

**Влияние загрязнения воздушной среды
на зимний покой древесных растений**

© 2012. Н. В. Пахарькова, к.б.н., доцент,
Г. А. Сорокина, к.б.н., доцент, А. А. Шубин, к.х.н., доцент,
Сибирский федеральный университет,
e-mail: nina.pakharkova@yandex.ru, sorokina_gas@mail.ru

Для оценки глубины зимнего покоя был использован метод регистрации кривых термоиндуцированных изменений нулевого уровня флуоресценции хлорофилл-содержащих клеток хвои и феллодермы. В целом стрессовое воздействие загрязнения как для хвойных, так и покрытосеменных растений приводит к тому, что они имеют меньшую глубину покоя, а также более ранние сроки выхода из этого состояния. Эта реакция, по-видимому, является универсальной для древесных растений.

To estimate the depth of winter dormancy we used the method of recording the curves of thermally induced changes of the zero level of fluorescence for the chlorophyll-containing cells of needles and phelloderm. In general, the stress effect of pollution, both for conifers and angiosperms leads them to having a smaller depth of winter dormancy, as well as the earlier exit from this state. This reaction appears to be universal for woody plants.

Ключевые слова: зимний покой растений, загрязнение воздуха, флуоресценция

Keywords: winter dormancy of plants, air pollution, fluorescence

Общепризнанно, что масштабность загрязнения воздуха в городах значительно влияет на жизнедеятельность всех компонентов урбоэкосистем, включая многолетние растения. Рассматривая устойчивость растений к техногенному загрязнению как новому в эколого-эволюционном плане фактору, следует признать, что в арсенале защитных средств, обеспечивающих устойчивость растений, отсутствуют специализированные адаптации, обеспечивающие их успешное произрастание в этих условиях [1]. Так как эволюция растительности совершалась в условиях достаточно чистого атмосферного воздуха, 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 низким и отрицательным температурам [2, 3].

У растений умеренных и северных широт для сохранения жизнеспособности особое значение имеет переход в состояние покоя в период пониженных температур. Если растение не прошло периода покоя, в последующем темпы роста его снижаются, ухудшается плодоношение. После периода покоя рост растений усиливается [4]. При морозе, и особенно с ветром, растения, не завершившие переход в состояние покоя, продолжают терять воду, но компенсировать эти потери не могут, если почва

замёрзла. Следовательно, в зимних условиях для растения существует значительная опасность погибнуть в результате иссушения [5].

Способность погружаться в состояние покоя выработалась у растений в ходе эволюции как важное приспособление к периодическому наступлению неблагоприятных внешних условий, защите от обезвоживания (апексы побегов прекращают активный рост, покрываются чешуями, образуя зимние покоящиеся почки). Выделяют две фазы покоя – глубокий, или органический, и вынужденный. Глубокий покой – необходимая фаза развития растений, сменяющая период вегетации, наступает в результате гормональной перестройки в ходе осенней фотопериодической реакции. В состоянии глубокого покоя у растений резко заторможен обмен веществ и прекращается видимый рост. В состоянии вынужденного покоя растения находятся во второй половине зимы, когда выход из состояния покоя зависит от температурного режима.

Поскольку механизмы такой сложной адаптивной реакции, как зимний покой, сформировались в процессе эволюции в течение длительного периода времени у разных групп растений, целью данной работы являлось изучение особенностей воздействия техногенного загрязнения воздушной среды на хлорофилл-содержащие ткани голосеменных и покрытосеменных растений.

Объекты и методы

В качестве объектов исследований использовались побеги отдельно стоящих деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в возрасте 30–40 лет. Все измерения проводились для хвои голосеменных и феллодермы покрытосеменных древесных растений, побеги были взяты из средней части кроны.

