

ЭКОЛОГИЯ

УДК 574.2, 581.1

ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ КАК БИОИНДИКАТОРЫ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Г.А. Сорокина, В.П. Лебедева, С.А. Раков, Н.В. Пахарькова

Сибирский федеральный университет

В работе рассмотрены возможности количественной оценки уровня атмосферного загрязнения на основе воздействия на зимний покой древесных растений. Для оценки глубины зимнего покоя был использован метод регистрации кривых термоиндуцированных изменений нулевого уровня флуоресценции (ТИНУФ) хлорофилл-содержащих тканей. Предложенный метод можно рекомендовать для сравнения видовой чувствительности древесных растений к техногенному воздействию и районирования территорий по уровню загрязнения.

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, биоиндикация, флуоресценция хлорофилла, зимний покой древесных растений

Введение. Загрязнение окружающей среды, в частности атмосферы, является острой экологической проблемой, особенно в городских и промышленных районах. Чистый атмосферный воздух – непреложное условие для здоровой жизни, поскольку здоровье человека зависит от состояния окружающей среды, являясь обобщенным интегральным показателем качества среды обитания и ее влияния на жизнедеятельность человека. Экспозиция (пребывание) человека в условиях загрязненной воздушной среды может приводить к самым различным последствиям в зависимости от конкретного типа загрязняющих веществ, их токсичности, величины, продолжительности и повторяемости воздействия [1].

В настоящее время оценка загрязнения окружающей среды производится главным образом на основе результатов химического анализа. Однако из-за огромного числа самих загрязняющих веществ, источников их выбросов, а также сложности и высокой стоимости анализов организовать эффективный экологический мониторинг только средствами аналитической химии практически нельзя [2]. Между тем многие из перечисленных трудностей удается преодолеть, если в тра-

диционную схему экологического контроля ввести методы биологического мониторинга. Эти методы основаны на регистрации суммарного токсического действия на организмы сразу всех или многих из компонентов загрязнения и, таким образом, позволяют быстро и с минимальными затратами оценить, является ли анализируемая проба загрязненной или нет [3].

Цель исследования. Разработка количественных параметров биоиндикации атмосферного загрязнения на основе показателей кривых термоиндуцированного изменения нулевого уровня флуоресценции (ТИНУФ) древесных растений.

Материалы и методы. В ходе работы были изучены сезонные изменения пяти видов древесных растений: покритосеменных – вяза мелколистного (*Ulmus pumila* L.), тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.), березы повислой (*Betula pendula* Roth) и голосеменных – ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) из районов г. Красноярска с разным уровнем атмосферного загрязнения.

В ходе проведенных ранее исследований было показано, что более высокий уровень атмосферного загрязнения вызывает сокра-

шение сроков и глубины состояния зимнего покоя как у хвойных, так и у покрытосеменных растений [4]. Выявленную закономерность можно использовать для оценки влияния загрязнения атмосферы на состояние растений на основе качественных различий кривых ТИНУФ (рис. 1). Летний тип кривой характеризуется наличием двух пиков: низкотемпературного, который определяется действием нагревания на структуру и функции компонентов фотосистемы 2 и высокотемпературного, причиной которого может быть «разгорание» флуоресценции более термостабильного хлорофилл-белкового ком-

плекса фотосистемы 1 при инактивации её реакционных центров (рис. 1А). При переходе в состояние зимнего покоя наблюдается качественное изменение формы кривой, проявляющееся в отсутствии низкотемпературного максимума, что приводит к снижению отношения низко- и высокотемпературного максимумов (показателя R_2) флуоресценции (рис. 1Б). Следует отметить, что «зимний» тип термограмм у изученных хлорофилл-содержащих тканей, по-видимому, наиболее универсален из известных в настоящее время критериев криорезистентного состояния хлоропластов [5].

