

УДК 504.06.(571.17)

Морфометрическая и дендрохронологическая диагностика состояния древесных насаждений как способ индикации загрязнения урбанизированной среды**О.А. Неверова***Кузбасский ботанический сад (филиал ЦСБС СО РАН), г. Кемерово, Россия*

В условиях техногенного загрязнения города Кемерово у березы повислой (*Betula pendula* Roth), и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) уменьшается прирост годичных побегов в длину, снижается радиальный прирост. Ухудшаются морфометрические показатели хвои у сосны обыкновенной, что выражается в снижении сухого веса, продолжительности жизни хвои, наличием на ней визуальных признаков повреждений, и, как следствие, наблюдается снижение радиального годичного прироста в большей степени по сравнению с березой повислой. Это указывает на меньшую устойчивость хвойных к воздействию поллютантов по сравнению с лиственными деревьями на уровне целостного организма.

Установлено, что максимальные изменения признаков характерны для деревьев Заводского, Кировского и Рудничного районов города, что позволяет заключить о их значительном загрязнении.

Выявлена сильная степень отрицательной корреляции между радиальным годичным приростом деревьев и уровнями загрязнения районов, что позволяет заключить о возможности использования этого показателя для индикации загрязнения атмосферного воздуха городской среды.

Город Кемерово, несмотря на общее сокращение производства, сохраняет свое сложившееся положение крупного центра химической, энергетической, металлургической, угольной промышленности и стройиндустрии. Экологическая обстановка в городе сохраняется напряженной. В 1999 году в атмосферный воздух города было выброшено промышленными предприятиями, тепловыми электростанциями, автотранспортом 117,7 тыс. тонн загрязняющих веществ. Относительная роль в загрязнении воздуха ингредиентов: оксид углерода - 34 %, оксиды азота - 24 %, диоксид серы - 18 %, твердые вещества - 16 %, углеводороды - 6 %, прочие газы - 2 %. По данным наблюдений за 1999 год было зарегистрировано 57 случаев высокого (свыше 5 ПДК) загрязнения воздуха [1].

В условиях техногенного загрязнения окружающей среды у древесных растений наблюдаются изменения показателей прироста в высоту и по диаметру, уменьшение охвоенности, интенсивности побегообразования, фитопродук-

тивности, сокращение периода вегетации, ускорение опада листьев, что связано, главным образом, со снижением фотосинтеза.

Анализ роста осевых и боковых побегов, листьев и хвои, характеристика ассимиляционной поверхности кроны деревьев, определение охвоенности годичных отрезков боковых побегов, возраста хвои на дереве, радиального прироста - используются исследователями в целях индикации загрязнения воздуха и степени влияния его на лесные древесные растения [2-5].

В связи с вышеизложенным для нас представляло интерес исследовать влияние промышленных газов на некоторые морфо-биометрические и дендрохронологические показатели хвойных и лиственных пород древесных растений; выяснить степень зависимости исследуемых показателей древесных растений г. Кемерово от уровней загрязнения районов. С этой целью проводилось изучение размеров побегов и хвои, радиальный годичный прирост; полученные показатели состояния растений сопоставлялись с уровнями загрязнения атмосферного воздуха районов города.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

На территории Кемерово выделяют 5 административных районов, характеризующихся различной концентрацией промышленных производств и соответственно не одинаковой степенью загрязнения. Три района города (Ленинский, Центральный, Заводский) располагаются на левобережной части реки Томи, два (Кировский и Рудничный) - на правобережной части.

На территории Ленинского района ($S = 1546$ га) находятся комбинат шелковых тканей, п/о “Химволокно”, Химмаш, КЗЭМИ, предприятия пищевой промышленности. Площадь Центрального района составляет 1790 га, и на его территории располагаются КЭМЗ, Электротехнический завод. Заводский район имеет площадь 8419 га и характеризуется высокой концентрацией химических производств п/о “Азот”, п/о “Химпром”, КХЗ, НПО “Карболит”, механический завод, Новокемеровская ТЭЦ. Площадь Рудничного района составляет 12146 га и его территория является зоной влияния выбросов п/о “Кокс”. В Кировском районе, площадь которого составляет 2192 га находятся п/о “Прогресс”, завод “Коммунар”, АКЗ, “Строммашина”, п/о “Полимер”.

