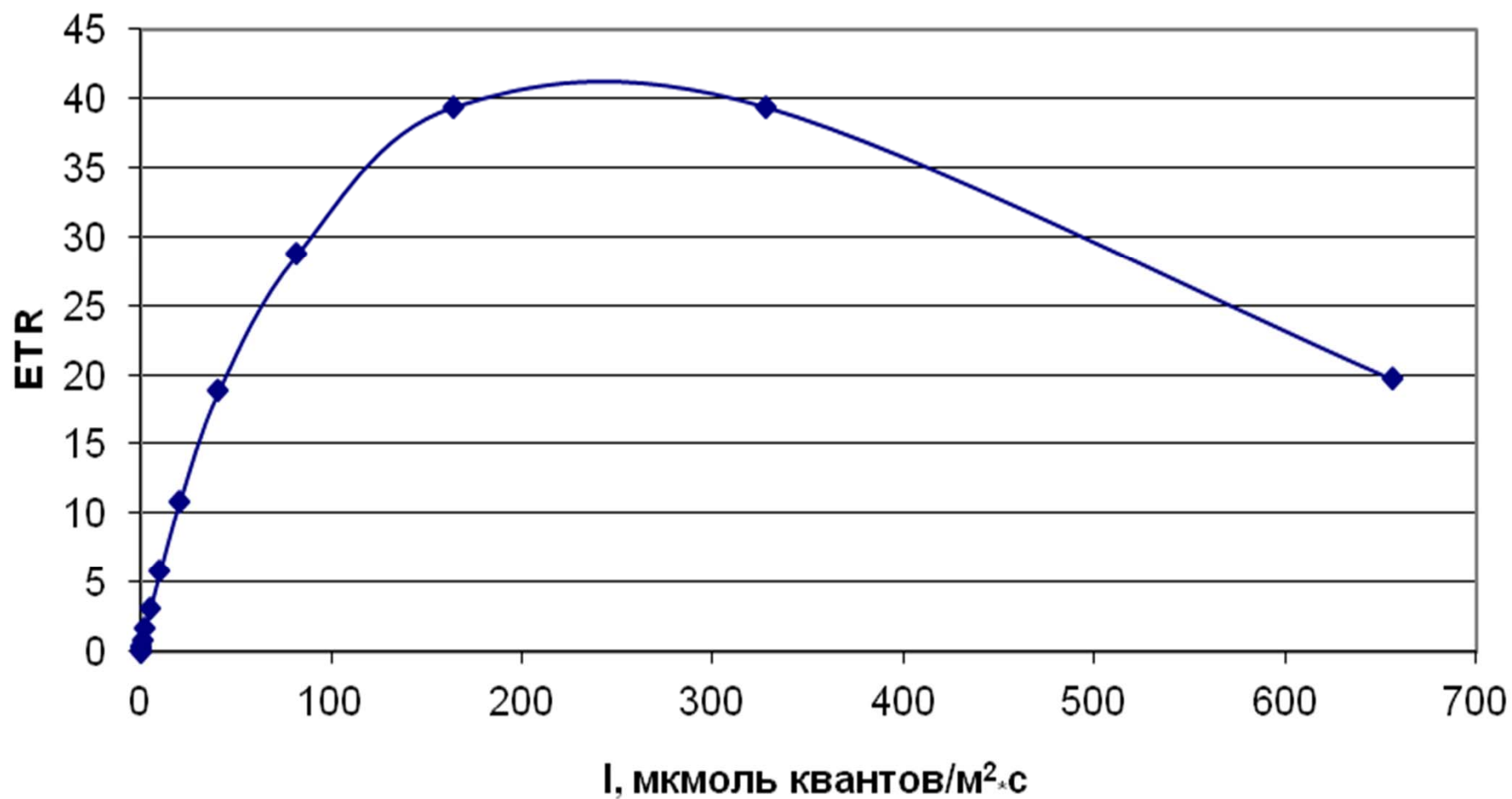






Изменение интенсивности света в культиваторе

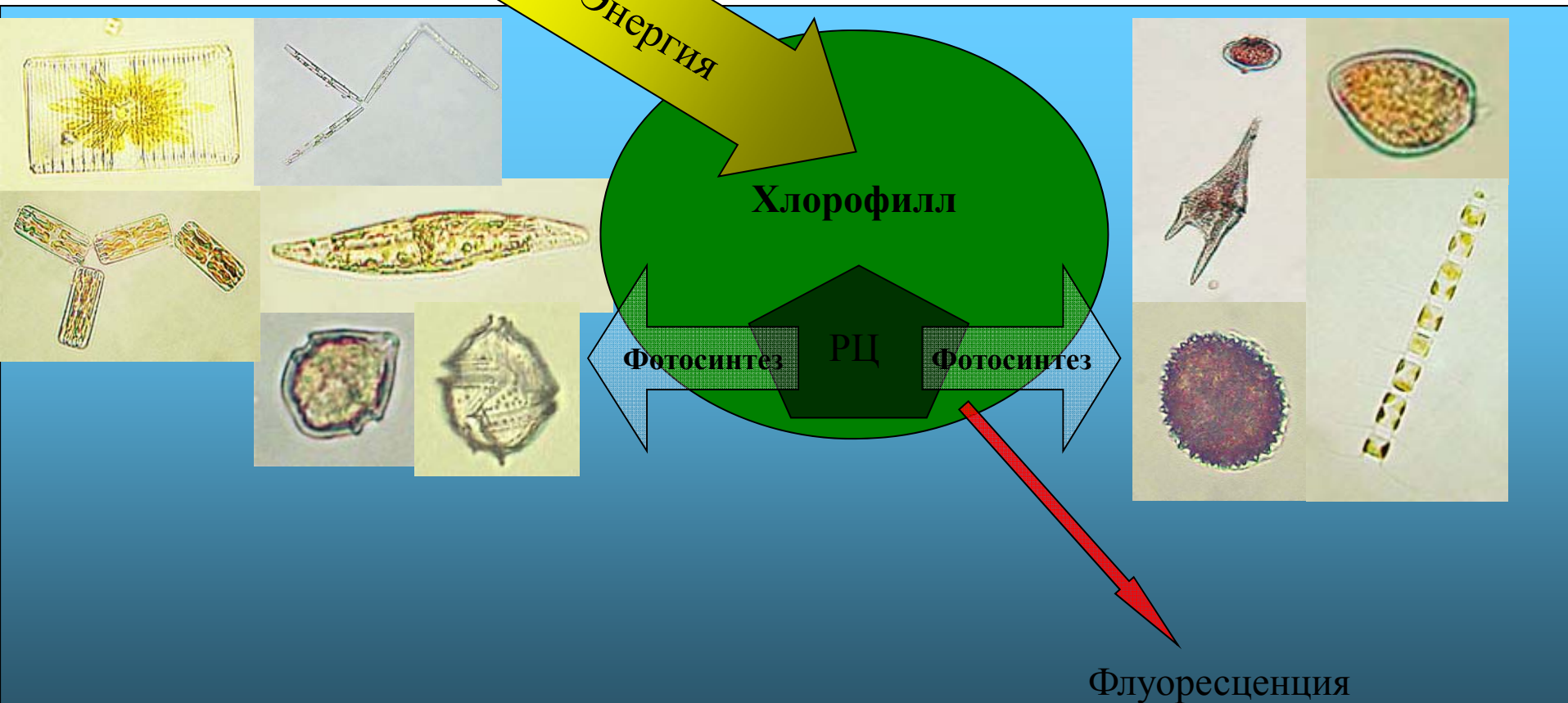
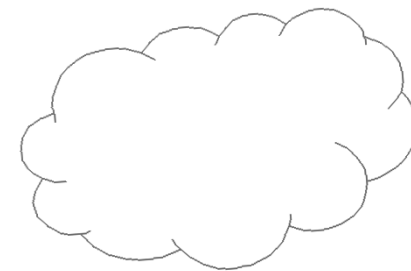
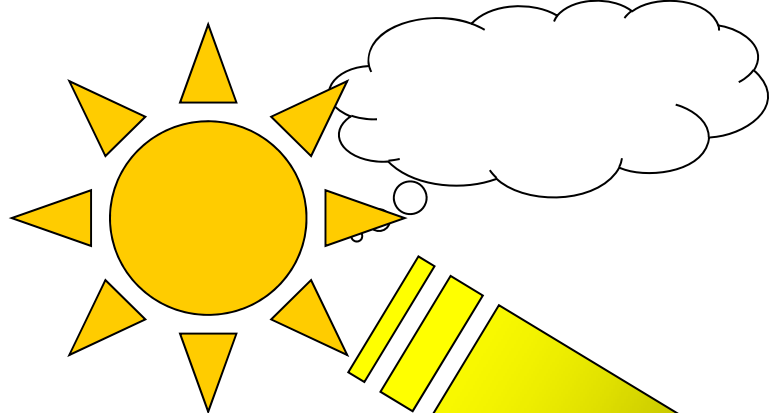
Зависимость потока электронов, идущих на процессы фотосинтеза (ETR), от интенсивности поглощенного света.