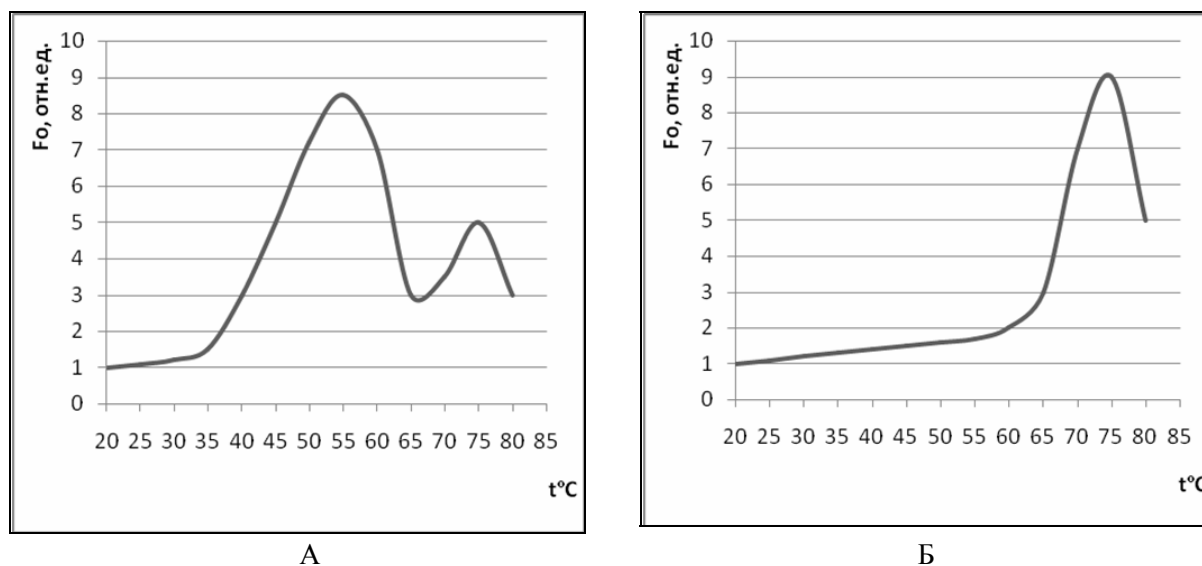


Рис. 1. Кривые термоиндуцированных изменений нулевого уровня флуоресценции (А – в период активной вегетации, Б – в состоянии зимнего покоя)

В качестве показателя состояния растений и глубины покоя [6] использовали отношение интенсивностей флуоресценции, соответствующих низкотемпературному и высокотемпературному максимумам кривой ТИНУФ (R_2), а также наглядный вид кривых ТИНУФ:

$$R_2 = \Phi_{\text{Лнт}} / \Phi_{\text{Лвт}}$$

где $\Phi_{\text{Лнт}}$ – интенсивность флуоресценции при низкотемпературном максимуме,

$\Phi_{\text{Лвт}}$ – интенсивность флуоресценции при высокотемпературном максимуме.

Регистрацию термоиндуцированных изменений нулевого уровня флуоресценции хлорофилла проводили в диапазоне от 20 до 80 °С при скорости нагрева 8 градусов в ми-

нуту на флуориметре «Фотон-11», разработанном в СФУ. Объектом исследования служила феллодерма (зимующая хлорофилл-содержащая ткань) неодревесневших побегов голосеменных и покрытосеменных древесных растений.

Результаты и обсуждение. На пробных площадях, расположенных вдоль основных автомагистралей г. Красноярска, была изучена годовая динамика изменения величины отношения низко- и высокотемпературных максимумов (R_2) феллодермы вяза мелколистного (рис. 2).

Для сравнительной оценки уровня загрязнения пробных площадей производился физико-химический анализ смывов с листьев растений (табл. 1).

Таблица 1

Показатели физико-химического анализа смывов с листьев вяза мелколистного

Район исследований	pH	Электропроводность	Опт. плотность
ИЭУиП (ПП.1)	6,40±0,11	35,01±1,10	0,07±0,01
Красная площадь (ПП.2)	6,10±0,10	164,20±1,30	0,53±0,01
Мед. университет (ПП.3)	6,20±0,10	172,00±1,10	0,59±0,01
Школа милиции (ПП.4)	6,20±0,12	153,11±1,20	0,56±0,01

По данным физико-химического анализа смывов можно заключить, что наибольшая загрязненность атмосферного воздуха наблюдается на ПП.3, обуславливая и более высокую степень воздействия на растения. Далее следуют ПП.2 и ПП.4 с достаточно близкими значениями и ПП.1 с самым низ-

ким уровнем загрязнения из обследованных районов.