Исследования проводились в 2009–2010 гг. на территории г. Красноярска и его окрестностей. В качестве контроля была взята пробная площадь (ПП1), находящаяся на окраине города Красноярска с западной (навстрелной) стороны, в отсутствие техногенного загрязнения. Опытная пробная площадь (ПП2) расположена в индустриальном районе города Красноярска и подвергается загрязнению воздушной среды как со стороны промышленных предприятий, так и автомобильного транспорта.

При изучении перехода деревьев в состояние покоя и выхода из него хорошо зарекомендовал себя метод регистрации кривых термоиндуцированных изменений нулевого уровня флуоресценции (ТИНУФ).

Теоретической основой метода является изменение агрегированности составляющих фотосинтетического аппарата, что проявляется в качественном изменении кривых ТИНУФ (рис. 1). В период активного метаболизма на графике регистрируется два пика – низкотемпературный, связанный с активностью хлорофилл-белкового комплекса фото-

системы 2, и высокотемпературный, обусловленный «разгоранием» хлорофилл-белкового комплекса фотосистемы 1 при инактивации её реакционных центров (рис. 1 А). 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 (R_2) флуоресценции (рис. 1 Б). Следует отметить, что «зимний» тип термограмм у изученных хлорофилл-содержащих тканей, по-видимому, наиболее универсален из известных в настоящее время критериев криорезистентного состояния хлоропластов [6].

В качестве показателя состояния растений и глубины покоя [7] использовали отношение интенсивностей флуоресценции, соответствующих низкотемпературному и высокотемпературному максимумам кривой ТИНУФ (R_2), а также наглядный вид кривых ТИНУФ.

$$R_2 = \Phi_{л_{нт}} / \Phi_{л_{вт}}$$

где $\Phi_{л_{вт}}$ – интенсивность флуоресценции при высокотемпературном максимуме, $\Phi_{л_{нт}}$ – интенсивность флуоресценции при низкотемпературном максимуме.

Регистрацию термоиндуцированных изменений нулевого уровня флуоресценции хлорофилла проводили в диапазоне от 20 до 80 °С при скорости нагрева 8 градусов в минуту на флуориметре «Фотон-11», разработанном в СФУ (ранее КрасГУ) под руководством профессора Ю. С. Григорьева. Для оценки глубины зимнего покоя побеги деревьев выводили из состояния покоя в лабораторных условиях,

