

УДК 574.21(571.1)

СОСТОЯНИЕ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В РАЗНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗОНАХ СИБИРСКОГО ГОРОДА

© 2016 А.П. Беланова, Е.В. Банаев, М.А. Томошевич, Л.Н. Чиндяева

Центральный сибирский ботанический сад, г. Новосибирск

Статья поступила в редакцию 18.05.2016

В статье рассмотрены особенности жизненного состояния распространенных в озеленении г. Новосибирска видов древесных растений – *Betula pendula* Roth. и *Tilia cordata* Mill. Проанализированы морфологические параметры кроны и листьев в разных экологических условиях города. Установлено, что в условиях высокой техногенной нагрузки на магистралях у *B. pendula* наблюдается снижение плотности кроны, уменьшение размеров ассимилирующих органов и их деформация. Выявлены достоверные различия параметров листовых пластинок у растений *Betula pendula*, произрастающих вдоль магистралей и в парках. У *T. cordata* видимых признаков хронического поражения органов не обнаружено, в зонах с крайне неблагоприятной экологической обстановкой наблюдалось увеличение размеров листовой пластинки.

Ключевые слова: урбанизированная среда, жизненное состояние, *Betula pendula*, *Tilia cordata*, экологическая зона, морфологический параметр, листовая пластинка

Проблеме устойчивости древесных растений в урбанизированной среде посвящено значительное число работ [1-3, 5, 6], однако эти исследования остаются актуальными ввиду специфичности условий разных промышленных городов и объектов. Некоторые аспекты взаимодействия «растения – городская среда» недостаточно изучены, в частности, особенности развития листового аппарата древесных растений. Параметры листа как специализированного ассимилирующего органа, с одной стороны, отличаются эволюционным консерватизмом и достаточно устойчивы к модифицирующему влиянию среды, с другой, обладают высокой степенью морфологической адаптации, играя важнейшую роль в приспособлении растений к многообразным условиям, включая зоны с техногенным загрязнением [1-3].

Цель исследований: анализ жизненного состояния *Betula pendula* Roth. и *Tilia cordata* Mill. и сравнительная оценка показателей вегетативных органов растений в различных экологических условиях г. Новосибирска.

Методы исследования. Исследования *B. pendula* и *T. cordata* проводились в течение вегетационного периода 2015 г. на территории г. Новосибирска. Для сравнительной оценки выделено 10 объектов озеленения в разных экологических зонах города (табл. 1). Экологическая обстановка проанализирована по литературным данным [3, 4] и на основе интегральной экологической карты г. Новосибирска (рис. 1). В качестве контроля использованы насаждения в экологически благоприятных условиях на территории Центрального сибирского ботанического сада (ЦСБС СО РАН).

Жизненное состояние древесных растений оценивалось по степени повреждения (изменения) ассимиляционного аппарата и крон растений согласно методике В.С. Николаевского с соавторами [5]. Учитывалось количество живых ветвей в кроне и степень

облиственности крон, количество поврежденных листьев. По результатам оценки дерева *B. pendula* и *T. cordata* разделены на три категории – хорошего (3 балла), удовлетворительного (2) и неудовлетворительного состояния (1 балл).

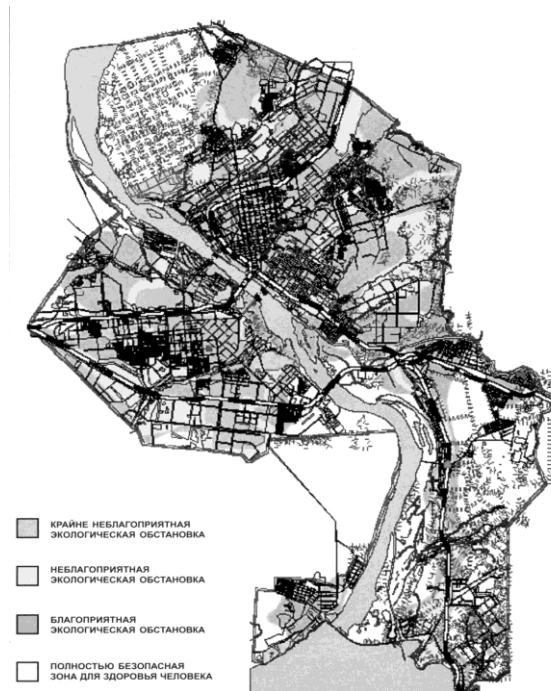


Рис. 1. Интегральная экологическая карта г. Новосибирска (2006 г.)