Наибольшие различия в значениях R_2 между условно чистым и загрязненными районами зарегистрированы в периоды перехода растений в состояние покоя (октябрь-ноябрь) и выхода из него (март-апрель).

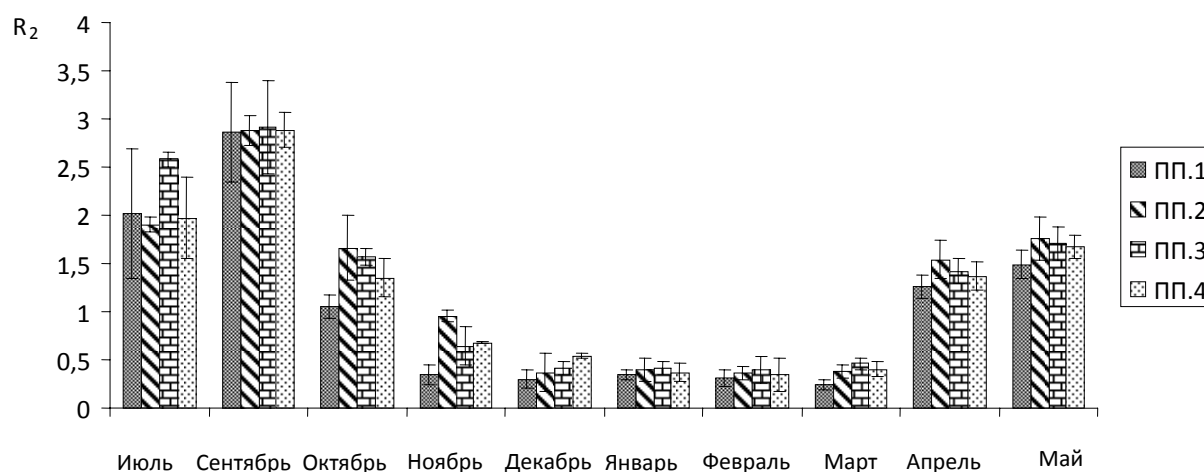


Рис. 2. Годовая динамика изменения величины отношения низко- и высокотемпературных максимумов (R_2) феллодермы вяза мелколистного из районов г. Красноярска с разным уровнем атмосферного загрязнения

Проведенные исследования параметров ТИНУФ вяза мелколистного при выведении растений из состояния покоя в лабораторных условиях (рис. 3) позволяют отметить меньшую глубину покоя на ПП.2 и ПП.3, о чем свидетельствует более быстрый выход растений из состояния покоя. Уже на 4 день эксперимента для этих районов на кривых ТИНУФ

появляется низкотемпературный подъем, и значения R_2 достигают 0,76 и 0,83 соответственно. На 8–12 день эксперимента растения выходят из состояния покоя (рис. 3). Несколько позже выходят из состояния покоя растения с ПП.4. Наиболее низкие показатели R_2 в течение всего периода наблюдались на ПП.1.