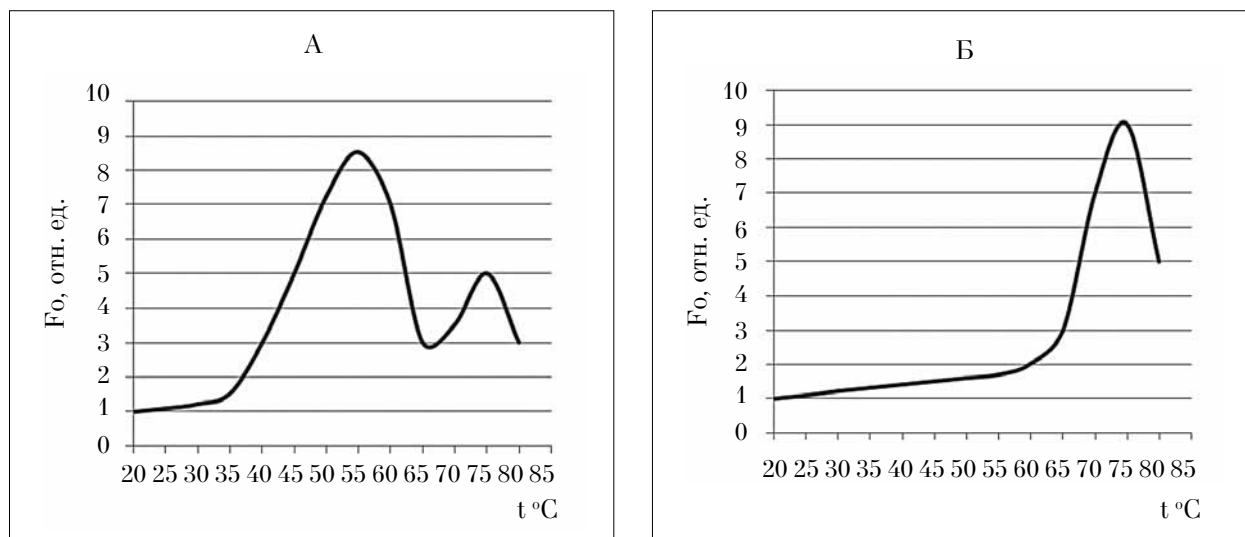


Рис. 1. Кривые термоиндуцированных изменений нулевого уровня флуоресценции (А – в период активной вегетации, Б – в состоянии зимнего покоя)