Сбор материала для изучения морфологических показателей листьев проводился каждые десять дней, дата первого сбора – 10 июня, последнего – 20 июля. С 10 модельных особей, отобранных методом случайной выборки, из средней части кроны отбирали 10 листьев для замера абсолютных и относительных параметров листовой пластинки: длины (А), ширины (В), площади (S), листового коэффициента (В/А). Общий объем выборки для анализа морфометрических показателей составил 4500 листьев. Для измерений использовали комплекс анализа изображений «SIAMS». Обработка полученных данных проведена с использованием общепринятых методов статистики.

Беланова Анастасия Петровна, младший научный сотрудник. E-mail: boronina.a@inbox.ru

Банаев Евгений Викторович, доктор биологических наук, директор. E-mail: alnus2005@mail.ru

Томошевич Мария Анатольевна, доктор биологических наук, старший научный сотрудник. E-mail: arysa9@mail.ru

Чиндяева Людмила Николаевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник. E-mail: lnikch@yandex.ru

Таблица 1. Характеристика объектов проведения исследований

№ объекта озеленения	Название объекта	Экологическая обстановка
1	бульвар на Красном проспекте	крайне неблагоприятная
2	ул. Богдана Хмельницкого	крайне неблагоприятная
3	ул. Центральная (п. Краснообск)	неблагоприятная
4	ул. Восточная (п. Краснообск)	неблагоприятная
5	Морской проспект (Академгородок)	неблагоприятная
6	Проспект акад. Лаврентьева (Академгородок)	неблагоприятная
7	Первомайский сквер	крайне неблагоприятная
8	сквер Славы	крайне неблагоприятная
9	парк на набережной р. Обь	крайне неблагоприятная
10	ПКиО «Березовая Роща»	крайне неблагоприятная
11	дендрарий ЦСБС (контроль)	относительно благоприятная

Результаты и их обсуждение. Территория г. Новосибирска неоднородна по экологическим условиям. Значительная часть города подвержена техногенному загрязнению, где экологическая обстановка характеризуется как неблагоприятная или критическая, опасная или крайне опасная для здоровья населения [1, 2]. Высокий уровень загрязнения воздушного бассейна во многом обусловлен выбросами теплоэнергетических предприятий и автомобильного транспорта, на долю которых приходится более $\frac{3}{4}$ всех эмиссий. Подавляющий вклад (более 80%) в загрязнение воздушной среды формальдегидом, бенз(а)пиреном и некоторыми другими токсическими веществами вносит автотранспорт [2]. Насаждения улиц и магистралей подвержены особо сильному техногенному воздействию, вызывающему угнетение ростовых и физиолого-биохимических процессов, снижение устойчивости растений, нарушения декоративного облика деревьев и кустарников. Значительный стресс испытывают растительность городских садов и парков, подвергаясь влиянию загрязняющих веществ и высокой антропогенной нагрузке.

Исследование особей *Betula pendula* на бульваре Красного проспекта показало, что 14% из общего числа деревьев березы имеют хорошее жизненное состояние, 80% – удовлетворительное и 6% – неудовлетворительное (табл. 2). Выявлено, что отмирание ветвей кроны происходит по вершинному типу, что свидетельствует о дефиците влаги. На стволах деревьев зафиксированы морозобоины трещины, не зарастающие раны (прорости), сухобочины. Такого рода пороки возникают в результате нарушения деятельности камбия, разрыва тканей дерева при резкой смене температур и увеличения механического напряжения на границах разных групп клеток [6]. Наличие у древесных растений

незарастающих ран (прорость открытая, сухобочность, трещины) косвенно свидетельствует о дефиците питательных веществ [1].

