

## **ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ МОНИТОРИНГ ВЕГЕТАЦИИ ТРАВЯНОГО ПОКРОВА ГОРОДА КРАСНОЯРСКА**

**Леонтьева А.П., Каус В.Н.,**

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

***Сибирский федеральный университет***

Для исследования и контроля влияния окружающей среды на фотосинтезирующие организмы используются различные флуоресцентные параметры. Один из них – отношение интенсивностей дальней красной ( $F_{734}$ ) к красной флуоресценции ( $F_{682}$ ) хлорофилла. Величина параметра  $F_{734}/F_{682}$  изменяется в результате влияния как климатических, так и антропогенных факторов [1-3]. Выявлены закономерности изменения параметра  $F_{734}/F_{682}$  листьев деревьев в зависимости от времени их вегетации [2, 4], наличия в питательной среде тяжелых металлов [5], степени загрязнения воздушной среды [6]. Установлено, что в тех районах города Красноярска, где индекс загрязнения атмосферы характеризуется как очень высокий величина параметра  $F_{734}/F_{682}$  листьев деревьев ниже, чем у тех же растений, растущих в благоприятных экологических условиях [7].

Городская растительность включает в себя не только деревья и кустарники, но и различную траву, растущую в парках, скверах, на газонах и т.п. Одна из экологических функций травяного покрова – очистка атмосферы от загрязняющих веществ. При этом поллютанты могут влиять на метаболизм растений в целом и на процессы фотосинтеза – в частности. Чтобы оценить их влияние на интенсивность дальней красной и красной флуоресценции хлорофилла, была исследована вегетационная динамика параметра  $F_{734}/F_{682}$  листьев травы, растущей в жилых районах города. Результаты работы представлены в этой статье.

### **Объекты и методы исследования**

Объектом исследования являлись листья пырея ползучего (*Elytrigia repens*). Пробы собирали в мае-ноябре 2011 года. Отбор проб осуществляли в трех районах города: Свердловском, Железнодорожном и Октябрьском (Академгородок).

Методика измерения интенсивности красной и дальней красной флуоресценции хлорофилла листьев деревьев дана в работе [8], описание флуориметра - в работе [9].

Перед регистрацией флуоресценции высечки листьев травы выдерживали в темноте в чашке Петри с влажной фильтровальной бумагой в течение 10-15 минут [10].

Фотосинтетические пигменты из листьев экстрагировали 96%-ным этанолом, концентрации пигментов определяли спектрофотометрически [11].

### **Результаты и их обсуждение**

Динамика изменения концентрации суммы хлорофиллов и параметра  $F_{734}/F_{682}$  в процессе вегетации травы, растущей в различных районах города, представлена на рисунках 1-3. На этих же рисунках показаны линии тренда, уравнения линии тренда и коэффициенты корреляции между экспериментальными данными и аппроксимирующей параболой.

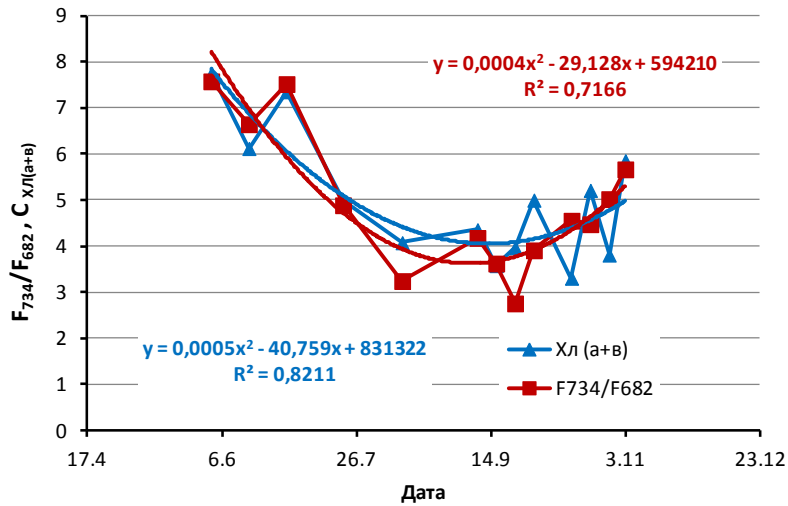


Рисунок 1. Динамика изменения концентрации суммы хлорофиллов ( $\text{мг}/\text{дм}^2$ ) и параметра  $F_{734}/F_{682}$  в листьях пихты, растущего в Октябрьском районе

