

Фоторецепторы

лекция

Свет – важный адаптационный стимул, и живые организмы приспособливают свой метаболизм к условиям освещенности в среде обитания, воспринимая световые сигналы и реагируя на них изменением своих физиологических функций. Такое детектирование световых стимулов осуществляется специализированными регуляторными фоторецепторами, которые конвертируют физический сигнал в биохимические сигнальные каскады. Сенсорами фотонов у фоторецепторов служат молекулы хромофоров, фотохимические реакции которых вызывают функциональную активацию рецепторных белков.

Фоторецепторы содержат также регуляторные домены, обладающие ферментативными, ДНК-связывающими и другими функциями, и составляют модульные системы, переключаемые светом. В последнее время наблюдается прогресс в раскрытии молекулярных механизмов действия таких систем. Они основаны на индуцированных фотореакциями хромофоров изменениях доменных структур, сопровождаемых сигнальными каскадами. Полученная информация важна не только для понимания принципов функционирования фотосенсорных белков, но и для создания на их основе фотопереключаемых ферментов и систем светоиндуцибельной экспрессии генов, которые применяются в оптогенетике.

У растений с наиболее развитой системой рецепции света, ответственной за реализацию разнообразных фоторегуляторных процессов, функционирует несколько типов фоторецепторов, спектральная чувствительность которых позволяет контролировать все области солнечного оптического спектра. К ним относятся фитохромы – сенсоры красного (К)/дальнего красного (ДК) света (600–750 нм), криптохромы и фототропины – рецепторы УФА/синего света (320–500 нм), а также белок UVR8 – сенсор фотонов в УФВ области (290–320 нм) [2]. Эта система регуляторных фоторецепторов позволяет растениям отслеживать изменения локальной освещенности и реагировать на флуктуации многих параметров света, таких как интенсивность, спектральный состав, направление распространения и длительность световых периодов.

Получены новые данные для ответа на фундаментальный вопрос: как маленькие молекулы хромофоров могут индуцировать аллостерические изменения в окружающем белке и как эти изменения передаются к регуляторным доменам/белкам. Для прояснения этого вопроса исследователи применяют комбинацию спектроскопической техники, кристаллографический анализ фоторецепторных белков в сочетании с генетикой и биохимией. Анализ данных раскрывает механизмы, посредством которых фотохимические реакции хромофоров инициируют конформационные изменения белка и структурные основы распространения этих изменений к регуляторным доменам или взаимодействующим сигнальным белкам.

Регуляторные фоторецепторы

Сенсоры К/ДК света (600–800 нм) ФИТОХРОМЫ
хромофоры – линейные тетрапирролы (билины)
фитохромобилин (растения, водоросли), биливердин
(бактерии, грибы)

Сенсоры УФА/синего света (320–500 нм)
КРИПТОХРОМЫ (растения, водоросли, животные, грибы,
бактерии)

фотосенсорный домен PHR (photolyase homology region)
хромофор – FAD

ФОТОТРОПИНЫ (растения)

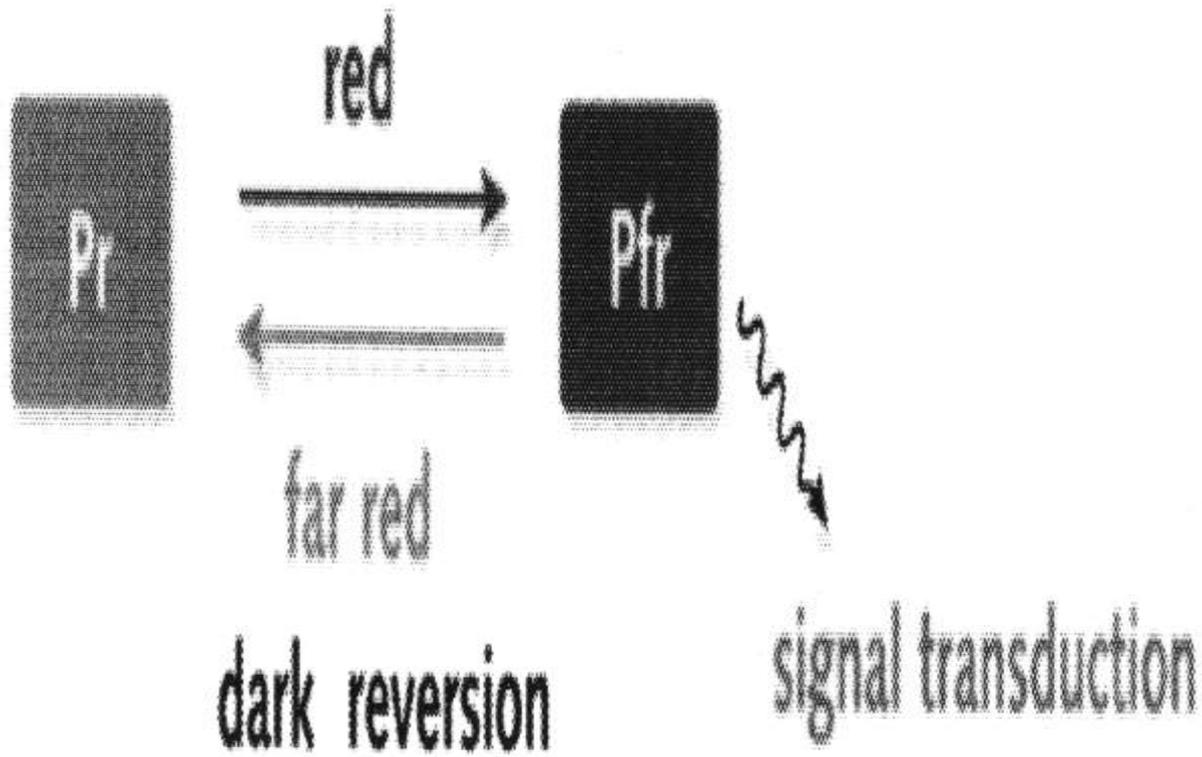
фотосенсорный домен LOV (light, oxygen, voltage)
хромофор – FMN

ДРУГИЕ LOV-ДОМЕННЫЕ ФОТОСЕНСОРЫ (грибы, бактерии)
хромофоры – FAD, FMN

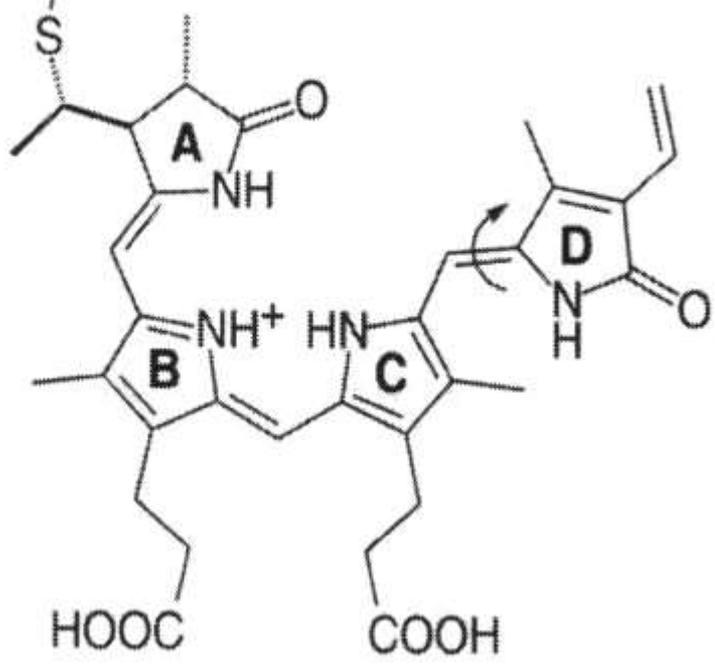
Фотосенсоры BLUF (Blue Light sensing Using FAD) (бактерии)