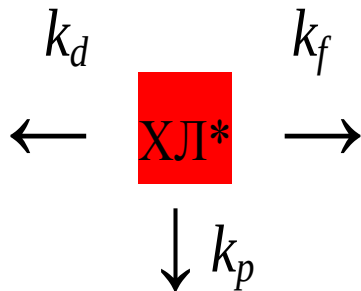


Кольцевые реакторы для культивирования *Nannochloropsis* sp.

На ближнем плане - 50см кольцевые реакторы; на дальнем плане – 91см кольцевые реакторы (Zittelli et al., 2002).



Процесс энергии возбуждения ХЛ* идет тремя путями:
 в тепло с константой k_d ,
 во флуоресценцию с константой k_f ,
 на фотохимический перенос электрона с константой k_p .

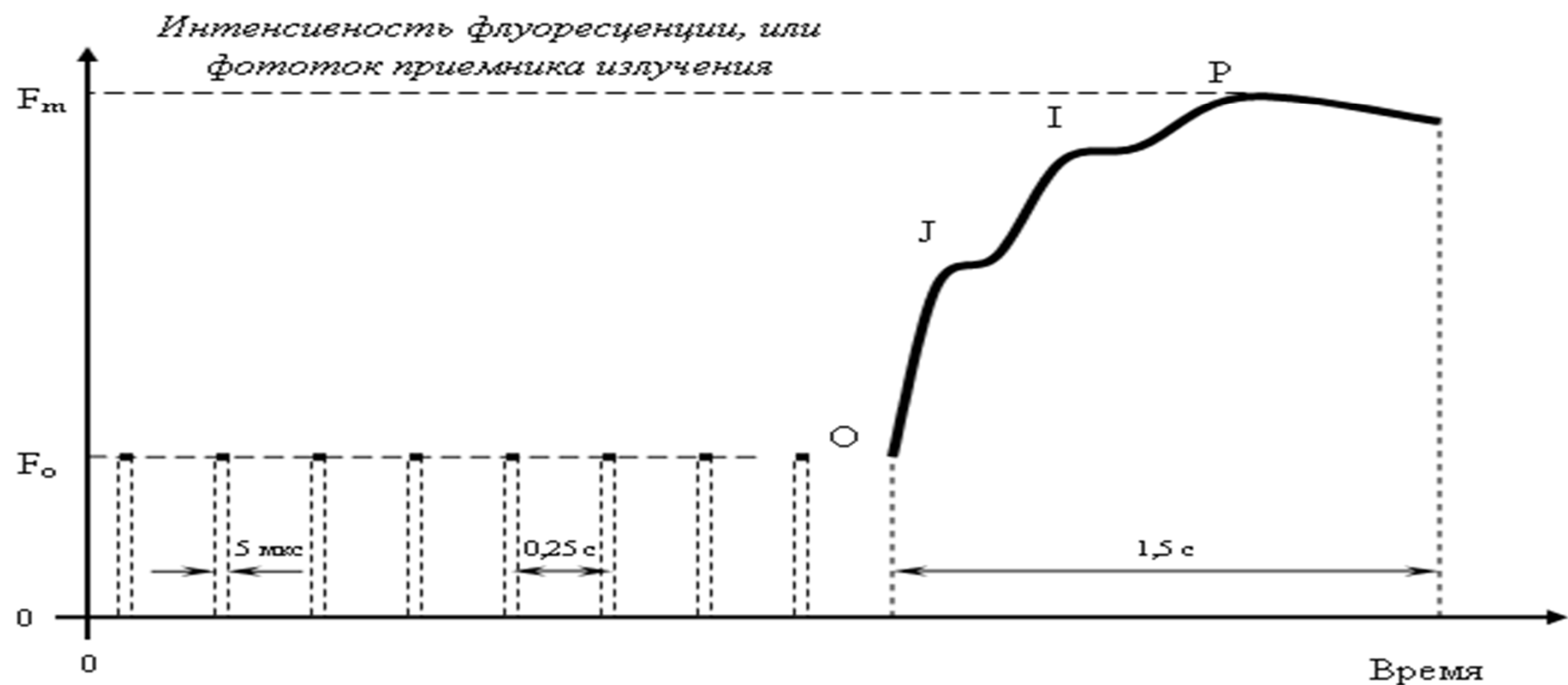
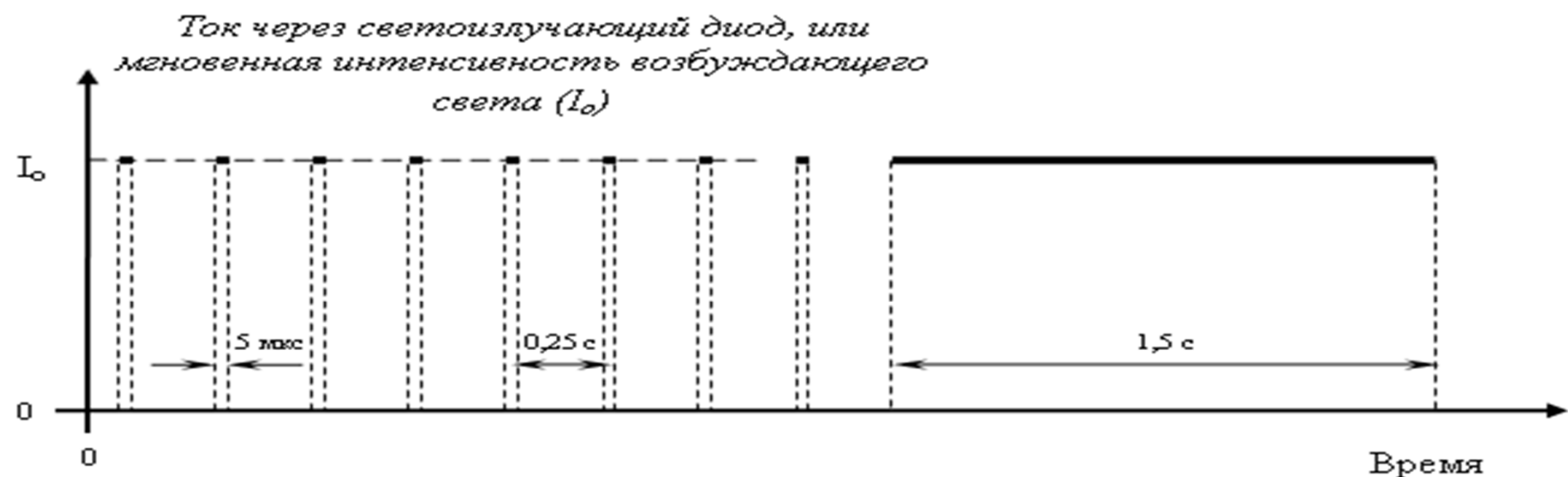


Квантовый выход η и время жизни τ флуоресценции хлорофилла ФСА:

$$\eta = \frac{k_f}{k_f + k_d + k_p} \quad \tau = \frac{1}{k_f + k_d + k_p}$$

Если перенос электрона от возбужденного состояния ХЛ на

Qa⁻ невозможен и $k_p=0$, то $\eta_m = \frac{k_f}{k_f + k_d}$



Vietnam

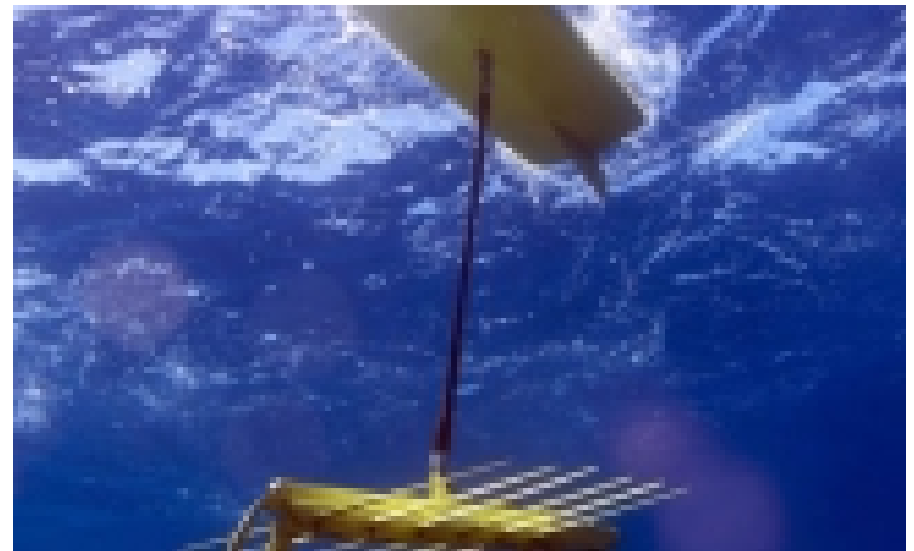
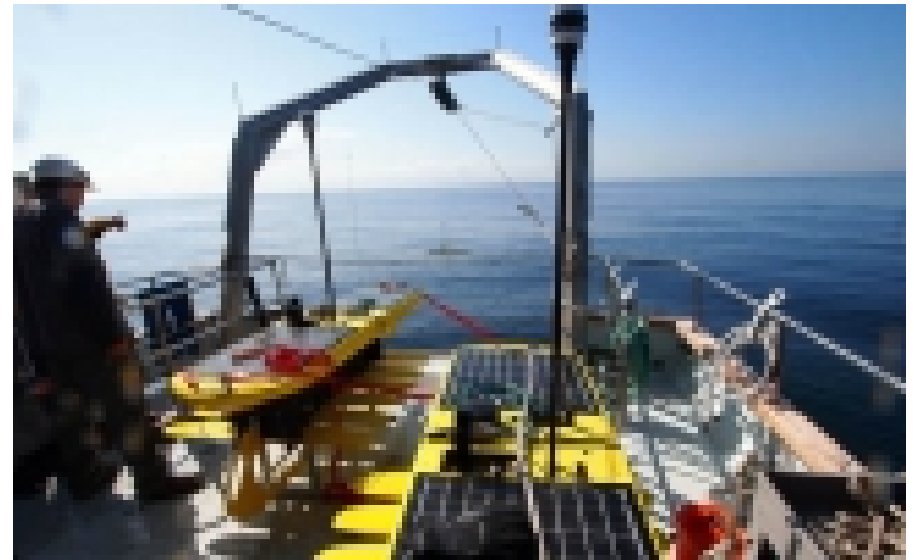
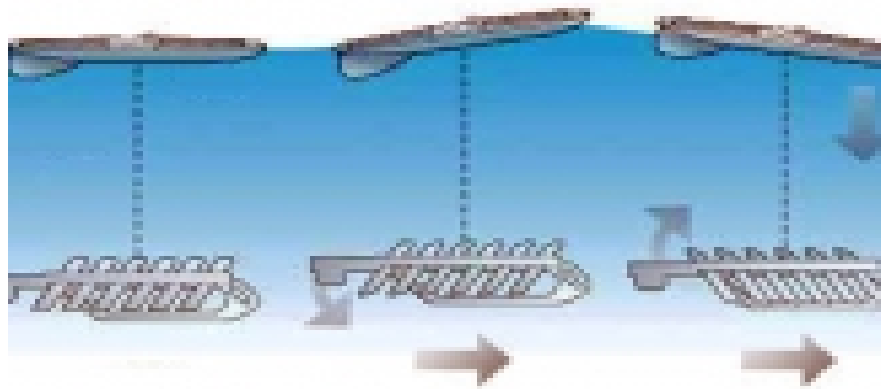




Автономный робот (Wave Glider) в Тихом океане.

Робот оборудован флуориметром фирмы Turner Designs для регистрации флуоресценции хлорофилла фитопланктона.





СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