Наиболее загрязнена атмосфера правобережной части города (Кировского и Рудничного районов), территория которой подвергается техногенному воздействию промышленных предприятий как своих районов, так и предприятий районов правобережной части города, выбросы которых переносятся с преобладающими юго-западными ветрами. В Кировском районе отмечается самый высокий суммарный индекс загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА), равный 34,3, который рассчитан по 5 основным вредным примесям (диоксиду

азота, саже, формальдегиду, аммиаку, сероуглероду); среднегодовое содержание в атмосфере Кировского района диоксида азота составляет 2,1 ПДК, формальдегида - 5,7 ПДК, аммиака - 5,1 ПДК, сажи - 3,6 ПДК, сероуглерода - 3,6 ПДК. В Рудничном районе города в воздухе много сероуглерода (до 10,6 ПДК) и сажи (5,2-10,7 ПДК), индекс ИЗА составляет 11,63. В Заводском районе в воздухе преобладает аммиак (3,5 ПДК), зафиксировано 3 случая превышения концентрации хлористого водорода (свыше 5 ПДК), индекс ИЗА соответствует 18,8. В Центральном районе зарегистрирована максимальная концентрация диоксида азота (8,5 ПДК), хлористого водорода (два случая свыше 5 ПДК), индекс ИЗА равен 12,49. В Ленинском районе отмечается повышение содержания аммиака в воздухе (среднегодовая концентрация - 1,5 ПДК), ИЗА составляет 9,58 [1,6].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в летний период (август) 1997-1999 гг. Объектами исследований являлись лиственные и хвойные породы древесных растений - береза повислая, и сосна обыкновенная, широко представленные в озеленении г. Кемерово. Возраст деревьев составлял 30-50 лет. Пробные площади были выбраны на территории 5 существующих районов города - Ленинского, Центрального, Заводского, Кировского, Рудничного в однопипных озелененных территориях - скверах. Контрольные деревья произрастали на фоновых участках, расположенных в 30 километровой зоне северо-восточного направления от городской черты. Для морфо-биометрических исследований с 10 модельных деревьев каждого района срезали по 10 ветвей (секатором на шесте с южной стороны из середины кроны дерева). Размеры побегов и хвои измеряли с помощью штангенциркуля с точностью до 0,01 мм, сухой вес хвои определялся после сушки при +105°C на аналитических весах. Радиальный годичный прирост изучали путем отбора кернов приростным буром с северной стороны ствола на высоте 1,3 м у 20 модельных деревьев каждого района. Толщину годичных колец определяли с помощью микроскопа МБС-2 и окулярного микрометра МОВ-10 с точностью до 0,05 мм. Математическая обработка материала проведена с помощью статистического пакета Statistic 5,5 для IBM совместимых компьютеров. Для расчета корреляции между изучаемыми параметрами растений и уровнями загрязнения атмосферного воздуха различных районов города использовали среднегодовые концентрации вредных веществ в атмосфере, рассчитанные по 11 веществам (диоксид азота + диоксид серы + аммиак + фенол + сероуглерод + сероводород + серная кислота + формальдегид + оксид углерода + сажа + взвешенные вещества) [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты наших исследований показывают, что в условиях г. Кемерово уменьшаются размеры годовичных отрезков боковых побегов у всех исследуемых древесных растений (табл.1). В среднем в черте города прирост боковых побегов у березы повислой снижается по сравнению с контролем на 26,49%, у сосны обыкновенной на 20,91 % (средние показатели за 1997-1999 гг.).

Таблица 1

Изменение прироста боковых побегов древесных растений в длину в условиях г. Кемерово

Районы	Породы	1997 г		1998 г		1999 г	
		см	% от конт	см	% от конт	см	% от конт
Контроль	Сосна	6,20±0,33	100	7,90±0,41	100	9,15±0,82	100
	Береза	8,90±0,78	100	12,2±0,97	100	14,12±1,10	100
Ленинский	Сосна	5,80±0,44	93,5	6,00±0,25	75,94	8,80±0,61	96,2
	Береза	8,20±0,31	92,1	8,22±0,54*	67,4	12,40±0,91	87,3
Центральный	Сосна	5,43±0,38	87,6	6,28±0,13*	79,5	8,20±0,66	89,6
	Береза	6,02±0,59*	67,7	8,50±0,26*	69,7	11,5±1,00*	81,4
Заводский	Сосна	4,50±0,23*	72,6	6,40±0,53*	71,9	6,80±0,62*	74,3
	Береза	6,19±0,49*	69,6	8,50±0,64*	69,7	9,01±0,76*	63,8
Кировский	Сосна	5,01±0,28	80,9	6,10±0,34*	77,1	6,20±0,51*	67,8
	Береза	5,97±0,29*	67,1	7,67±0,61*	62,9	12,1±0,95	85,2
Рудничный	Сосна	4,30±0,13*	69,4	5,80±0,46*	75,4	6,81±0,58*	74,4
	Береза	7,40±0,62	83,2	7,95±0,67*	65,2	9,87±8,13*	69,9