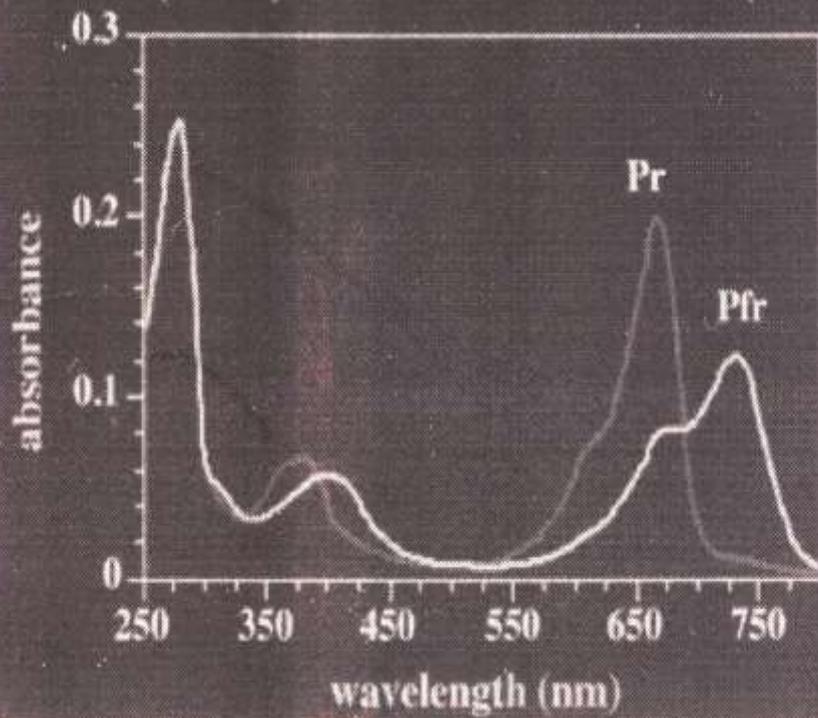
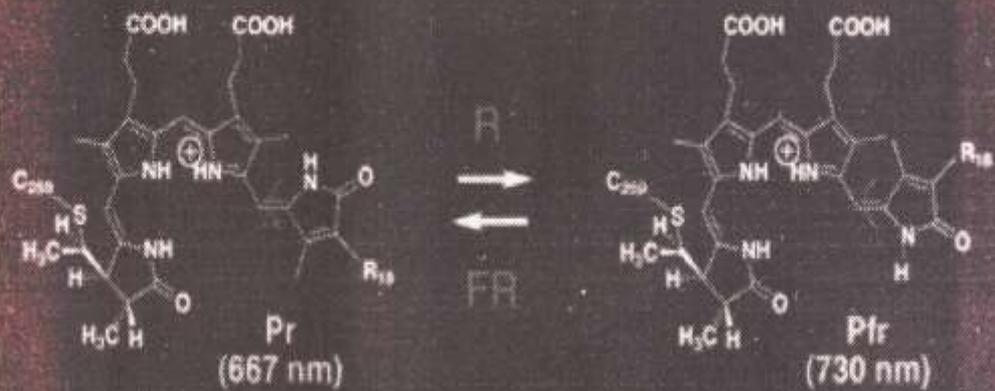
Сенсор УФВ света (290–320 нм) UVR8 (растения)

акцепторы УФВ фотонов – триптофаны (без простетического
хромофора).