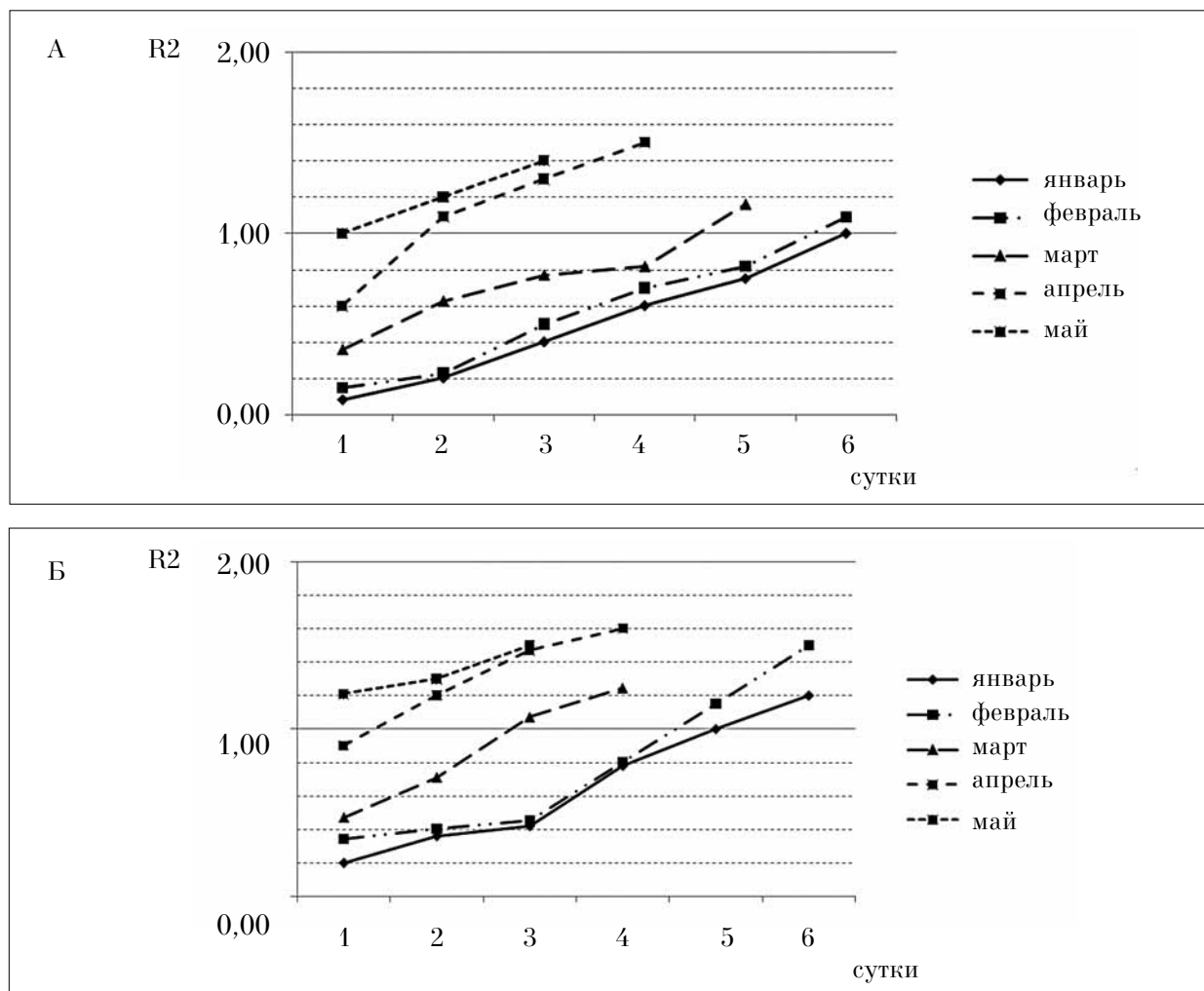


Рис. 2. Динамика коэффициента R_2 термоиндуцированных изменений нулевого уровня флуоресценции хвои двухлетнего возраста деревьев, произрастающих на ПШ1, при выведении побегов из состояния зимнего покоя в лабораторных условиях в январе–мае 2010 г. (А – сосна обыкновенная, Б – ель сибирская)

при комнатной температуре и круглосуточном освещении лампами дневного света. Для активно фотосинтезирующей хвои коэффициент R_2 становится больше единицы.

Элементный полуколичественный анализ хвои выполняли методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на спектрометре с волновой дисперсией ARL Advant`X (лаборатория рентгеноспектральных методов анализа ЦКП СФУ). Количественное содержание элементов в образцах оценивали на основании метода фундаментальных параметров с использованием программного обеспечения UniQuant-5. Для анализа высушенную и измельченную хвою прессовали в таблетки. В качестве связующего материала использовали борную кислоту, которую добавляли к образцу в контролируемом соотношении. При расчёте данная методика позволяет учесть элементы третьего периода и далее в процентном соотношении.

Результаты и их обсуждение

Проведённые исследования показали, что для разных видов хвойных в течение зимнего периода характерна различная глубина покоя. Как следует из данных, представленных на рисунке 2, глубина покоя у изученных видов уменьшается с января по май по мере перехода к активной вегетации. В целом сосна обыкновенная имеет большую глубину покоя по сравнению с елью сибирской. В январе–феврале побеги сосны выходят из состояния покоя на шестые сутки, тогда как побеги ели – на пятые, в остальные месяцы эта тенденция сохраняется. Естественный выход из покоя в природных условиях у ели также происходит раньше – в начале апреля, тогда как у сосны – в начале мая.

В дальнейшем проводилось сравнительное изучение параметров ТИНУФ для растений, произрастающих на пробных площадях

Таблица 1

Относительное содержание элементов в хвое

Элемент	Содержание элементов в хвое, %			
	ель сибирская		сосна обыкновенная	
	ПП1	ПП2	ПП1	ПП2
K	25,54±0,22	22,90±0,21	27,44±0,22	22,71±0,21
Ca	46,34±0,25	53,31±0,25	43,60±0,25	35,79±0,24
P	7,29±0,13	4,43±0,10	6,88±0,13	7,13±0,13
Si	3,20±0,09	5,98±0,12	1,79±0,07	10,10±0,15
Mg	2,43±0,08	3,06±0,09	4,49±0,10	3,24±0,09
S	4,43±0,10	2,94±0,08	5,71±0,12	5,64±0,11
Cl	0,78±0,04	1,17±0,05	1,11±0,05	1,91±0,07
Al	1,27±0,06	1,79±0,07	3,32±0,90	4,16±0,10
Fe	1,03±0,05	1,95±0,07	1,64±0,06	5,05±0,11
F	1,36±1,24	1,39±1,22	н/о	0,61±1,83
Mn	2,10±0,07	0,11±0,02	0,99±0,05	0,20±0,03
Zn	1,15±0,05	0,29±0,03	0,37±0,05	0,19±0,05
Sr	0,29±0,09	0,99±0,05	0,08±0,08	0,25±0,08

Примечание: н/о – не определялось.