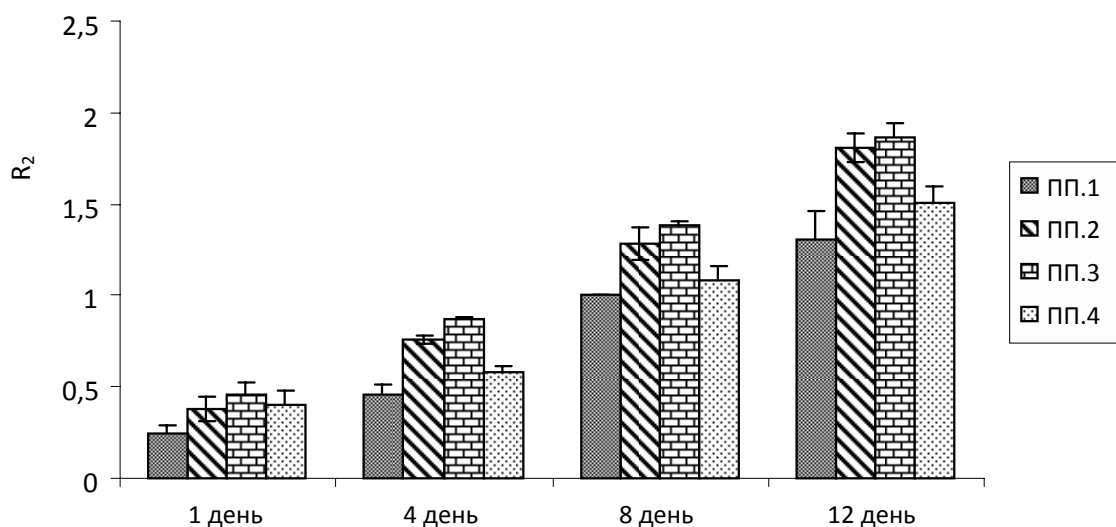


Рис. 3. Динамика R_2 для вяза мелколистного при выходе из состояния покоя в лабораторных условиях

Для количественной оценки влияния загрязнения на состояние растений нами введен параметр A :

$$A = R_0 / R_k,$$

где R_0 – среднее значение отношения низкотемпературного к высокотемпературному максимуму (R_2) в исследуемых районах; R_k – среднее значение отношения низкотемпературного к высокотемпературному максимуму (R_2) в контрольном районе.

С теоретической точки зрения основу биоиндикационных исследований с использованием метода регистрации термоиндуцированного изменения нулевого уровня флуоресценции составляет доказанное исследованиями, ранее проведенными на кафедре эко-

токсикологии СФУ, положение о том, что загрязнение атмосферного воздуха сокращает период зимнего покоя древесных растений [2; 7].

Это проявляется в том, что в загрязненных районах уровень показателя R_2 выше по сравнению с чистыми (контрольными) районами. Соответственно, чем выше значение параметра A , тем больше влияние атмосферного загрязнения на данный вид растения. Значения параметра A , рассчитанные по результатам выведения вяза мелколистного из состояния покоя в лабораторных условиях из районов г. Красноярска с разным уровнем атмосферного загрязнения, представлены на рис. 4.

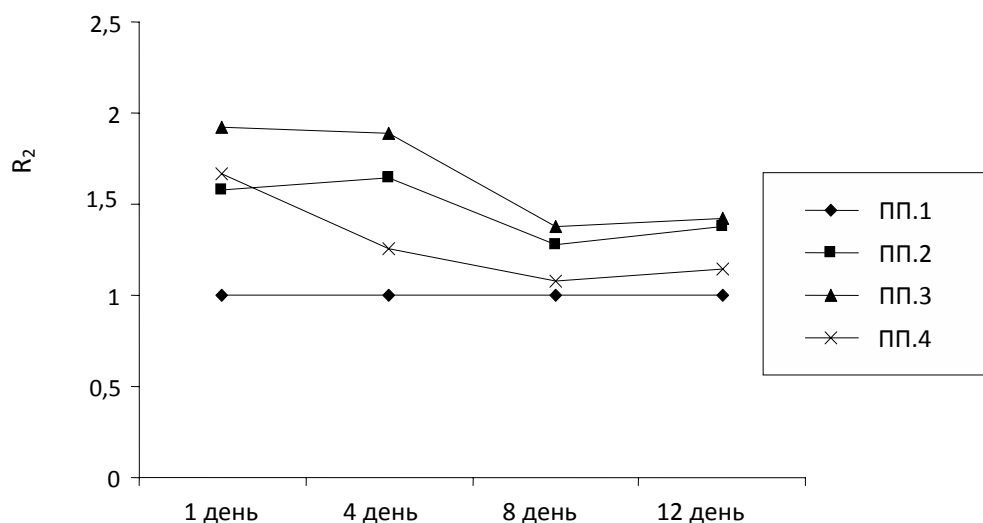


Рис. 4. Величина параметра A в период выхода вяза мелколистного из состояния покоя в лабораторных условиях