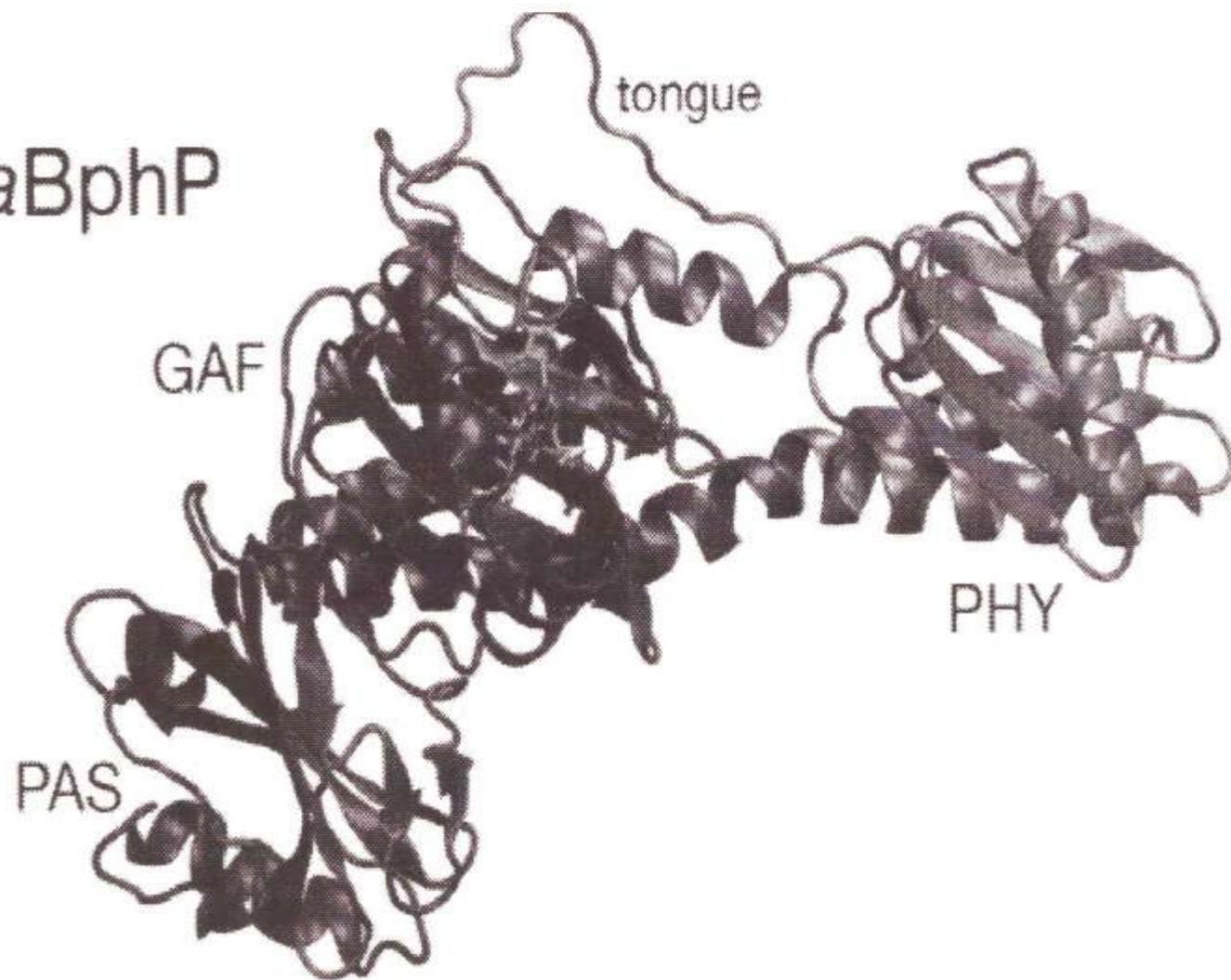


Protein—Cys₃₂₁—Protein





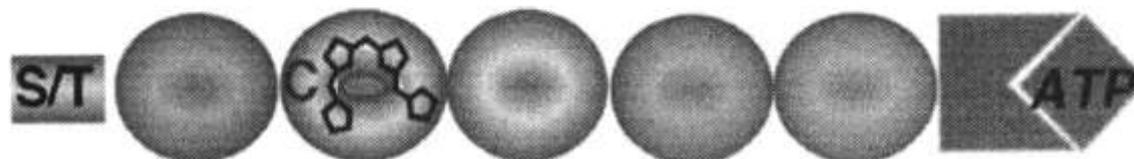
PaBphP



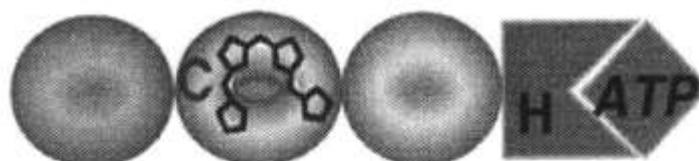
photosensory core regulatory

P1 P2PAS P3GAF P4PHY PAS1 PAS2 HKRD

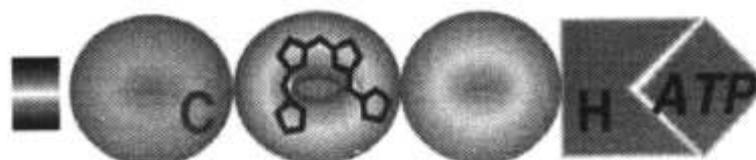
Phy