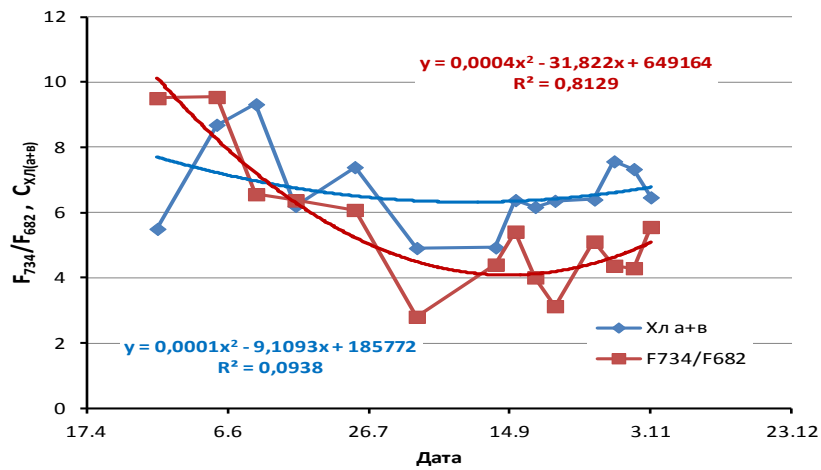


Рисунок 2. Динамика изменения концентрации суммы хлорофиллов ( $\text{мг}/\text{дм}^2$ ) и параметра  $F_{734}/F_{682}$  в листьях пихты, растущего в Свердловском районе

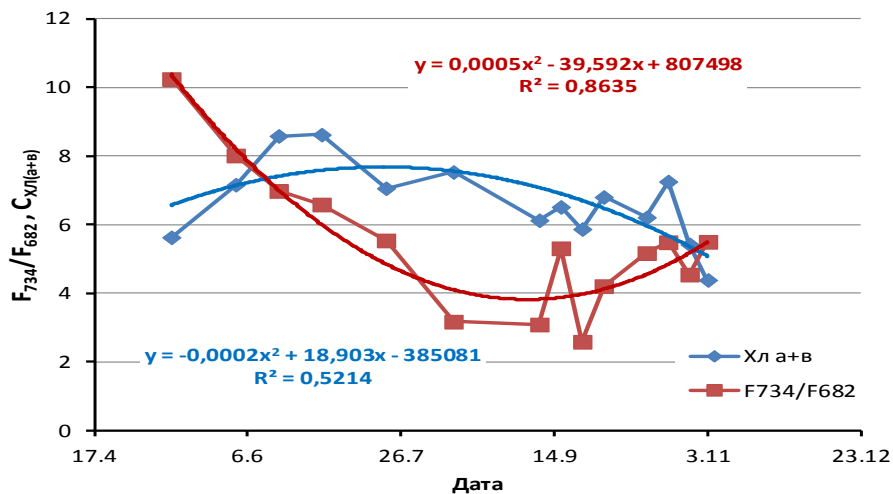


Рисунок 3. Динамика изменения концентрации суммы хлорофиллов ( $\text{мг}/\text{дм}^2$ ) и параметра  $F_{734}/F_{682}$  в листьях пихты, растущего в Железнодорожном районе

Из представленных данных видно, что вегетационный ход параметра  $F_{734}/F_{682}$  хорошо аппроксимируется параболической функцией. При этом коэффициенты корреляции составляют 0,72; 0,82; 0,86 для Октябрьского, Свердловского и Железнодорожного районов, соответственно.

Динамика изменения суммы концентрации хлорофиллов хорошо описывается квадратичным уравнением только для Октябрьского района (рис. 1). Об этом свидетельствует достаточно высокий коэффициент корреляции равный 0,82. Для Свердловского района аналогичный коэффициент очень низкий и равняется 0,09. Надо отметить, что в Железнодорожном районе ход параболы отличается от хода аналогичных парабол (рис. 3).

Некоторые исследователи придерживаются мнения, что дальняя красная флуоресценция обусловлена реабсорбцией хлорофиллом собственной красной флуоресценции [10]. Если бы это было так, то зависимости величин  $F_{734}/F_{682}$  от концентрации суммы хлорофиллов для всех районов описывались одной функцией. Однако, как следует из рисунка 4, только для пырея, растущего в Октябрьском районе, зависимость аппроксимируется линейной функцией ( $R^2=0.75$ ).