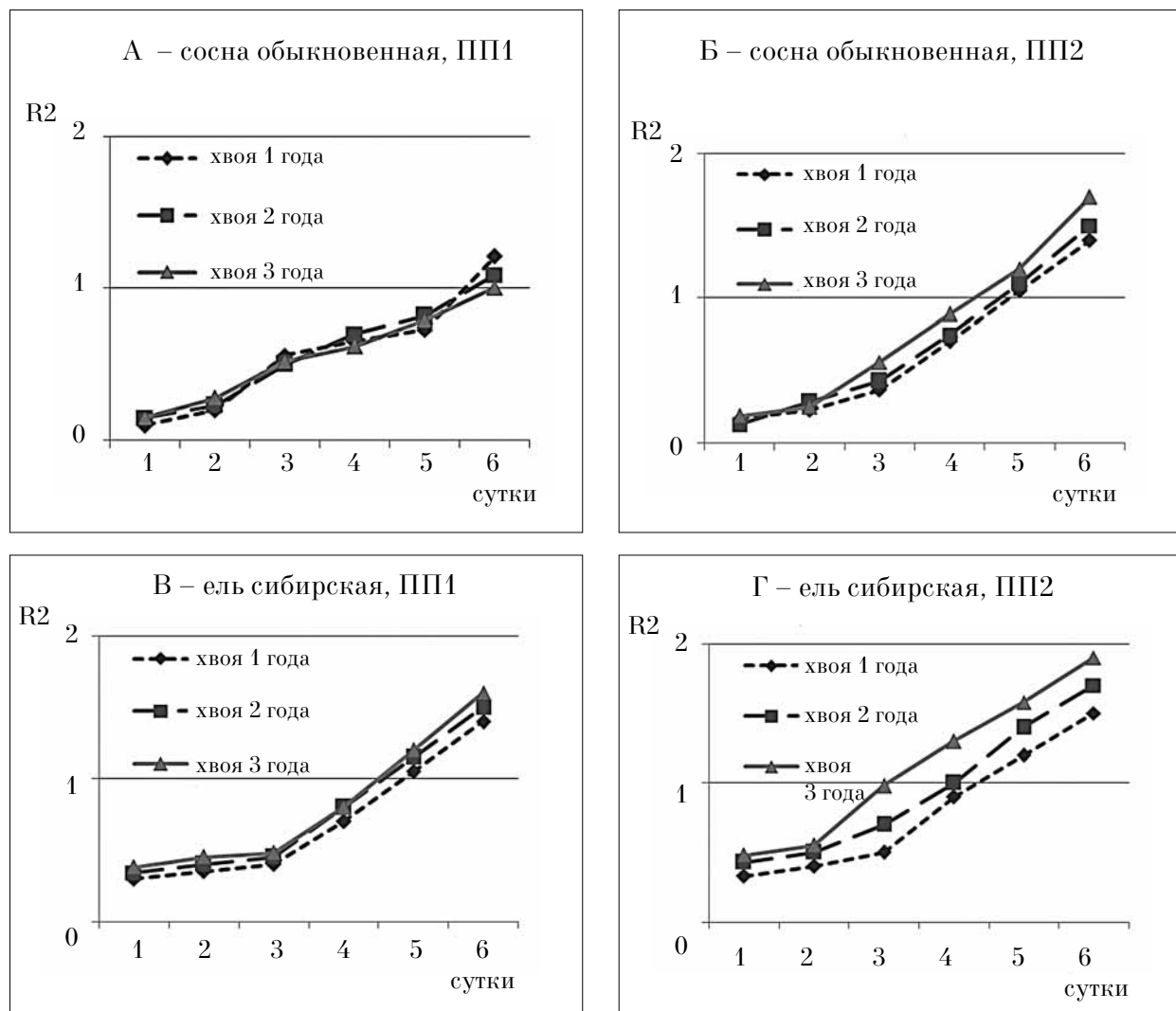


Рис. 3. Динамика коэффициента R_2 термоиндуцированных изменений нулевого уровня флуоресценции хвои разного возраста при выведении побегов из состояния зимнего покоя в лабораторных условиях в феврале 2010 г.