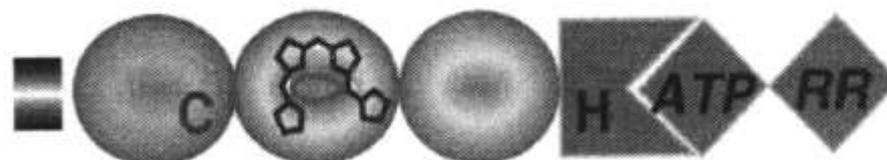
Cph1



BphP

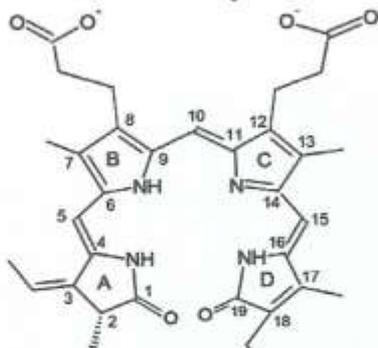


Fph

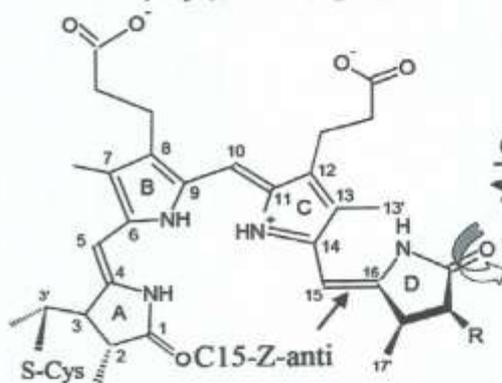


Конформация билинового хромофора в растворе

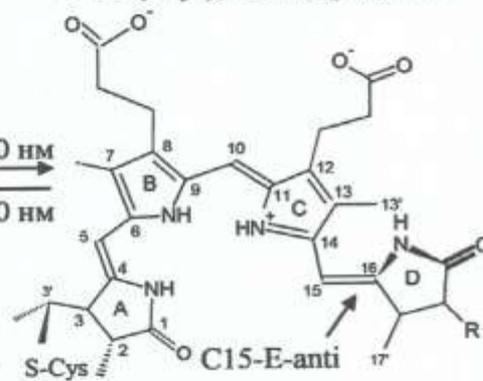
C15-Z-syn



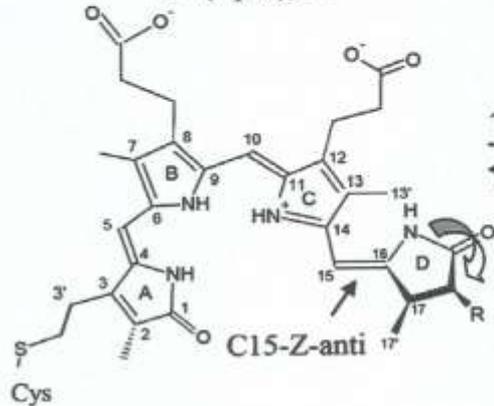