Рассчитанный при выведении вяза мелколистного из состояния покоя в лабораторных условиях параметр А демонстрирует более дифференцированное расположение кривых для исследуемых пробных площадей, которое позволяет распределить их следующим образом: самые низкие значения зарегистрированы на ПП.1 (в работе выступала как контрольная), несколько выше – на ПП.4 и ПП.2, самые высокие – на ПП.3. Такое распределение исследуемых пробных площадей по влиянию уровня атмосферного загрязнения на растения вяза мелколистного согласуется с результатами физико-химического анализа смывов с листьев. Таким образом, можно рекомендовать использование параметра А для количественной оценки уровня атмосферного загрязнения при биоиндикационных исследованиях.

Предложенный метод можно также использовать для оценки видовой специфики влияния загрязнения атмосферы на состояние растений. Техногенное загрязнение природной среды делает живые организмы более уязвимыми, изменяя многие эволюционно сложившиеся комплексы приспособительных

реакций к условиям существования, в том числе и сезонную динамику растений. При морозе, и особенно с ветром, растения, не завершившие переход в состояние покоя, продолжают терять воду, но компенсировать эти потери не могут, если почва замерзла. Следовательно, в зимних условиях для растений существует значительная опасность погибнуть в результате иссушения [8]. Так как эволюция растительности совершалась в условиях достаточно чистого атмосферного воздуха, то современные виды растений, в том числе и древесные, не обладают специфической приспособленностью к действию токсичных газов, которые могут приводить к существенным изменениям адаптивных реакций к различным стрессорам, в том числе к низким отрицательным температурам [9].

Для сравнения чувствительности к атмосферному загрязнению тополя бальзамического (*Populus balsamifera*), березы повислой (*Betula pendula*), ели сибирской (*Picea obovata*) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) были выбраны два района г. Красноярска с разным уровнем атмосферного загрязнения (табл. 2).