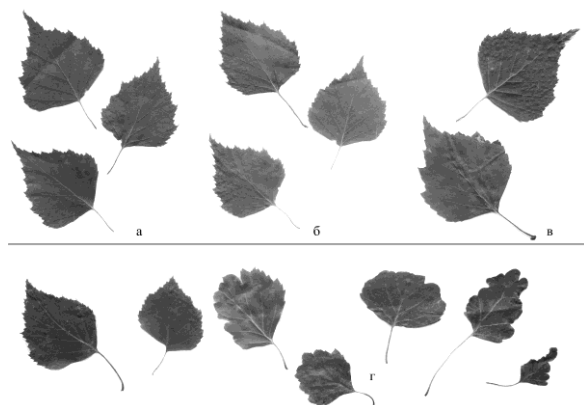
У 90% растений *Betula pendula*, произрастающих на главной магистрали города в зоне высокого экологического риска, отмечены изменения формы листовой пластинки без изменения ее окраски (рис. 2г), что обусловлено постоянным поступлением токсичных газов невысокой концентрации в приземные слои воздуха [7]. Имеются данные [8], что основные отклонения от нормы лист приобретает на стадии внутрипочечного развития, наиболее значительное влияние городские условия оказывают на деятельность меристемы в период заложения и формирования листа. У 10% исследованных растений на бульваре Красного проспекта выявлена незначительная деформация листовой пластинки, что, вероятно, связано с различной генотипической устойчивостью форм.

В отдаленных районах г. Новосибирска (п. Краснообск, Академгородок) большинство экземпляров *B. pendula* (80–82%) имели хорошее жизненное состояние, 20–22% – удовлетворительное. Суховершинные деревья не превышали 8% от числа обследованных, в основном эти растения произрастали вблизи парковок автотранспорта. Особей с неудовлетворительным жизненным состоянием не зафиксировано. На магистралях деформация листовых пластинок отмечена не более чем у 15% особей *B. pendula*. В парках и скверах г. Новосибирска, независимо от экологической обстановки, преобладали растения *B. pendula* хорошего жизненного состояния, лишь у некоторых деревьев отмечены морозобоины, открытые и закрытые прорости, сухие ветви в кроне. Изменение формы листовых пластинок не обнаружено (рис. 2б, рис. 2в).

Таблица 2. Характеристика насаждений *Betula pendula* на объектах разных эколого-функциональных групп

Объект озеленения	Жизненное состояние растений (%)			Суховершинные деревья (%)	Деревья с деформацией* листьев (%)
	неуд.	уд.	хор.		
1	6	80	14	50	90
3	-	18	82	4	5
5	-	20	80	8	15
7	-	20	80	2	-
8	-	15	85	-	-
9	-	20	80	-	-
10	-	10	90	-	-
11	-	10	90	-	-

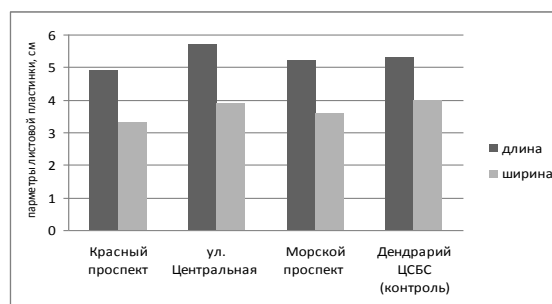
Примечание: номер объекта озеленения здесь и далее соответствует таблице 1; * – видоизменение формы, асимметрия и скручивание листовой пластинки

Рис. 2. Листья *Betula pendula*:

а – в зоне контроля, б – в парке на набережной р. Обь, в – в Первомайском сквере, г – на бульваре Красного проспекта

У контрольных экземпляров *B. pendula* из дендрария ЦСБС суховершинность не обнаружена, жизненное состояние растений оценивалось как хорошее. Листья имели форму, характерную для данного вида, морфологических отклонений не выявлено. При этом в экологически чистой зоне на листьях зафиксированы интенсивные энтомоповреждения, что косвенно может свидетельствовать о слабом техногенном воздействии (рис. 2а). Сравнительный анализ параметров листовых пластинок деревьев *B. pendula*, произрастающих на магистралях и в контроле, показал, что в более загрязненных условиях происходит уменьшение листовой пластинки (рис. 3). Полученные данные согласуются с имеющимися сведениями о том, что явление мелколистности возникает в результате торможения

роста ассимиляционного аппарата при техногенной нагрузке [7]. Также выявлено увеличение вариабельности признаков листьев растений вдоль магистралей, особенно по длине и ширине листовых пластинок (табл. 3).