РФВ (Phys), PCB (Cphs), Pr



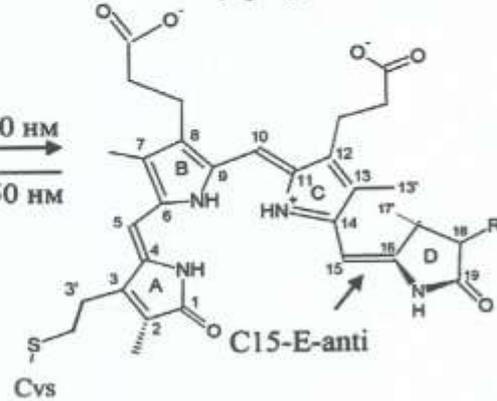
РФВ (Phys), PCB (Cphs), Pfr

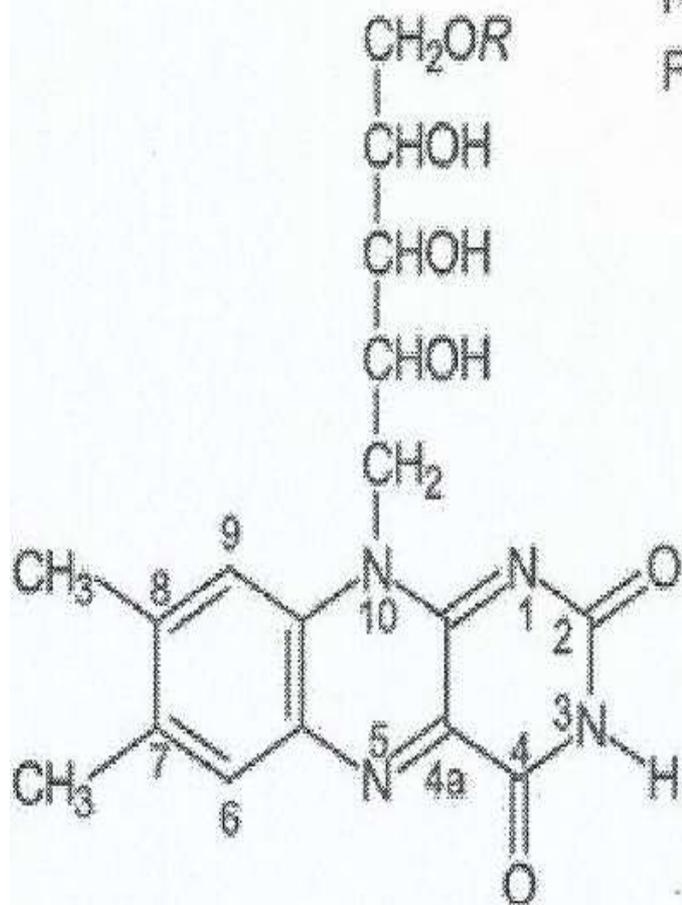


BV(Bphs), Pr



BV(Bphs), Pfr

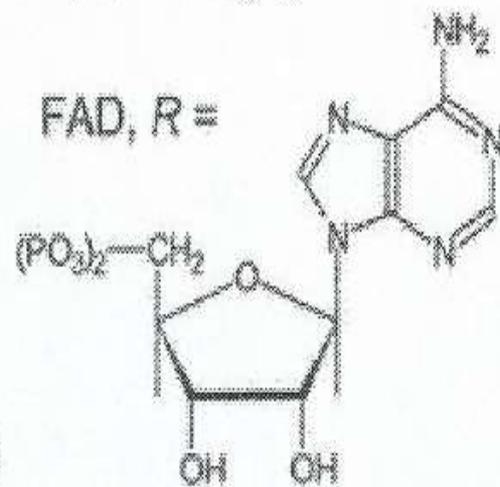


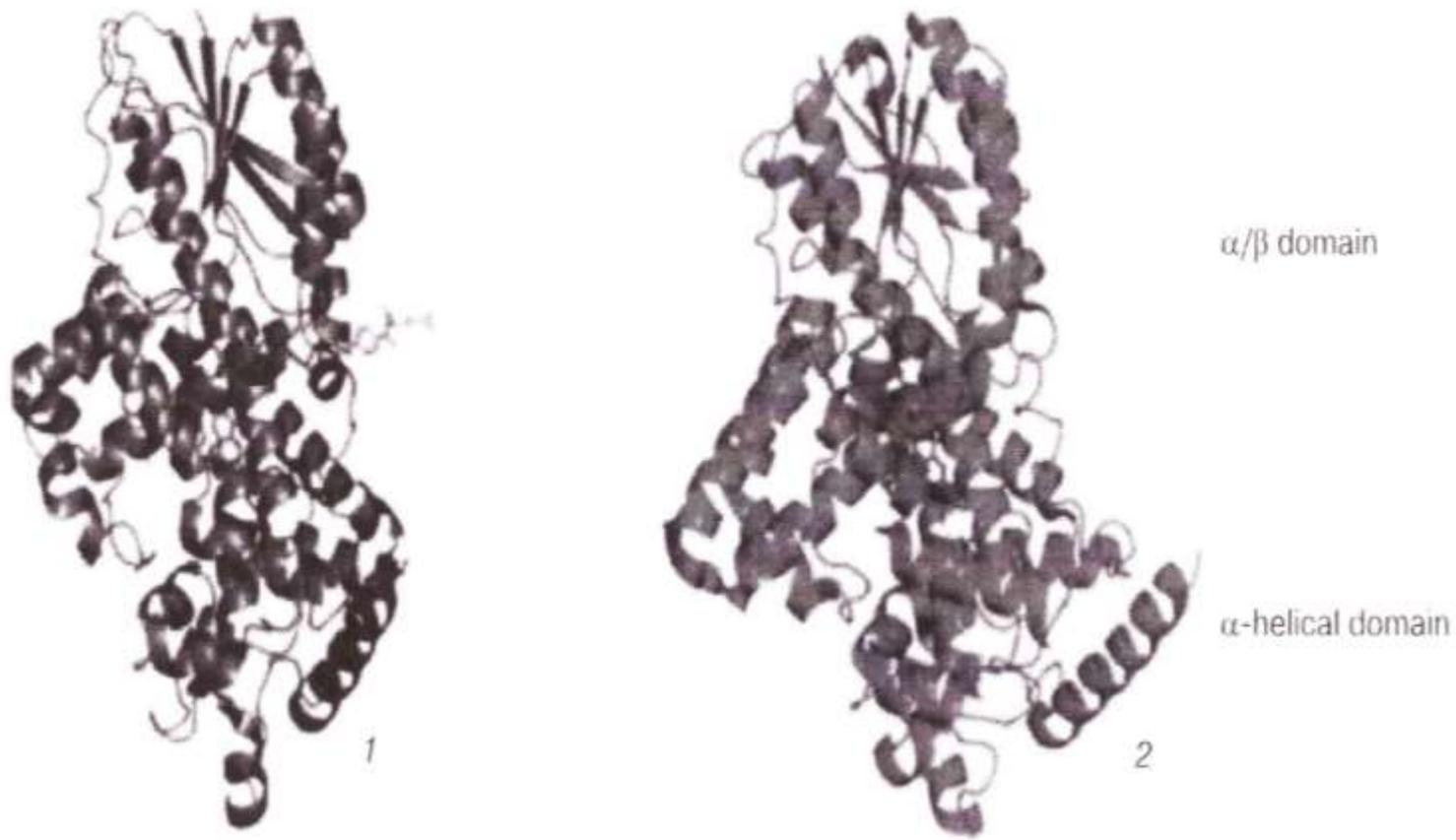


RB, $R = \text{H}$

