

**ПРИМЕНЕНИЕ РАМ-ФЛУОРИМЕТРИИ ДЛЯ АНАЛИЗА  
ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПЫРЕЯ, РАСТУЩЕГО В  
ПРИСУТСТВИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ**

**Перчиц Н.В., Шпагина Я.Н.,**

**научные руководители: проф., д-р биол. наук Заворуев В.В., проф., д-р биол.  
наук Заворуева Е.Н.,**

*Сибирский федеральный университет*

РАМ-флуориметры – это измерительные оптические приборы, действие которых основано на принципе пульс-амплитудной модуляции (Pulse Amplitude Modulation). Данные флуориметры стали общепринятым мировым стандартом в научных и прикладных исследованиях процессов фотосинтеза. Эти приборы, производства немецкой компании Heinz Walz GmbH, внесли существенный вклад в изучение фотосинтетических процессов на фотосинтезирующих объектах различного систематического положения [1].

Флуориметр JUNIOR-PAM (рис. 1) является прибором начального уровня, который позволяет осуществлять широкий спектр экспериментальных исследований. Его основными особенностями являются простота использования. Флуориметр JUNIOR-PAM получает электропитание от компьютера через кабель типа USB. Все оптические и электронные компоненты прибора размещены внутри компактного базового блока (размеры 11,5×6,5×3,0 см). Получение сигнала от образца происходит с помощью оптоволоконного кабеля диаметром 1,5 мм и длиной 0,4 м. В связи с этим у исследователя имеется возможность проводить измерения в сложных полевых условиях.



Рису

нок 1. Внешний вид JUNIOR-PAM флуориметра

В этой работе представлены результаты изучения влияния тяжелых металлов, в том числе марганца, на пырей ползучий – траву, являющуюся кормом для пастбищных животных. Актуальность такой работы продиктована тем, что кемеровское ЧЕКСУ намерено построить в Шуваемском районе (Красноярский край) завод по производству ферросплавов. Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ неизбежно приведут к

загрязнению почвы. В условиях техногенного загрязнения тяжелыми металлами экологический фактор формирования элементного состава растений становится ведущим [2]. Пырей ползучий накапливает металлы в листья и корневой системе [3, 4]. Это может вызывать нарушение биосинтеза пигментов в листьях травы и приводить к структурным изменениям в фотосинтетическом аппарате растений.

#### Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлись листья пырея ползучего (*Elytrigia repens*). Растения выращивали в лабораторных условиях при освещении 5000 люкс лампами OSRAM L36W/765.

Флуоресцентные параметры получали с помощью прибора JUNIOR-PAM в соответствии с инструкцией, прилагаемой к прибору и рекомендациями работы [5]. Для каждого листа проводили три замера: в нижней, средней и верхней части.

Действие тяжелых металлов изучалось на примере кобальта, цинка, меди, а так же марганца. Для этого готовились соответствующие растворы, в которых концентрация ионов металлов составляла 10 ПДК для почв. Изготовленными растворами обильно поливалась почва, на которой росла трава.

#### Результаты и их обсуждение

На протяжении четырех дней после внесения в почву металлов проводились измерения флуоресцентных параметров листьев пырея. Некоторые результаты представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Изменение скорости транспорта электронов (ЕТК,  $\mu\text{моль}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ) в тилакоидах хлоропластов пырея в зависимости от времени воздействия ионов тяжелых металлов в концентрации 10 ПДК<sub>почва</sub>

	1 ч	24 ч	48 ч	72 ч	96 ч
Контроль	14,4±1,7	14,8±1,7	16,1±4,4	20,4±2,0	15,9±1,8
Кобальт	13,3±0,6	19,5±1,7	18,3±4,3	18,3±1,3	17,8±4,3
Марганец	13,6±3,0	19,9±1,8	12,8±6,9	11,6±7,9	4,8±4,4
Цинк	16,0±7,2	25,0±1,6	23,0±4,5	23,4±3,0	24,6±2,3
Медь	20,3±5,6	27,7±3,0	22,2±3,0	23,3±3,9	31,7±4,8

Таблица 2. Изменение доли световой энергии, используемой комплексами ФС II в процессе электронного транспорта (Y(II)) в хлоропластах пырея, в зависимости от времени воздействия ионов тяжелых металлов в концентрации 10 ПДК<sub>почва</sub>

	1 ч	24 ч	48 ч	72 ч	96 ч
Контроль	0,19±0,02	0,19±0,02	0,20±0,05	0,26±0,02	0,20±0,02
Кобальт	0,17±0,01	0,24±0,02	0,23±0,05	0,23±0,02	0,22±0,05
Марганец	0,17±0,01	0,25±0,02	0,16±0,09	0,15±0,10	0,06±0,06
Цинк	0,20±0,09	0,31±0,02	0,29±0,06	0,29±0,04	0,31±0,03
Медь	0,25±0,02	0,35±0,04	0,28±0,04	0,29±0,05	0,40±0,06

Из представленных данных видно, что за период исследования ионы кобальта не повлияли на скорость транспорта электронов и квантовый выход флуоресценции - Y(II). Ионы цинка и меди вызвали увеличения потока электронов в тилакоидах хлоропластов. Эти же металлы увеличили величину Y(II).