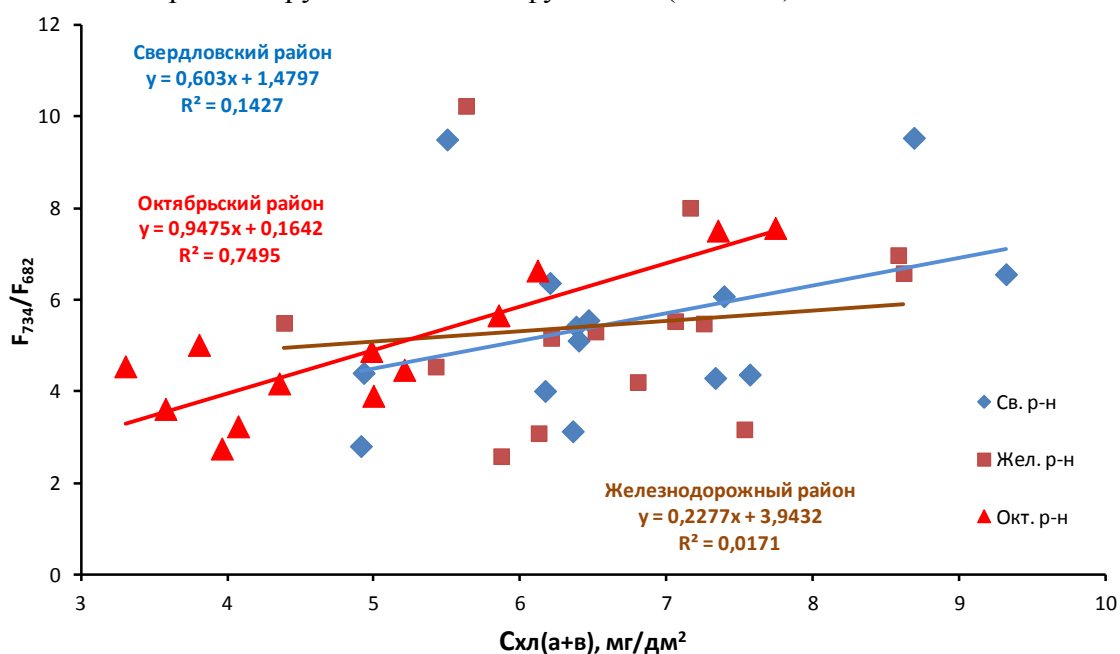


Рисунок 4. Зависимости параметра  $F_{734}/F_{682}$  от концентрации суммы хлорофиллов листьев пырея, растущего в различных районах города

Можно предположить, что отсутствие каких-либо зависимостей параметра  $F_{734}/F_{682}$  от концентрации суммы хлорофиллов листьев пырея, растущего в Железнодорожном и Свердловском районах, связано с загрязнением атмосферы.

Согласно официальным документам [12] индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) в Железнодорожном районе в 2011 году составлял 20,78. Для сравнения, ИЗА в Свердловском районе был практически таким же и равнялся 19,45. Содержание поллютантов в атмосфере различных районов города дано в таблице. Из неё видно, что явных различий в загрязнении воздуха Свердловского и Железнодорожного районов не наблюдается.

Таким образом, ход кривой концентрации хлорофиллов в листьях пырея (рис. 3), растущего в Железнодорожном районе, регулируется каким-то неизвестным фактором. Таковым может быть атмосферный поллютант, не измеряемый на постах наблюдения. В пользу этого высказывания говорит то, что в относительно чистом районе

(Академгородок) изменение концентрации хлорофиллов хорошо описывается параболической функцией.

Таблица 1. Индексы загрязнения атмосферы поллютантами в различных районах Красноярска в 2011 года

Район	Взвеш. в-ва	СО	Диокс. азота	Оксид азота	Гидро-фторид	Фор-маль.	БП
Свердловский	1,12	0,45	1,19	0,53	0,36	8,31	8,3
Железнодорожный	1,50	0,49	1,15	0,43	0,34	8,88	8,8
Октябрьский <sup>*)</sup>	0,86	0,41	0,60	0,35			

\*) Для Октябрьского района измерения выполнены на метеостанции, расположенной в районе Плодово-ягодной станции, а не на ПНЗ. Примечание: БП – бенз(а)пирен; СО – оксид углерода.

В официальных документах практически нет информации о загрязнении атмосферы г. Красноярска тяжелыми металлами. В докладе [12] сообщается лишь о том, что значения суммарного индивидуального канцерогенного риска от ингаляционного воздействия никеля (гг. Красноярск, Назарово) и свинца (г. Красноярск) классифицируются как приемлемые для населения. Из этой фразы можно заключить, что тяжелые металлы загрязняют атмосферу и почву города.

В условиях техногенного загрязнения тяжелыми металлами экологический фактор формирования элементного состава растений становится ведущим [13]. Пырей ползучий накапливает металлы в листьях и корневой системе [14, 15]. Это может вызывать нарушение биосинтеза пигментов в листьях травы и приводить к структурным изменениям в фотосинтетическом аппарате растений.