*- отмечены достоверные отличия от контроля при $V_{0,95}$

Сравнивая исследуемые районы между собой очевиден факт наименьшего прироста боковых побегов у деревьев Заводского, Кировского и Рудничного районов. У березы повислой Заводского, Кировского и Рудничного районов прирост боковых побегов меньше, чем в контроле на 32,3; 28,3 и 27,23 % соответственно, у сосны обыкновенной - на 27,07; 24,73; 27,0 % соответственно (средние показатели за 1997-1999 гг.). Однако следует отметить, что достоверная отрицательная корреляционная связь между годовичным приростом побегов и уровнями загрязнения районов города наблюдается лишь у сосны обыкновенной при невысоком уровне значимости - $p < 0,1$ ($r = -0,83$; $t = 2,59$ при $n = 3$; здесь и далее в тексте r - коэффициент корреляции, t - критерий достоверности коэффициента корреляции, n - число степеней свободы, p - уровень значимости).

У сосны обыкновенной, наряду со снижением прироста боковых побегов в городских условиях изменяются морфометрические показатели хвои. Наблюдается снижение продолжительности жизни хвои до 3,0 лет (Кировский рай-

он) (у контрольных растений возраст хвои составляет 4,8), отмечаются точечные некрозы и пожелтение верхушек хвои, наблюдается тенденция к удлинению хвоинок, хотя их сухой вес падает (сухой вес 50 хвоинок уменьшается в Заводском, Кировском и Рудничном районах на 0,485; 0,35 и 0,37 г соответственно по сравнению с контролем).

Таблица 2

Морфометрические показатели ассимиляционного аппарата хвойных древесных пород в условиях г. Кемерово (средние данные за 1997-1999 гг)

Исследуемые районы	Сухой вес 50 хвоинок (г)	Длина хвоинки (мм)	Возраст хвои (лет)	Визуальные признаки повреждений
Контроль	1,310±0,16	6,69±0,29	4,8±0,27	
Ленинский	1,302±0,09	7,04±0,41	3,6±0,24	Единичные точечные некрозы на хвое старше 2 лет
Центральный	1,00±0,078	7,28±0,55	4,2±0,31	Точечные некрозы на хвое старше 2 лет
Заводский	0,825±0,067*	7,15±0,48*	3,4±0,19*	Повсеместное пожелтение верхушек
Кировский	0,96±0,063*	7,07±0,24	3,0±0,21*	Точечные некрозы и пожелтение верхушек на хвое старше 2 лет
Рудничный	0,94±0,073*	7,23±0,45*	3,2±0,10*	Единичные точечные некрозы и пожелтение верхушек на хвое старше 2 лет

* Отмечены достоверные отличия от контроля при $B_{0,95}$.

Следует отметить, что наиболее отчетливые изменения морфометрических показателей хвои отмечаются в Заводском, Кировском и Рудничном районах города. Выявленная отрицательная корреляция между морфометрическими показателями хвои (возраст хвои) и уровнями загрязнения атмосферного воздуха отмечается при $p < 0,1$ ($r = 0,8$; $t = 2,42$ при $n = 3$).

Промышленное загрязнение атмосферного воздуха г. Кемерово вызывает снижение радиального прироста у исследуемых древесных растений - сосны обыкновенной и березы повислой. По степени снижения радиального прироста можно оценить устойчивость древесных пород к неблагоприятным городским условиям и степени подавления у них экологических и санитарно-гигиенических функций. Наши данные (табл.3) показывают, что более суще-

ственное снижение радиального годовичного прироста отмечается у хвойной породы.

Таблица 3

Изменение радиального годовичного прироста деревьев различных районов г. Кемерово

Варианты	Породы	средний прирост в мм			
		сумма 1995-1999 гг	% от конт.	Средний Годичный за 1995-1999 гг.	% от конт
Контроль	Сосна	25,5	100	5,1±0,32	100
	Береза	24,0	100	4,8±0,21	100
Ленинский	Сосна	18,5	73,9	3,7±0,22*	72,5
	Береза	19,5	86,2	3,9±0,19*	81,3
Центральный	Сосна	16,5	64,0	3,3±0,18*	64,7
	Береза	15,8	67,1	3,16±0,27*	65,8
Заводский	Сосна	12,05	46,6	2,41±0,19*	47,3
	Береза	14,6	61,9	2,92±0,20*	60,8
Кировский	Сосна	6,5	26,5	1,3±0,09*	25,5
	Береза	12,55	54,4	2,51±0,23*	52,3
Рудничный	Сосна	9,65	38,3	1,93±0,14*	37,8
	Береза	13,9	58,9	2,78±0,16*	57,9