Ингибирующее действие на фотосинтетический процесс оказали ионы марганца (табл. 1 и 2).

За четыре дня верхняя часть листьев, растущих в присутствии ионов марганца, высохла (рис. 2). Уже на третьи сутки флуоресцентные сигналы низкой интенсивности регистрировались только в средней и нижней частях листа пырея.



Рисунок 2. Фотография контрольного растения (слева) и травы, растущей в течение четырех дней в присутствии марганца (справа)

Увядание пырея обусловлено резким падением скорости потока электронов в хлоропластах (рис. 3).

Необходимо отметить, что действие ионов цинка и меди не повлияло на морфологию стеблей и листьев пырея. Опытные образцы не отличались от контрольных растений.

Из литературных данных известно, что пырей, растущий на загрязненных почвах, накапливает в листьях тяжелые металлы в концентрациях, превышающих ПДК. Естественно, что такая трава не может быть использована для корма

сельскохозяйственных животных. В случае загрязнения почвы ионами марганца ситуация усугубляется тем, что трава не будет расти.

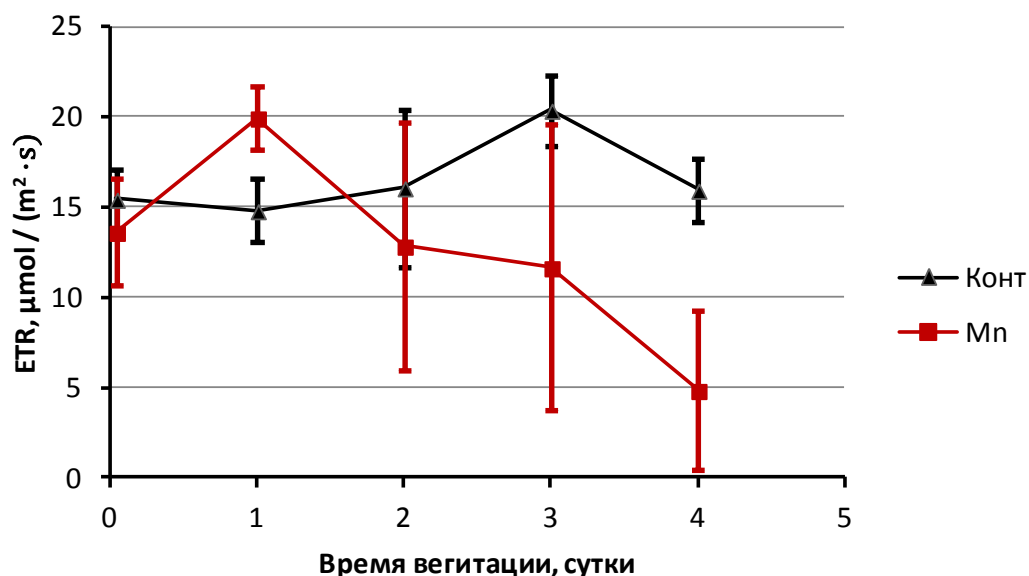


Рисунок 3. Динамика изменения скорости потока электронов в контрольных растениях и растениях, обработанных ионами марганца

Таким образом, среди исследованных тяжелых металлов наиболее негативным действием на пырей характеризуется марганец. За четыре дня воздействия этого металла происходит необратимое высыхание кончиков листьев пырея, а фотосинтетические процессы, регистрируемые РАМ флуориметром, практически прекращаются.

Данный факт свидетельствует о том, что функционирование завода ферросплавов может привести к потере пастбищных угодий и, следовательно, к утрате сельскохозяйственного потенциала Шуваевского района.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. <http://www.lab-instruments.ru/photosynthesis/pam-fluorometers/>
2. Позняк С.С. Содержание некоторых тяжелых металлов в растительности полевых и луговых агрофитоценозов в условиях техногенного загрязнения почвенного покрова // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2011. № 1. С. 123-137.
3. Васильева Т.Н., Брудастов Ю.А. Загрязнение металлами почв города Оренбурга: Общие параметры взаимосвязи с фитоаккумуляцией металлов представителями синантропной флоры // Вестник Оренбургского государственного университета. 2007. № 12. С. 83-86.
4. Валова Е.Э., Цыбенков Ю.Б. Тяжелые металлы в почвенно-растительном покрове г. Улан-Удэ // Вестник Бурятского государственного университета. 2011. № 4. С. 200-203.
5. Roháček K., Barták M. Technique of the Modulated Chlorophyll Fluorescence: Basic Concepts, Useful Parameters, and Some Applications // Photosynthetica. 1999. V. 37. P. 339-363.