Специально проведенные эксперименты позволили нам установить, что ионы цинка и меди вызывают достоверное увеличение величины параметра  $F_{734}/F_{682}$  по сравнению с контролем (табл. 2).

Таблица 2. Величины параметра  $F_{734}/F_{682}$  листьев пырея, растущих в присутствии тяжелых металлов

Металл	$F_{734} / F_{682}$
Кобальт	$3,48 \pm 0,23$
Магний	$3,76 \pm 0,68$
Цинк	$5,11 \pm 0,82$
Медь	$4,90 \pm 0,78$
Контроль	$3,92 \pm 0,76$

Полученные результаты говорят в пользу сделанного нами предположения о влиянии тяжелых металлов на фотосинтетические процессы.

По результатам проведенных исследований сделаны следующие выводы.

- Вегетационная динамика параметра  $F_{734}/F_{682}$  практически одинакова для всех районов города, где проводились исследования. Вариация параметра  $F_{734}/F_{682}$  минимальна в Октябрьском районе (Академгородок).

- Величине параметра  $F_{734}/F_{682}$  изменяется, если растения выращиваются в присутствии ионов цинка и меди.

- Динамика изменения пигментов в листьях пырея, растущего в Железнодорожном районе, отличается от аналогичных зависимостей для растений, растущих в Свердловском и Октябрьском районах.

- В Октябрьском районе (Академгородок) в 2011 году сложились наиболее благоприятные условия для вегетации травы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Зуев В.В., Зуева Н.Е., Гришаев М.В. Влияние коротковолновой ультрафиолетовой радиации на флуоресценцию древесных растений // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 7. С. 714-721.
2. Заворуева Е.Н., Заворуев В.В. Флуоресцентный мониторинг фотосинтетического аппарата мелколиственных деревьев при антропогенном воздействии // Оптика атмосферы и океана. 2006. Т. 19. № 4. С. 319-321.
3. Sonoike K. The Different Roles of Chilling Temperatures in the Photoinhibition of Photosystem I and Photosystem II // Photochem. Photobiol. V. Biol. 1999. V. 48. P. 136-141.
4. Заворуев В.В., Заворуева Е.Н. Изменение отношения пиков красной флуоресценции хлорофилла листьев *Populus balsamifera* в процессе вегетации // Доклады РАН. 2002. Т. 387. № 2. С. 258-260.
5. Заворуева Е.Н., Заворуев В.В., Кустова О.В., Рядькина Е.А. Флуоресцентный мониторинг фотосинтетического аппарата мелколиственных деревьев // Материалы шестого Сибирского совещания по климато-экологическому мониторингу. Томск, 2005. С. 268-272.
6. Павлова Е.А., Заворуева Е.Н., Заворуев В.В. Влияние городской среды на флуоресцентные характеристики листьев деревьев в процессе их вегетации // Материалы Всероссийской конференции «Фундаментальные проблемы новых технологий в 3-ем тысячелетии». Томск, 2006. С. 573-576.
7. Заворуева Е.Н. Изменение флуоресцентных характеристик листьев деревьев в процессе их вегетации в зависимости от загрязненности атмосферы // Материалы конференции «Контроль и реабилитация окружающей среды», Томск, 2006. С. 184-186.
8. Zavoruev V.V., Zavorueva E.N., Shelegov A.V. Fluorescence of Cucumber Leaves Induced within the Photoexcitation Wavelength Range 380-540 nm and Its Dependence on Vegetation Time and Illumination Regime // Biofizika. 2000. V. 45. № 4. P. 704-711.
9. Заворуев В.В., Шелегов А.В., Заворуева Е.Н. Двухволновой флуориметр для исследования люминесценции растений. Красноярск, 1995. 22 с. (препринт № 226 Б / ИБФ СО РАН).
10. Lichtenthaler H.K., Rindler U. The Role of Chlorophyll Fluorescence in Letection Stress Condition in Plants // CRC Crit. Rev. Anal. Chem. 1988. V. 19. Suppl. 1. S. 29-85.
11. Wintermans I.F., De Mots A. Spectrophotometric Characteristics of Chlorophyll a and b their Pheophytins in Ethanol // Biochim. Biophys. Acta. 1965. V. 109. P. 448-453.
12. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Красноярского края в 2011 году». Красноярск, 2012. 243 с.
13. 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.
14. 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.
15. Валова Е.Э., Цыбенков Ю.Б. Тяжелые металлы в почвенно-растительном покрове г. Улан-Удэ // Вестник Бурятского государственного университета. 2011. № 4. С. 200-203.