Рис. 3. Параметры листовых пластинок *B. pendula*

Площадь листьев, собранных на бульваре Красного проспекта в зоне с крайне неблагоприятной экологической обстановкой, не превышала 76%, в зоне средней опасности – 96% от площади листьев контрольных экземпляров. Наименьший листовой коэффициент так же отмечен для зоны с крайне неблагоприятной экологической обстановкой. При этом, как уже отмечалось выше, несмотря на крайне неблагоприятный общий фон отдельных районов города, в парках и скверах (объекты № 7, 10) обстановка достаточно благоприятная для формирования нормальных вегетативных органов, в частности, здесь наблюдаются растения с максимальной площадью листьев (табл. 4).

Таблица 3. Варьирование параметров листовых пластинок *B. pendula*

Коэффициент вариации параметров листовой пластинки, V(%)	Красный проспект	ул. Центральная	Морской проспект	Контроль
A	19,52	19,61	13,14	17,16
B	22,36	21,14	14,3	16,26
B/A	18,35	11,49	10,67	11,69
S	14,34	12	13,51	10,23

Анализ сезонной динамики листовой пластинки показал, что на бульваре Красного проспекта (крайне неблагоприятная экологическая обстановка) рост листьев прекратился раньше, чем в зоне неблагоприятной экологической обстановке и в контроле (рис. 4). Сокращение продолжительности роста ассимиляционного аппарата является приспособительной реакцией растений к неблагоприятным условиям города [7]. Нарушения, выявленные у особей *B. pendula*, произрастающих на магистралях города, указывают на то, что

растения не могут выполнять необходимые функции в полном объеме. Снижение плотности крон, уменьшение размеров ассимиляционных органов являются характерными признаками хронического поражения растений абиотическими факторами городской среды [7, 9]. Таким образом, вид *B. pendula* в большей степени пригоден для озеленения скверов и парков, а также для широкого использования в экологически благоприятных зонах.

Таблица 4. Параметры листовых пластинок *B. pendula* на городских объектах в разных экологических зонах города

Объект озеленения	B/A	S, см ²		Экологическая обстановка
		M±m _m	Lim	
1	0,71	9,88±0,43	6,49–14,34	крайне неблагоприятная
3	0,73	11,28±0,59	7,26–16,13	неблагоприятная
5	0,73	12,59±0,74	8,11–14,88	неблагоприятная
7	0,79	15,83±0,67	13,38–20,65	крайне неблагоприятная
8	0,76	13,34±0,68	10,77–16,62	неблагоприятная
9	0,77	14,3±0,91	10,59–19,14	крайне неблагоприятная
10	0,78	17,34±1,33	11,09–24,75	крайне неблагоприятная
11	0,8	13,08±0,77	9,16–16,02	относительно благоприятная

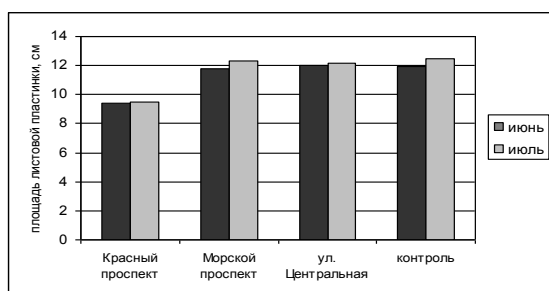


Рис. 4. Динамика роста листовой пластинки *B. pendula*

Исследование особей *Tilia cordata*, произрастающих на магистралях показало, что в зонах с крайне неблагоприятной экологической обстановкой неудовлетворительное жизненное состояние имеют 2% растений, остальные – хорошее и удовлетворительное. В кроне деревьев удовлетворительного состояния отмечено до 10-30% сухих ветвей. В зонах с неблагоприятной обстановкой растения имели хорошее (92%) и удовлетворительное (8%) жизненное состояние, суховершинных деревьев не обнаружено (табл. 5). У нескольких особей отмечены морозобоины, открытые и закрытые прорости. Изменение формы листьев не обнаружено. В садах и парках отклонений в росте и развитии особей *T. cordata* не выявлено. У некоторых деревьев зафиксированы морозобоины, открытые прорости, сухие ветви в кроне (до 10-20%). Аномалий в форме и размерах листьев не обнаружено, жизненное состояние 90–92% особей оценивалось как хорошее, у 8–10% – удовлетворительное. В контроле суховершинных деревьев также не обнаружено. Жизненное состояние всех растений оценивалось как хорошее. Однако в этих насаждениях на листьях *T. cordata* отмечены более интенсивные, чем на городских объектах, повреждения фитофагами.