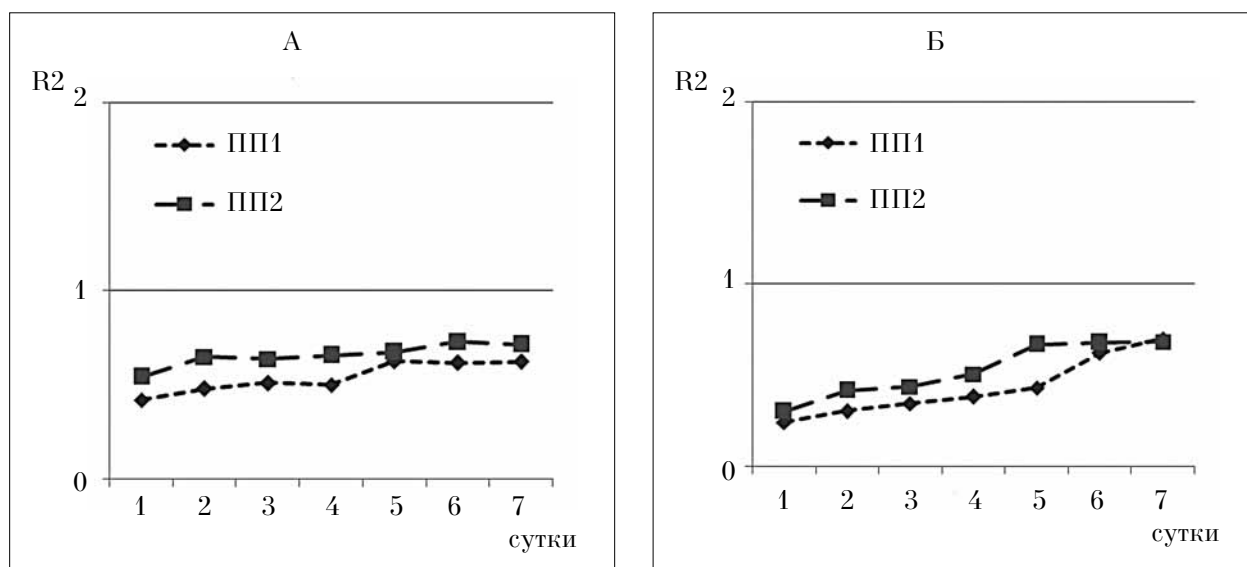


Рис. 4. Динамика коэффициента R_2 термоиндуцированных изменений нулевого уровня флуоресценции феллодермы при выведении побегов лиственницы сибирской (А) и тополя бальзамического (Б), произрастающих в районах с различным уровнем загрязнения, из состояния зимнего покоя в лабораторных условиях в феврале 2010 г.

с разным уровнем загрязнения. Для оценки уровня атмосферного загрязнения был проведён элементный полуколичественный анализ хвои (табл. 1.)

Рассматривая результаты анализа, следует отметить повышение содержания на ПП2 по сравнению с ПП1 таких элементов, как Si, Al, Cl, F, Fe, Sr, что свидетельствует о значительном загрязнении среды выбросами промышленных предприятий и автотранспорта. Одновременно можно наблюдать снижение содержания K, P, S, Mg, Mn и других биогенных элементов. При этом характер накопления различных элементов отличается для сосны и ели.