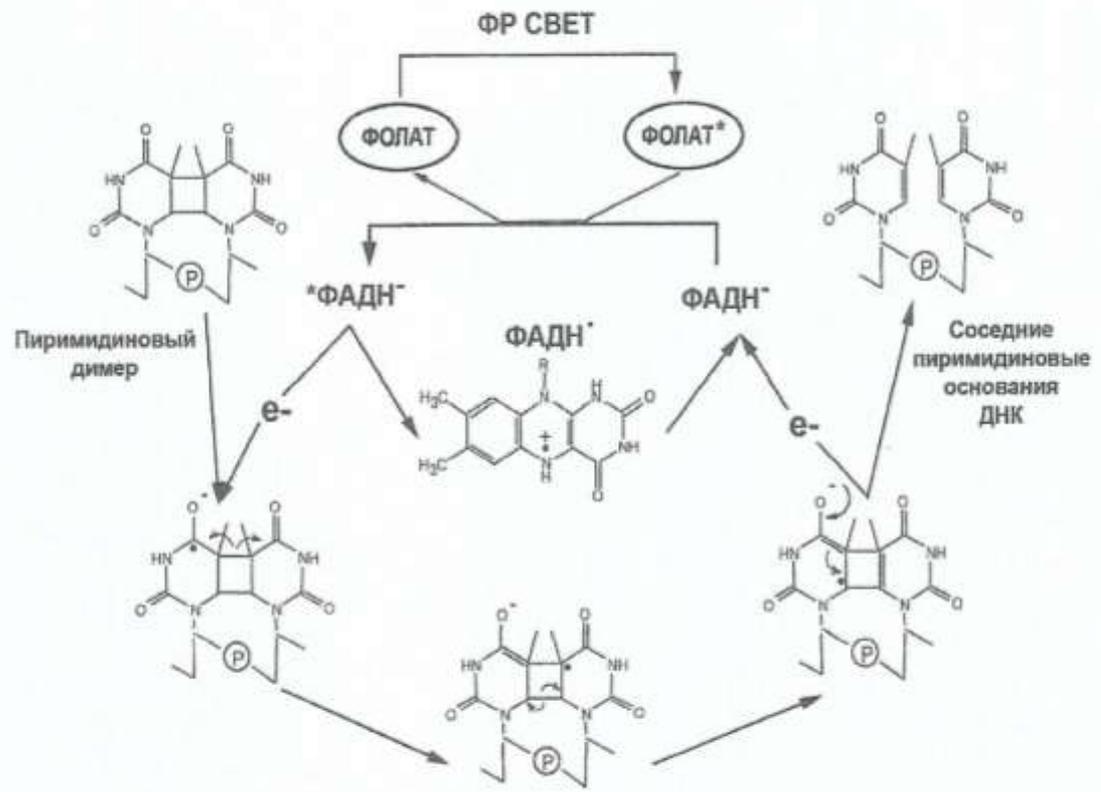
FMN, $R = \text{PO}_3\text{H}_2$

FAD, $R =$

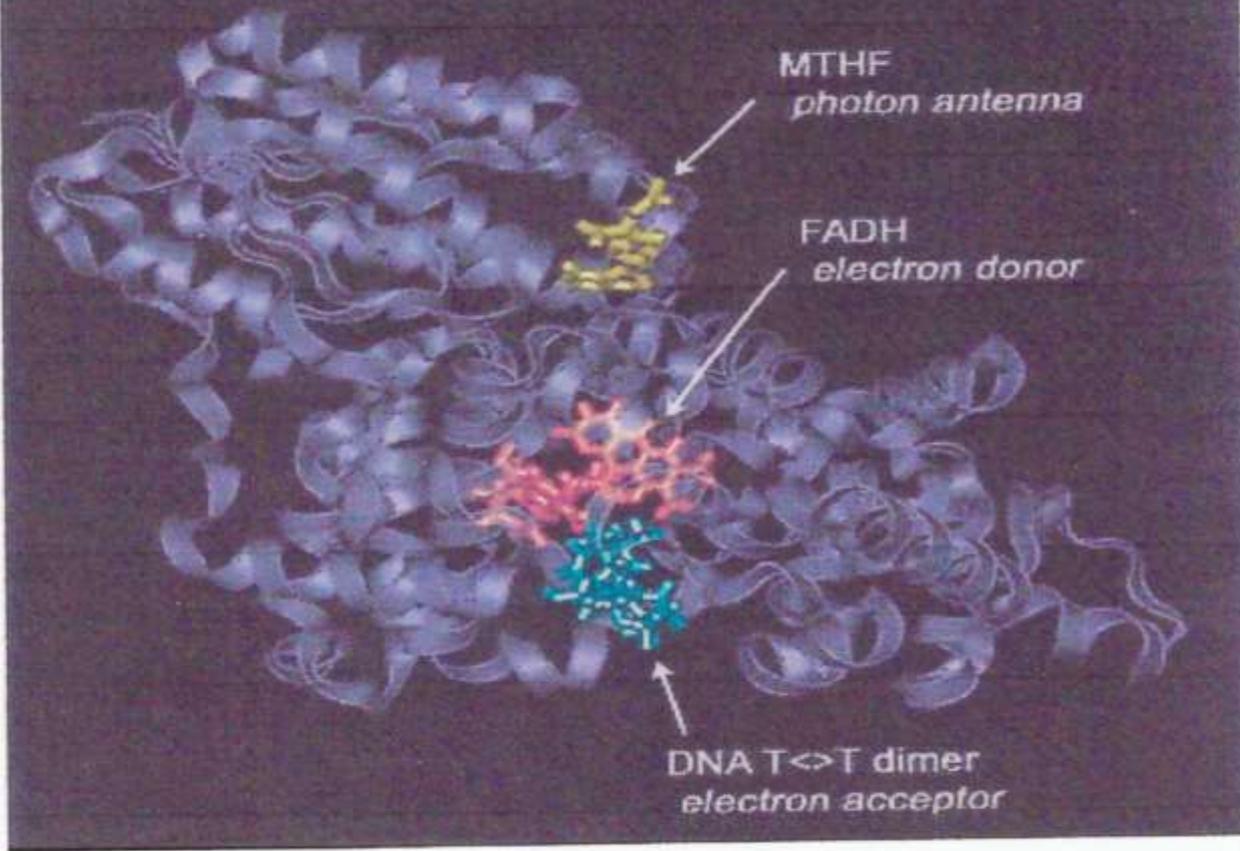


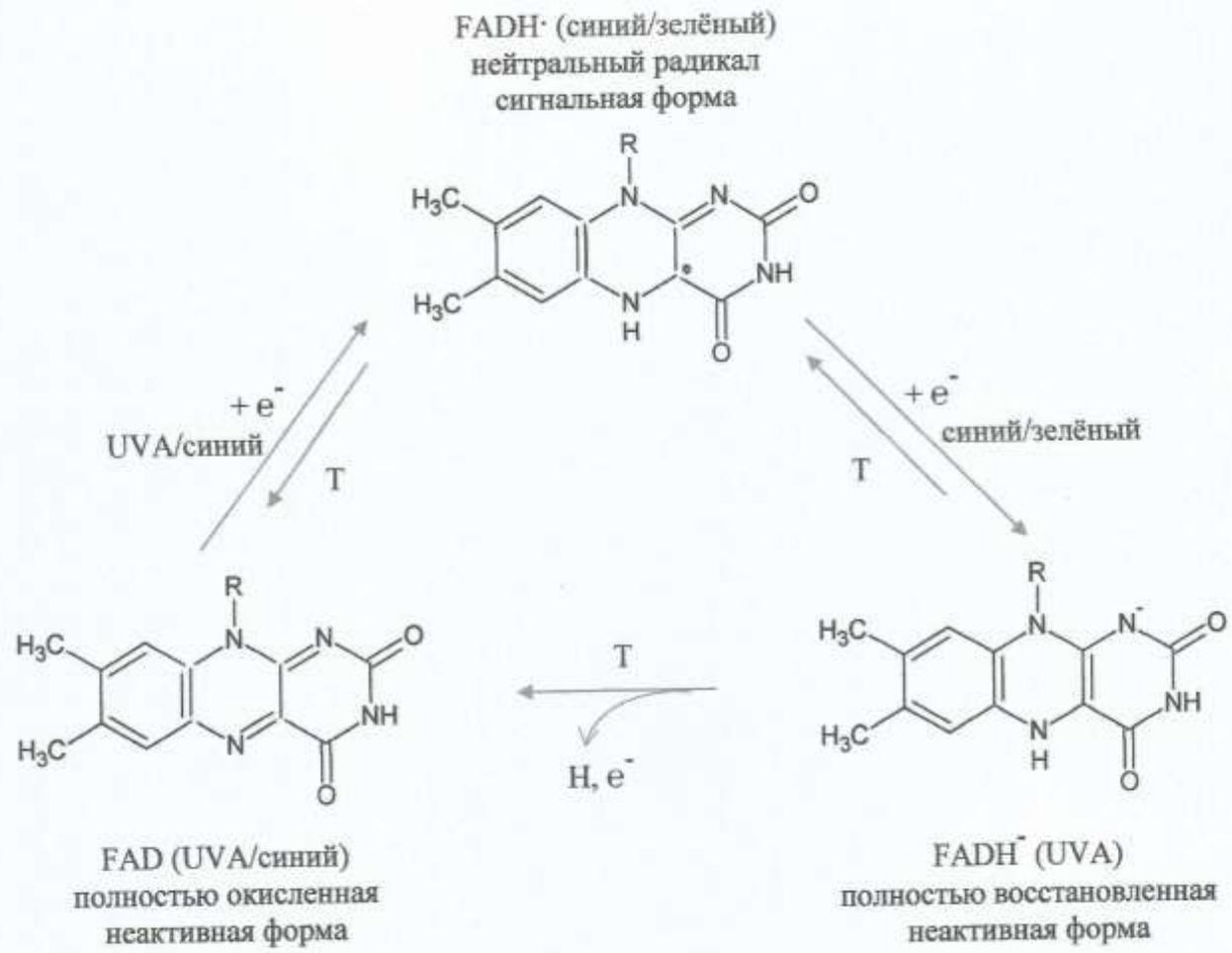


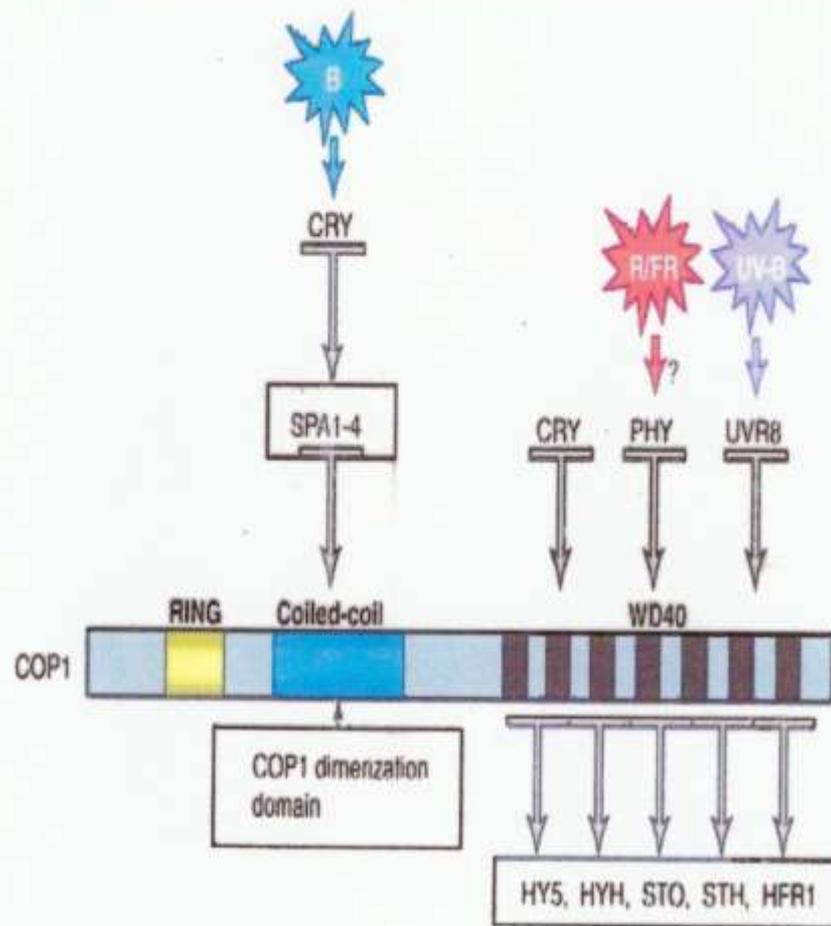
Структуры РНР-доменов ДНК-фотолиазы(1) и криптохрома (2)



