

## АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В МОДЕЛИ ФОТОСИСТЕМЫ 2

Хрущев С.С., Плюснина Т.Ю., Ризниченко Г.Ю., Рубин А.Б.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Биологический факультет, каф. биофизики, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, [styx@biophys.msu.ru](mailto:styx@biophys.msu.ru)

Основной задачей исследования было составление детальной модели функционирования фотосистемы 2 в диапазоне времен от микросекунд до миллисекунд и приведения ее путем математической редукции в компактную форму, удобную для анализа большого массива экспериментальных сигналов индукции флуоресценции, а также использование полученной модели для оценки действия различных факторов стресса на протекание реакций в фотосистеме 2.

Разработан программный модуль, позволяющий осуществлять анализ состояний многокомпонентных ферментных комплексов, в частности, комплекса фотосистемы 2. Исходя из описания ключевых реакций, программный модуль позволяет: а) сгенерировать граф всех возможных состояний мультиферментного комплекса, б) записать соответствующую систему линейных обыкновенных дифференциальных уравнений, в) в рамках заданных диапазонов параметров выделить уравнения, содержащие в неявном виде сингулярные возмущения – малые параметры при производных.

Состояния ФС2 отличаются степенью восстановленности переносчиков электронов, входящих в состав комплекса ФС2. Предполагая, что каждый из переносчиков может находиться в любом из состояний независимо от остальных, общее число состояний ФС2 в модели, включая состояния с подвижным переносчиком пластохиноном, составляет 384. После исключения реакций с подвижным переносчиком пластохиноном в графе состояний остается 24 вершины, соответствующие состояниям ФС2 с различной степенью окисленности или восстановленности отдельных компонент этого комплекса. В соответствии с полученным графом была построена математическая модель, представляющая собой систему линейных обыкновенных дифференциальных уравнений для ФС2 под действием диурона (24 уравнения). Параметрами модели являются константы скоростей переходов между состояниями ФС2.

Все переменные модели на «быстрые» и «медленные». В соответствии с разделением переменных модели на «быстрые» и «медленные» проведена редукция системы дифференциальных уравнений. Полученная система линейных алгебраических уравнений была разрешена относительно «быстрых» переменных, в результате чего окончательная система дифференциальных уравнений для «медленных» переменных содержит только три уравнения, которые и определяют динамику сигнала индукции флуоресценции. Анализ решения показал, что некоторые из констант скоростей элементарных реакций по отдельности влияют на динамику системы, в то же время другие константы скоростей входят в решение в виде определенных комбинаций. Эти комбинации, соответствующие нескольким взаимосвязанным стадиям функционирования комплекса ФС2, мы использовали для идентификации модели по экспериментальным данным.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №22-11-00009.