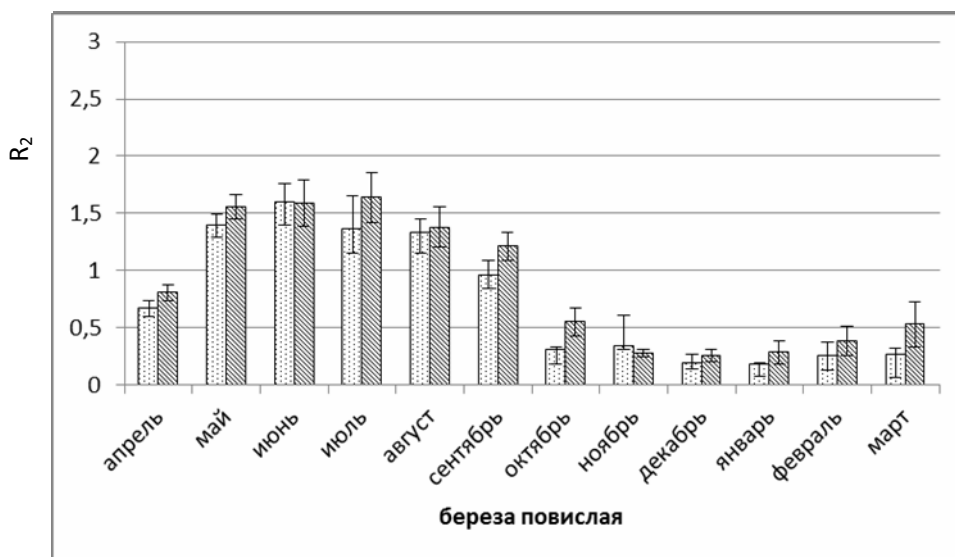
Таблица 2

**Результаты физико-химического анализа смывов с листьев и хвои
четырех видов деревьев**

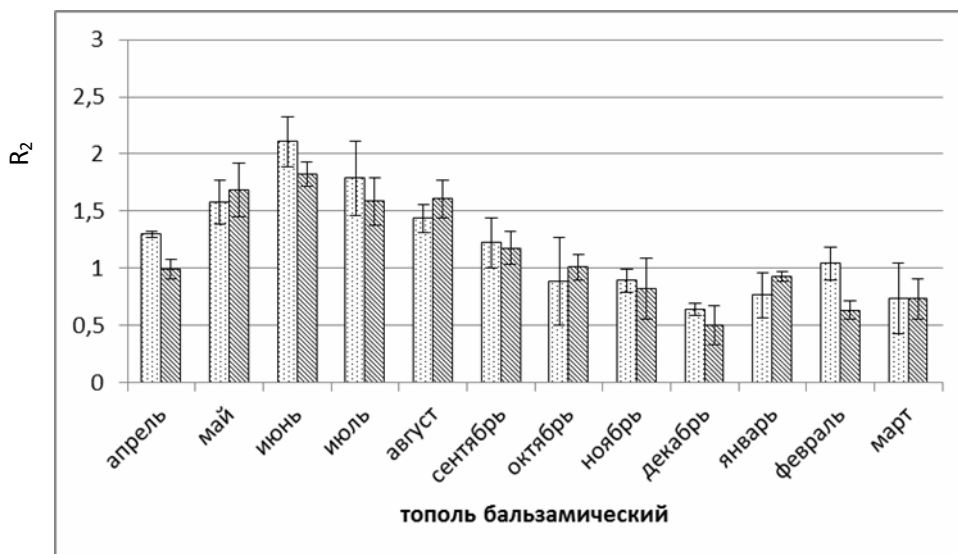
	Пробная площадь	рН	Электропроводность	Опт. плотность
Береза	ПП.1 «Университет»	6,57±0,32	33,33±3,21	0,26±0,02
	ПП.5 «пр. Свободный»	7,30±0,10	103,67±1,53	0,70±0,02
Ель	ПП.1 «Университет»	6,20±0,36	17,33±2,08	0,12±0,00
	ПП.5 «пр. Свободный»	7,00±0,10	94,00±2,65	1,16±0,07
Лиственница	ПП.1 «Университет»	6,03±0,23	61,33±1,53	0,78±0,09
	ПП.5 «пр. Свободный»	6,73±0,06	131,00±4,58	1,66±0,09
Тополь	ПП.1 «Университет»	6,70±0,20	30,67±1,53	0,09±0,01
	ПП.5 «пр. Свободный»	6,63±0,06	59,33±2,31	0,42±0,02

Изучение годовой динамики изменения параметра R_2 для 4 видов древесных растений показывает, что каждый из них реагирует на условия окружающей среды по-разному. У покрытосеменных более высокие значения

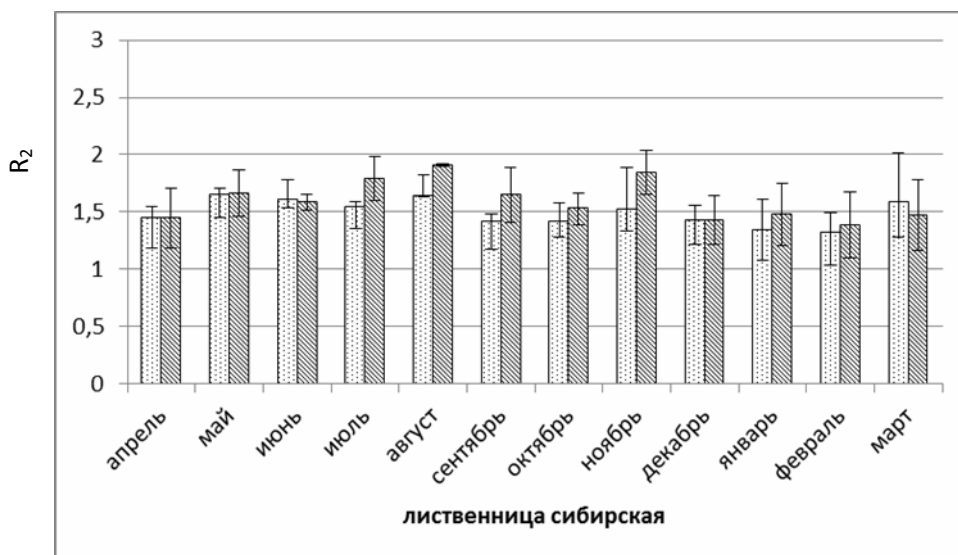
регистрируются в период активного метаболизма, наименьшие в состоянии зимнего покоя (рис. 5, а, б). У хвойных такой выраженной разницы не наблюдается (рис. 5, в, г).