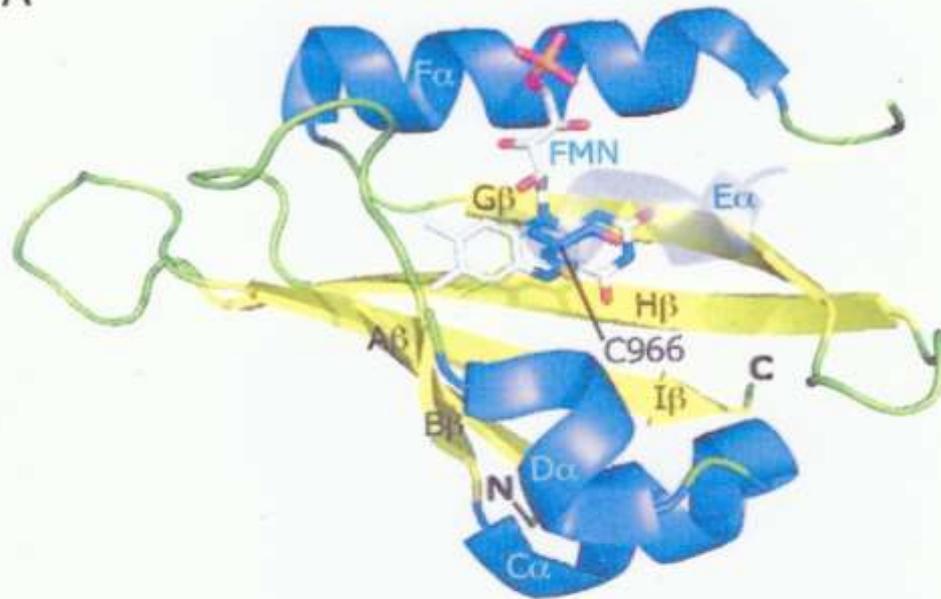
DNA Photolyase from *E. coli*



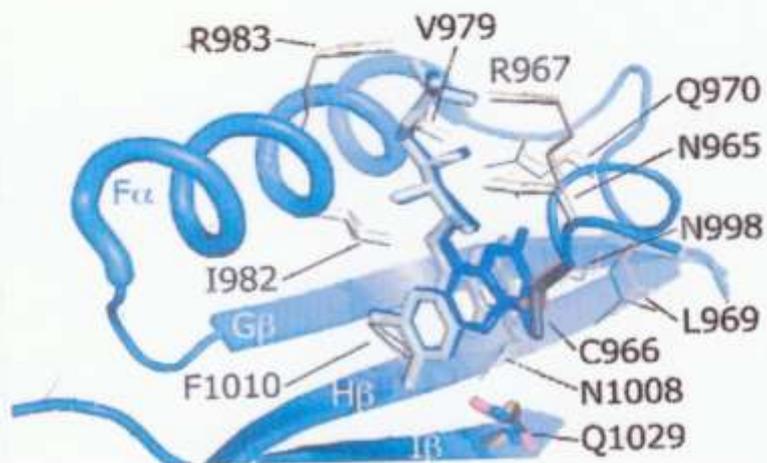




A



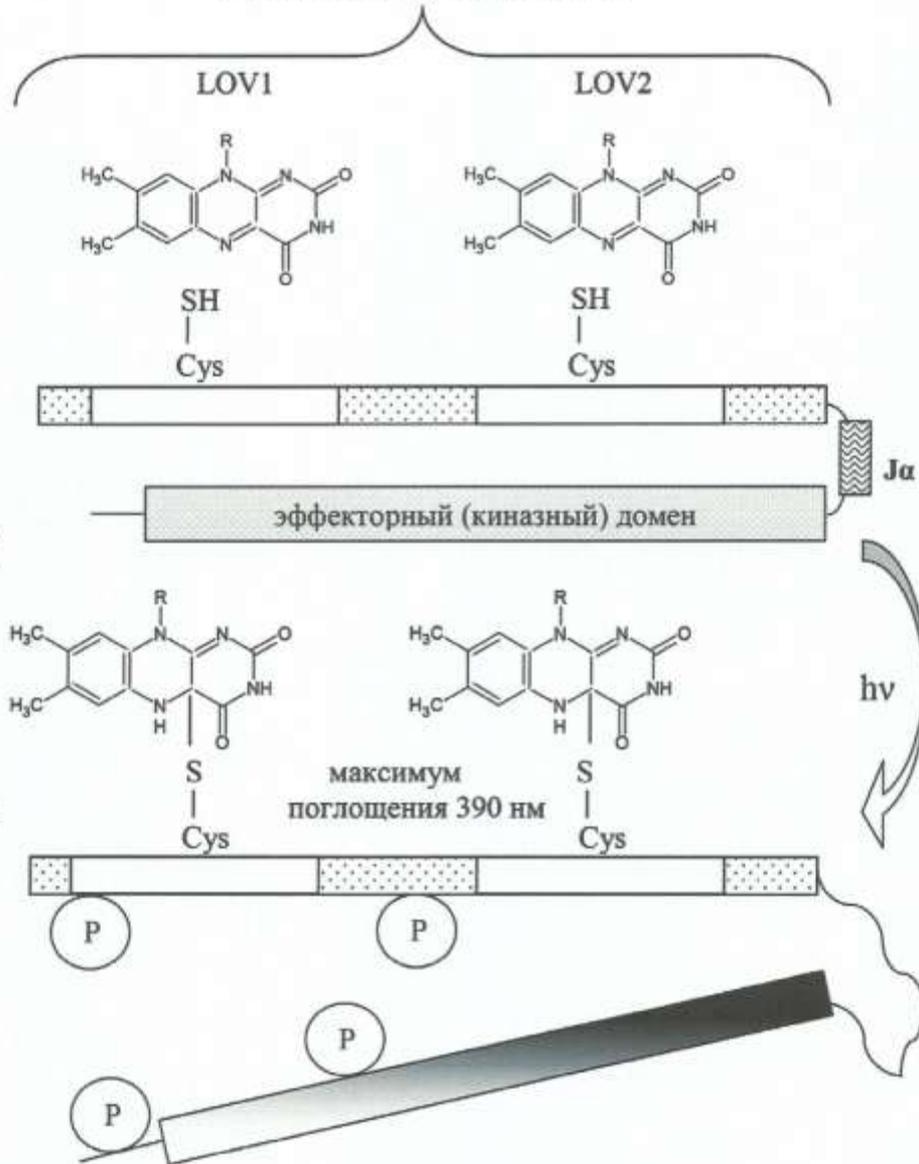
B

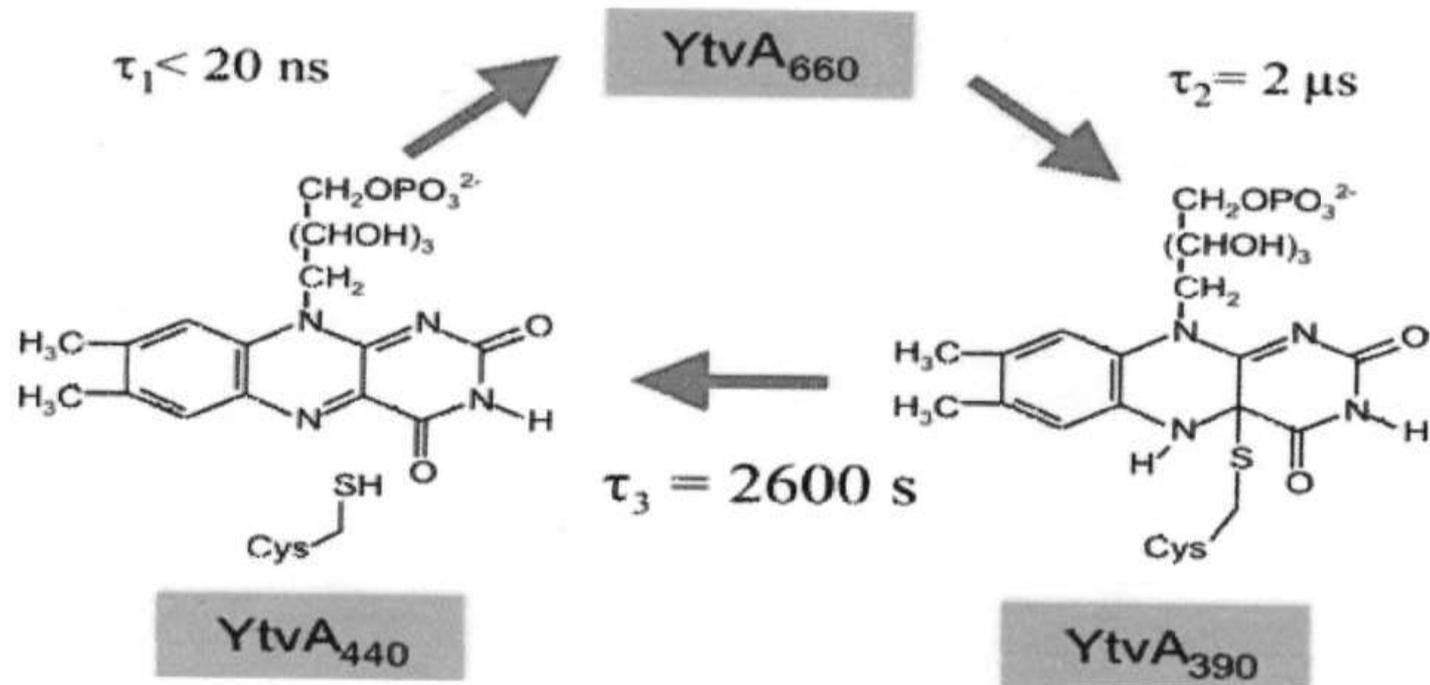


C



фотосенсорный модуль
максимум поглощения 447 нм





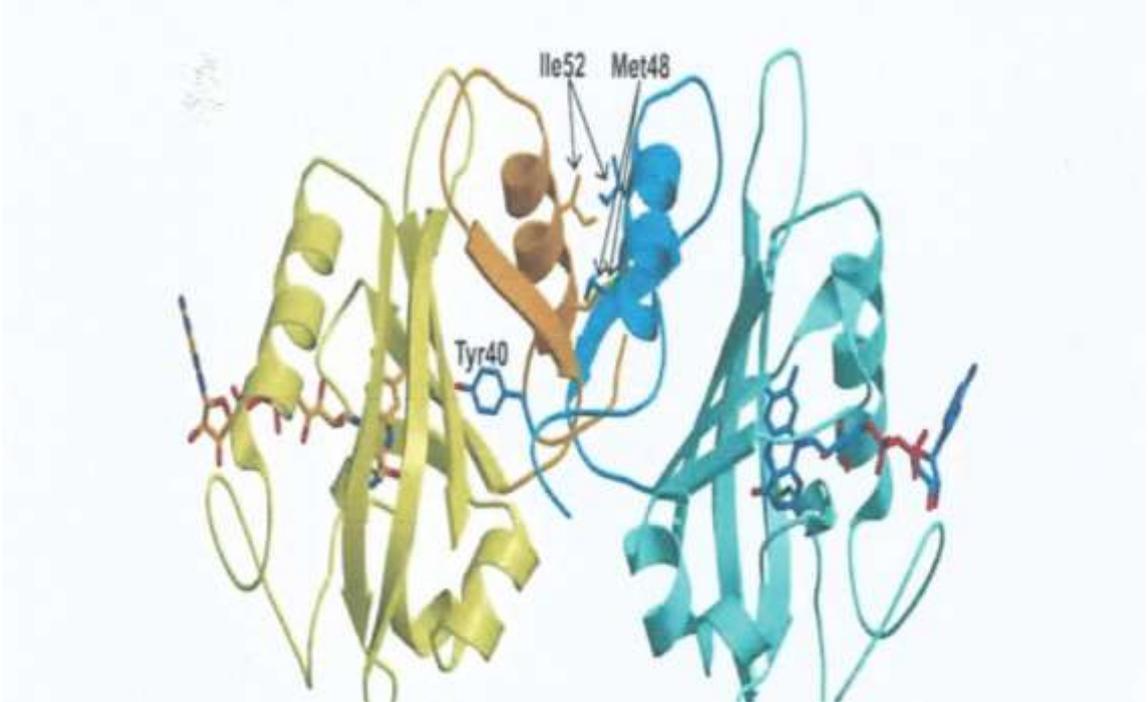
White Collar-1 (WC-1) and White Collar-2 (WC-2)

