

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА КЛЕТКИ *CHLORELLA VULGARIS* ПОМОЩЬЮ КЛАССИФИКАТОРА «СЛУЧАЙНЫЙ ЛЕС»

Червицов Р.Н., Плюснина Т.Ю., Хрущев С.С., Тодоренко Д.А.

Биологический факультет Московского государственного университета им. М.В.
Ломоносова, Москва, 119234, Россия, roman123qwe123@gmail.com

В настоящее время актуален вопрос определения присутствия в водной среде различных токсикантов, таких как ионы тяжелых металлов, поскольку их присутствие вызывает нарушение фотосинтетических процессов и повреждение клеток водорослей, что в конечном итоге может приводить к массовой гибели фотосинтетических организмов и нарушению баланса водных экосистем. Один из методов, позволяющих определить присутствие тяжелых металлов в среде, связан с измерением кривых индукции флуоресценции хлорофилла а, характеризующих состояние фотосинтетического аппарата клеток тестовых фотосинтетических организмов и изменяющих свою форму при воздействии различных факторов стресса. Из индукционных кривых могут быть рассчитаны параметры ЛР-теста, характеризующие состояние отдельных элементов фотосинтетического аппарата. При обработке больших массивов таких данных целесообразно применять методы машинного обучения, в частности – алгоритм классификации «случайный лес».

В данной работе в качестве тестового организма использовалась зеленая водоросль *Chlorella vulgaris*. Клетки водорослей инкубировались в течение 60 часов, раз в час измерялась кривая индукции флуоресценции. Токсиканты (CdSO_4 или $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ в концентрации 20 или 50 мкМ) добавлялись на 17 часу инкубации. Далее, для данных, полученных в интервале от 17 до 60 часов культивирования, были построены классификаторы по алгоритму случайного леса, где в качестве признаков для классификации использовались параметры ЛР-теста. Классификатор для определения наличия или отсутствия токсиканта имеет точность 92% при определении контрольных данных и 94% при определении данных для проб с токсикантом. Классификатор для определения вида токсиканта (кадмий или хром) определяет контрольные данные также с точностью 92%; точность определения проб с кадмием составляет 73%, а проб с хромом – 89%. Показано также, что на точность классификации влияет интенсивность измерительного света: при снижении интенсивности возбуждающего света для измерения индукционных кривых снижается интенсивность флуоресценции, что ведет к снижению точности классификации, поскольку различия между данными для контрольных проб и проб с токсикантами становятся менее выраженными (значения точности приведены для наибольшей интенсивности измерительного света). Наиболее значимым для классификации из параметров ЛР-теста является параметр F_v/F_m – квантовый выход первичной фотохимии, характеризующий эффективность работы фотосистемы II. Таким образом, существуют перспективы применения данного метода для оценки состояния водной среды в естественных местообитаниях.

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