*- отмечены достоверные отличия от контроля при $V_{0,95}$

Так, у сосны обыкновенной в условиях города средний радиальный годовичный прирост за 1995-1999 гг снижается на 28-74,5 %, а у березы повислой - на 18,7-47,7 %. По данному показателю установлена высокая степень отрицательной корреляционной связи с уровнями загрязнения районов (у сосны обыкновенной $r = - 0,96$; $t = 6,0$, $p < 0,01$; у березы повислой $r = - 0,97$; $t = 6,92$; $p < 0,01$ при $n = 3$). В максимально загрязненных районах города - Заводском, Кировском и Рудничном отмечается более существенное снижение радиального годовичного прироста: у сосны сумма радиального прироста за 1995-1999 гг снижается на 53,4; 73,5 и 61,7 %, у березы повислой на 50,5; 60,0; 60,7 % соответственно относительно контроля.

Установленный факт можно объяснить тем, что хвойные и лиственные породы характеризуются различной устойчивостью на уровне ассимиляционного аппарата и целостного растения. У хвойных в условиях городской среды наблюдается снижение общего количества хвои на дереве за счет ее преждевременного отмирания, вследствие чего падает продуктивность дерева, что интегрально отражается на радиальном годовичном приросте, наблюдается угнетение растений, снижается декоративность и санитарно-гигиенические функции. В то время как у листопадных деревьев листовая поверхность в те-

чение вегетационного сезона может поражаться, опадать и вновь формироваться за счет почек следующего сезона, не приводя к преждевременному отмиранию растения, хотя при этом и происходит его значительное общее ослабление. В этом состоит принципиальное различие в большей газоустойчивости

ВЫВОДЫ

1. Результатами экспериментов установлена возможность определения состояния древесных растений в условиях промышленного города по изменению морфо-биометрических показателей и радиального годичного прироста:

✦ у всех исследуемых растений - березы повислой, ели сибирской, сосны обыкновенной отмечается снижение прироста боковых побегов в длину;

✦ у хвойных растений - сосны обыкновенной в условиях города снижается продолжительность жизни хвои, на ней отмечаются визуальные признаки повреждения, снижается сухой вес хвоинок; максимально снижается радиальный годичный прирост, что указывает на их меньшую устойчивость к воздействию поллютантов по сравнению с лиственными деревьями на уровне целостного организма.

2. Более существенные изменения признаков характерны для деревьев Заводского, Кировского и Рудничного районов города, что позволяет заключить о их значительном загрязнении.

3. Выявлена сильная степень отрицательной корреляции между радиальным годичным приростом деревьев и уровнями загрязнения районов, что позволяет сделать вывод о возможности использования этого показателя для индикации загрязнения атмосферного воздуха городской среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Состояние окружающей природной среды Кемеровской области в 1999 году: Доклад Государственного комитета по охране окружающей среды Кемеровской области. Кемерово: Кузбассвуиздат. 2000. 289 с.
2. Аугустайтис А.А. Закономерности роста сосновых древостоев при различном уровне загрязнения природной среды. Автореф. Дис... канд. наук. М. 1992. 22с.
3. Баканов А.В. Экологическая оценка состояния лесных насаждений с помощью методов фитоиндикации на примере Сергиево-Пасадского района. Дисс.... канд. наук.. М. 1997. 198с.
4. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения окружающей среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. М.: МГУЛ. 1998. 193с.

5. Фролов А.К. Окружающая среда крупного города и жизнь растений в нем. СПб.: Наука. 1998. 328 с.
6. Зайцев В.И. Здоровье населения и окружающая среда г. Кемерово. Кемерово: Кемеровский полиграфкомбинат. 2000. 221 с.

The morphometrical diagnostics of a condition of wood plantings as a way of indication of pollution of the urbanized environment

O.A.Neverova

The growth of side sprouts and annual radial growth of Pendulous Birch (*Betula pendula* Roth) and Pine dace (*Pinus Sylvestris* L) decelerate. The morphometrical indices of *Pinus Sylvestris* L needles deteriorate: dry weight of the needles and their lifetime lessen, visual signs of damage emerge on the needles, and, consequently, the deceleration of annual radial growth can be observed to a greater extent as compared to *Betula pendula* Roth. It points out at lesser tolerance of conifers to the impact of the pollutants in comparison with deciduous trees on the level of the whole organism.

The maximum modifications are characteristic for the trees growing in Zavodsky, Kirovsky, and Rudnichny districts, which allow to draw a conclusion concerning the considerable pollution level in those areas.

High degree of negative correlation between actual annual growth and actual pollution level of the districts is detected. It allows to make a conclusion concerning the possibility of application of this index for atmospheric our pollution indication in the city environment.