При сравнении динамики ТИНУФ хвои ели сибирской и сосны обыкновенной с ПП1 и ПП2 (рис. 3) выявлено, что загрязнение воздушной среды приводит к уменьшению глубины зимнего покоя. При этом если на ПП2 у сосны обыкновенной значения коэффициента R_2 для хвои разных возрастов различаются незначительно, то у ели сибирской глубина покоя с увеличением возраста хвои уменьшается более существенно. Это может быть связано с особенностями прикрепления хвои – сосна легче сбрасывает поражённую токсикантами хвою, тогда как у ели частично некротизированная хвоя остаётся на побеге [8].

Поскольку у сосны значительная часть токсикантов аккумулируется в отдельных хвойниках и удаляется в процессе дефолиации, оставшаяся хвоя фотосинтезирует достаточно активно. Вероятно, такая экологическая пла-

стичность сосны может быть связана с особенностями прикрепления хвои к побегу, что способствует большей устойчивости сосны обыкновенной к загрязнению воздушной среды по сравнению с елью сибирской.

Проведённые исследования ТИНУФ феллодермы лиственницы сибирской и тополя бальзамического (рис. 4) показывают, что растения, произрастающие в районах с более высоким уровнем атмосферного загрязнения, так же как, ель сибирская и сосна обыкновенная, раньше выходят из состояния покоя и характеризуются более высокими значениями R_2 , что в соответствии с теоретическими положениями свидетельствует о их более высокой фотосинтетической активности.

При выведении растений из состояния покоя в лабораторных условиях для хвойных были зарегистрированы более высокие значения флуоресцентного параметра R_2 , по сравнению с покрытосеменными. В целом стрессовое воздействие загрязнения как для хвойных, так и покрытосеменных растений приводит к тому, что они имеют меньшую глубину покоя, а также более ранние сроки выхода из этого состояния. Таким образом, подобная реакция, по-видимому, является универсальной для древесных растений.

Заключение

Проведённые исследования показали, что техногенное загрязнение воздуха влияет на динамику термоиндуцированных изменений

нулевого уровня флуоресценции хлорофилл-содержащих тканей (хвои и феллодермы) сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.), являющейся показателем состояния покоя. В загрязнённых районах деревья раньше выходят из состояния покоя, что влечёт за собой большую вероятность повреждения растений весенними заморозками. По-видимому, сокращение сроков и глубины покоя является универсальной реакцией древесных растений на увеличение техногенного загрязнения.

Литература

1. Усманов И.Ю., Рахманкулова З.Ф., Кулагин А.Ю. Экологическая физиология растений М.: Логос, 2001. 224 с.
2. Григорьев Ю.С., Пахарькова Н.В. Влияние техногенного загрязнения воздушной среды на состояние зимнего покоя сосны обыкновенной // Экология. 2001. № 6. С. 471–473.
3. Пахарькова Н.В., Калякина О.П., Шубин А.А., Григорьев Ю.С. Флуоресцентная диагностика зимнего покоя хвойных в урбоэкосистемах с различным уровнем загрязнения воздушной среды // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. 2009. № 4. С. 359–367.
4. Якушкина Н.И. Физиология растений: учеб. пособие для студентов биол. спец. вузов. М.: Просвещение, 1993. 335 с.
5. Уоринг Ф., Филлипе И. Рост растений и дифференцировка. М.: Мир, 1984. 512 с.
6. Гаевский Н.А., Сорокина Г.А., Гольд В.М., Миролюбовская И.В. Сезонные изменения фотосинтетического аппарата древесных и кустарниковых растений // Физиология растений. 1991. Т. 38. Вып. 4. С. 685–691.
7. Гаевский Н.А., Сорокина Г.А., Гехман А.В., Фомин С.А., Гольд В.М. Способ определения степени глубины покоя древесных растений: Авторское свидетельство №1358843 от 15.08.87.
8. Пахарькова Н.В., Калякина О.П., Шубин А.А., Григорьев Ю.С., Пахарьков С.В., Сорокина Г.А. Различия в акклимационных стратегиях сосны обыкновенной и ели сибирской на загрязнение воздушной среды // Хвойные бореальной зоны. 2010. № 3. С. 231–236.