

# НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ СО СПОНТАННЫМ ОБУЧЕНИЕМ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ХАРАКТЕРНЫХ ВРЕМЁН ПЕРВИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ФОТОСИНТЕЗА ПО ПАРАМЕТРАМ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА<sup>1</sup>

Хрущев С.С., Плюснина Т.Ю., Ризниченко Г.Ю.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Биологический факультет, каф. биофизики, Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, styx@biophys.msu.ru

В настоящее время широкое распространение получили флуорометрические методы определения функционального состояния фотосинтезирующих организмов, основанные на явлении индукции флуоресценции и позволяющие получать информацию о состоянии отдельных растений, частей растения, отдельных клеток и даже отдельных хлоропластов как в лабораторных, так и в полевых условиях. Одним из наиболее распространённых экспериментальных протоколов является так называемый JP-тест. Опытные образцы в течение нескольких минут адаптируют к темноте, после чего дают продолжительную (около одной секунды) вспышку света, во время которой регистрируют кинетику изменения интенсивности флуоресценции. Наблюдаемая кинетика имеет сложный многофазный характер, у высших растений и большинства микроводорослей (за исключением цианобактерий) интенсивность флуоресценции за это время достигает максимума и начинает постепенно снижаться. Параметры (характерные времена и амплитуды) фаз кривой индукции хлорофилла определяются скоростью протекания первичных процессов фотосинтеза и позволяют получить информацию об отдельных стадиях переноса электрона в электрон-транспортной цепи (ЭТЦ) хлоропласта. Чрезвычайно высокая сложность организации ЭТЦ существенно затрудняет непосредственную идентификацию кинетических параметров переноса электрона по флуорометрическим данным, так как с математической точки зрения эта задача является существенно некорректной, и однозначная идентификация параметров оказывается невозможной. Одним из подходов, позволяющим справиться с этой некорректностью, является совместный анализ большого множества индукционных кривых, полученных в различных условиях для разных организмов. Это позволяет выделить такие наборы параметров, в которых их значения имеют непрерывное распределение для всего множества экспериментальных данных, и отбросить случайные комбинации параметров. Для реализации этого подхода нами была создана нейросетевая модель со спонтанным обучением, использующая в качестве входных данных экспериментально измеренные кривые индукции флуоресценции. Выходы модели интерпретируются как характерные времена отдельных фаз индукционной кривой, соответствующие им амплитуды оцениваются по методу наименьших квадратов. Модель была апробирована на данных, полученных на листьях клёна *Acer platanoides*, выросших в условиях различной освещённости на разных ярусах дерева; в дальнейшем предполагается провести обучение модели на данных, полученных для различных систематических групп фотосинтезирующих организмов. Получаемые с помощью модели оценки параметров могут быть использованы для раннего определения возникновения стресса в экологическом мониторинге, агро- и биотехнологии.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 17-04-00676-а.