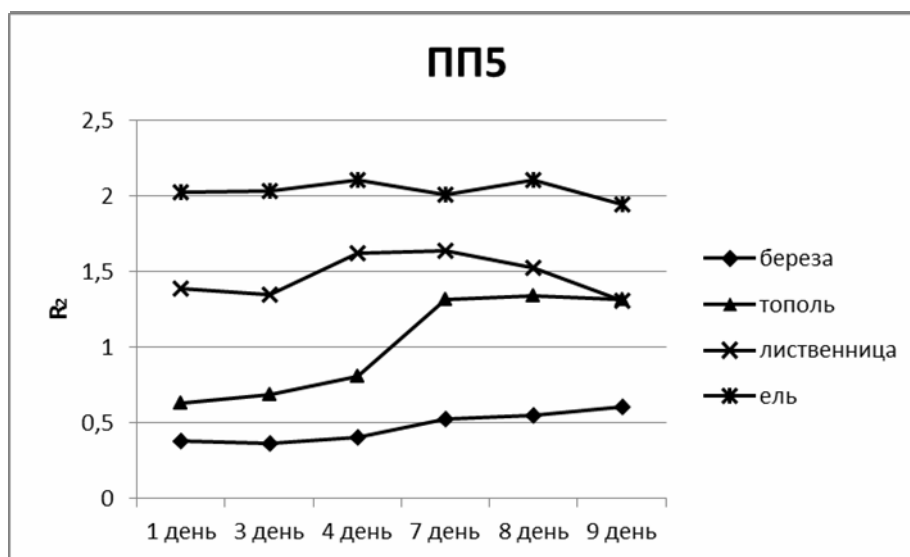
а)



б)



в)



б)

Рис. 6. Динамика изменения величины соотношения низко- и высокотемпературных максимумов (R_2) для феллодермы древесных растений из районов г. Красноярска с различным уровнем загрязнения при выведении из покоя в лабораторных условиях (февраль-март 2011 г.): а) ПП.1; б) ПП.5

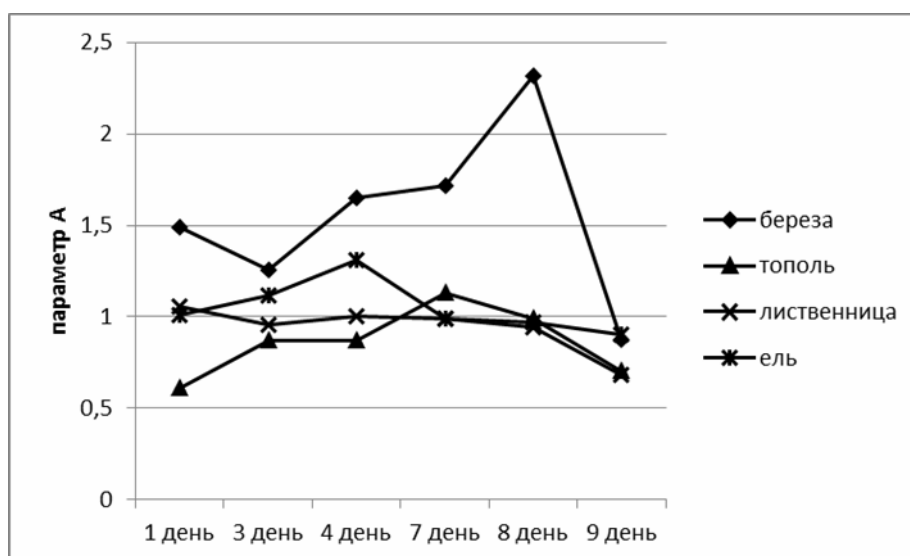


Рис. 7. Динамика изменения величины параметра А для феллодермы древесных растений из районов г. Красноярска с различным уровнем загрязнения при выведении из покоя в лабораторных условиях (февраль-март 2011 г.)