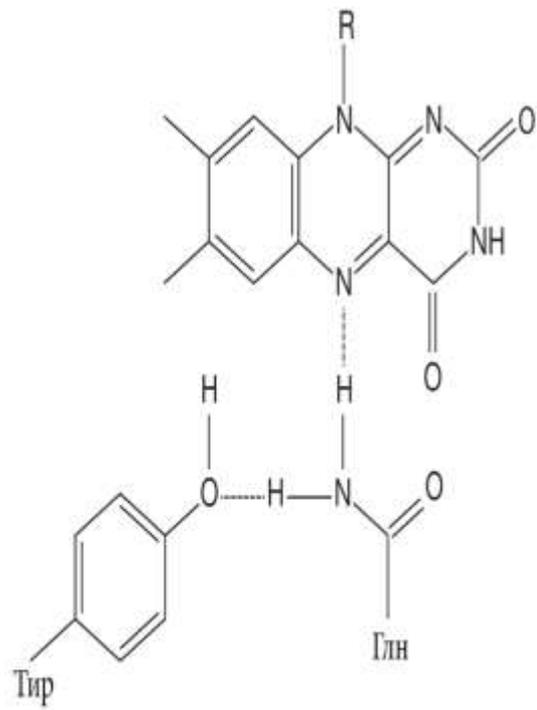
WC-2



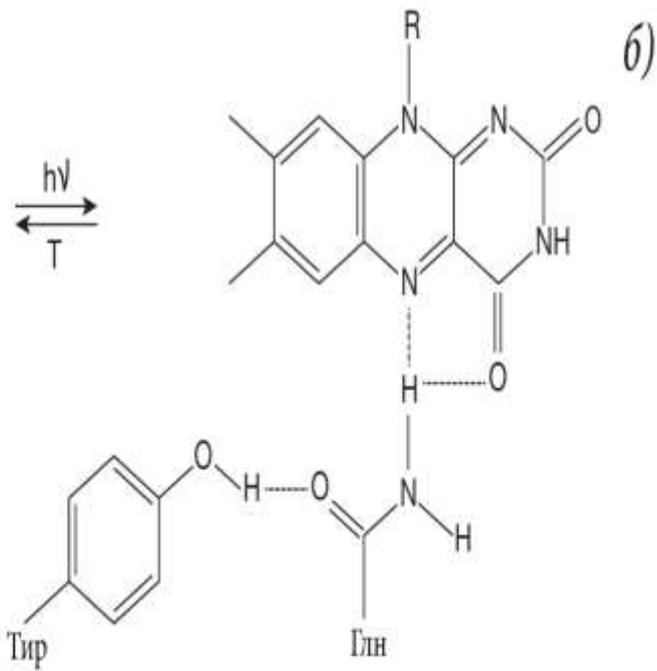
WC-1



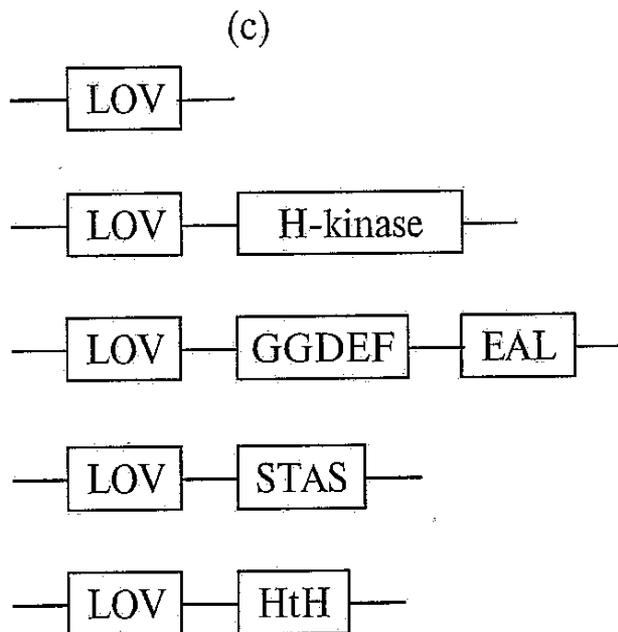
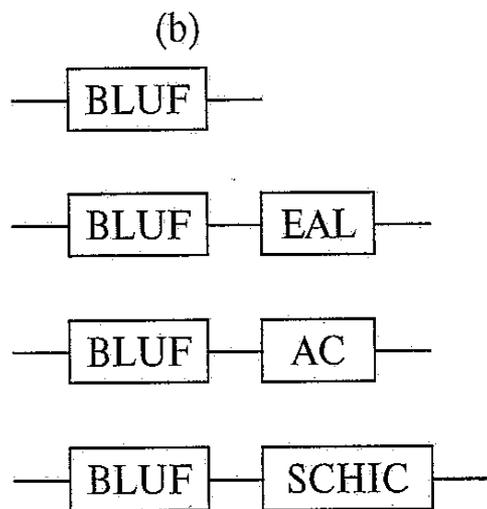
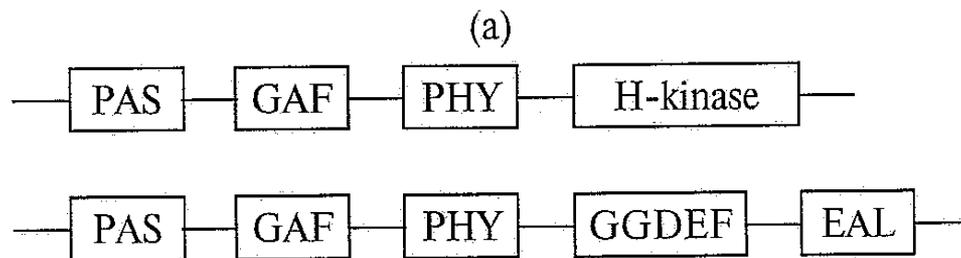


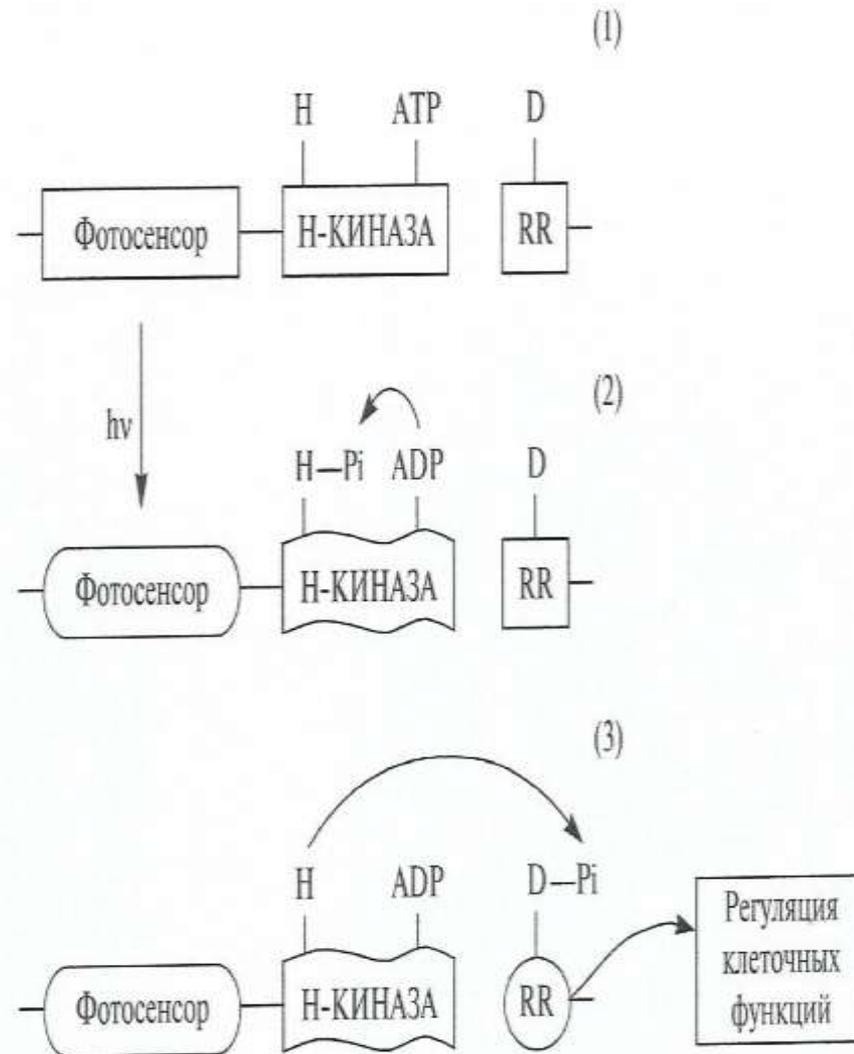


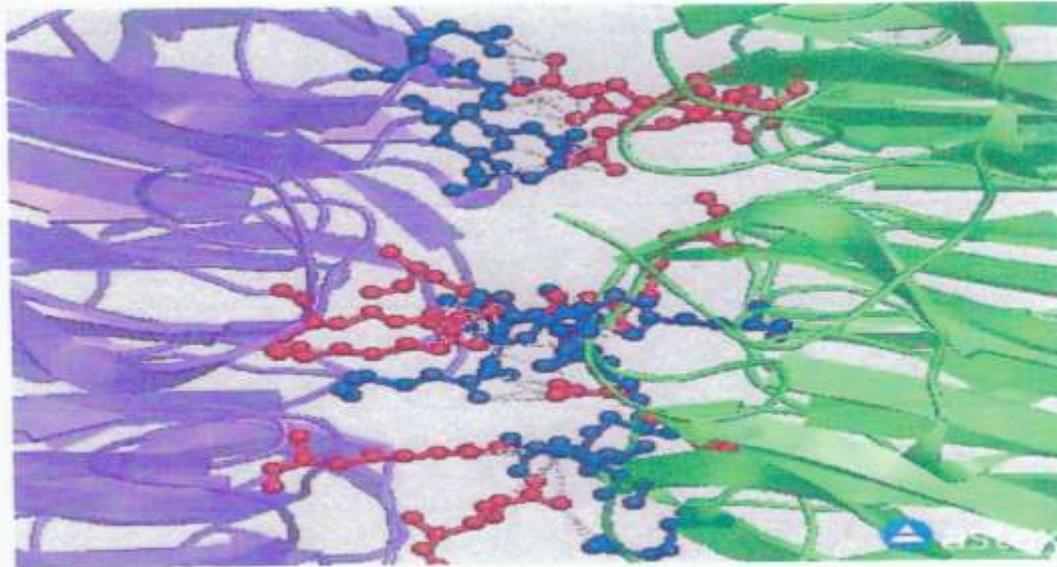
FAD



FADred







View 4. **UVR8 dimer interface.** Salt bridges between acids as balls-and-sticks in the two monomers (purple and green).