Заключение. Зеленые насаждения выполняют важные функции в нейтрализации и ослаблении негативных воздействий промышленных зон города на людей и живую природу в целом. В условиях увеличения техногенных нагрузок санитарно-гигиеническая роль растений в городе возрастает.

Полученные данные свидетельствуют о том, что у деревьев, произрастающих в загрязненных районах, нарушена сезонная ди-

намика. При этом глубина покоя у них меньше на протяжении всего зимнего периода. Возможно, именно незавершенностью процессов перехода в состояние покоя и образующимся вследствие этого водным дефицитом объясняется усыхание деревьев из районов с высоким уровнем загрязнения воздуха и особенно сильное поражение их в зимний период. Повреждение растений в экологически неблагоприятных районах может проис-

ходить и в весенний период, когда они после кратковременных оттепелей преждевременно выходят из состояния зимнего покоя [2].

Метод регистрации термоиндуцированных изменений нулевого уровня флуоресценции можно использовать для сравнения видовой чувствительности древесных растений к техногенному воздействию и проводить на его основе районирование территорий по уровню загрязнения.

1. Российская федерация. Государственный доклад: Факторы среды обитания и здоровье населения Красноярского края / Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Управление федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Красноярскому краю. – Красноярск, 2010.

2. Григорьев, Ю.С. Влияние техногенного загрязнения воздушной среды на состояние зимнего покоя сосны обыкновенной / Ю.С. Григорьев, Н.В. Пахарькова // Экология. – 2001. – №6. – С. 471–473.

3. Реймерс, Н.Ф. Словарь терминов и понятий, связанных с охраной живой природы / Н.Ф. Реймерс, А.В. Яблоков. – М.: Наука, 1982. – 144 с.

4. Сорокина, Г.А. Биоиндикация атмосферного загрязнения с использованием древесных растений / Г.А. Сорокина, В.П. Лебедева // Охрана окружающей среды и природопользование – 2011. – №2. – С. 52–56.

5. Сезонные изменения фотосинтетического аппарата древесных и кустарниковых растений / Н.А. Гаевский и др. // Физиология растений. – 1991. – Т. 38, вып. 4. – С. 685–692.

6. Авторское свидетельство №1358843. Способ определения степени глубины покоя древесных растений / Н.А. Гаевский, Г.А. Сорокина, А.В. Гехман, С.А. Фомин, В.М. Гольд. 15.08.87.

7. Различия в акклимационных стратегиях сосны обыкновенной и ели сибирской на загрязнение воздушной среды / Н.В. Пахарькова и др. // Хвойные бореальной зоны. – 2010. – №3. – С. 231–236.

8. Уоринг, Ф. Рост растений и дифференцировка / Ф. Уоринг, И. Филлипс. – М.: Мир, 1984. – 512 с.

9. Усманов, И.Ю. Экологическая физиология растений / И.Ю. Усманов, З.Ф. Рахманкулова, А.Ю. Кулагин. – М.: Логос, 2001. – 224 с.

WOODY PLANTS AS BIOINDICATORS OF AIR POLLUTION LEVEL

G.A. Sorokina, V.P. Lebedeva, S.A. Rakov, N.V. Pakharkova

Siberian Federal University

This paper considers the quantitative evaluation of atmospheric pollution on the basis of impact on the winter dormancy of woody plants. To estimate the depth of winter dormancy has been used method of recording curves of thermally induced changes in the zero level of fluorescence (TICZLF) in chlorophyll-containing tissues. The proposed method can be used to compare the sensitivity of species of woody plants to anthropogenic impacts, and zoning by the level of pollution.

Keywords: air pollution, bioindication, fluorescence of chlorophyll, winter dormancy of woody plants.