Таблица 5. Характеристика насаждений *T. cordata* на объектах озеленения

Объект озеленения	Жизненное состояние растений (%)			Суховершинные особи (%)
	неуд.	уд.	хор.	
2	2	68	30	2
4	-	8	92	-
6	-	8	92	-
7	-	8	92	-
8	-	8	92	-
9	-	10	90	-
11	-	-	100	-

Явления мелколистности на магистралях города для липы не выявлено. Напротив, в зонах с крайне неблагоприятной экологической обстановкой (ул. Богдана Хмельницкого) наблюдалось увеличение всех параметров листовой пластинки в сравнении с контролем (рис. 5, табл. 6). Кроме того, в данной зоне наблюдалось уменьшение вариабельности по длине и ширине листовой пластинки ($V_A, B < 18\%$), в сравнении с контролем ($V_A = 24\%, V_B = 22\%$). Увеличение вегетативных органов, в частности, длины побегов, в условиях повышенной концентрации токсичных газов, неоднократно отмечалось другими исследователями [7, 10].

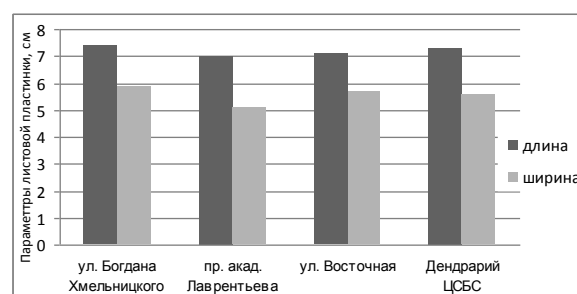


Рис. 5. Параметры листовых пластинок *T. cordata*

Таблица 6. Параметры листовых пластинок *T. cordata* на объектах города

Объект озеленения	В/А	S, см ²		Экологическая обстановка
		M±m _M	Lim	
2	0,83	31,82±2,1	41,6–17,6	крайне неблагоприятная
4	0,84	27,6±1,63	30,1–14,36	неблагоприятная
6	0,83	28,03±1,47	36,94–22,15	неблагоприятная
7	0,8	32,64±1,99	41,75–21,73	крайне неблагоприятная
8	0,82	28,55±2,11	39,19–18,39	крайне неблагоприятная
9	0,82	31,78±2,25	46,04–24,52	крайне неблагоприятная
11	0,8	28,66±2,2	35–18,34	относительно благоприятная

Выводы: результаты проведенных исследований показали, что изменения, вызванные негативным влиянием факторов городской среды, в большей степени проявляются у особей *B. pendula*, произрастающих на магистралях в зонах с крайне неблагоприятной экологической обстановкой. У деревьев наблюдаются признаки хронического поражения: снижение плотности крон, уменьшение размеров ассимиляционных органов. У растений *T. cordata* таких признаков не выявлено, напротив, наблюдалось увеличение размеров параметров листьев в зоне техногенного загрязнения. Это указывает на видоспецифичность растений и их адаптационные особенности. Вид *T. cordata* пригоден для более широкого применения в озеленении

городских территорий, включая улицы и магистрали. Использование *B. pendula* целесообразно в зонах с благоприятной экологической обстановкой, в загрязненных районах этот вид в большей степени пригоден для садов, парков и скверов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бухарина, И.Л. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде. Монография / И.Л. Бухарина, Т.М. Поварничина, К.Е. Ведерников. – Ижевск, 2007. 216 с.
2. Павлов, И.Н. Древесные растения в условиях техногенного загрязнения. Монография. – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2005. 370 с.

3. Гетко, Н.В. Растения в техногенной среде: структура и функция ассимиляционного аппарата. – М.:Наука и техника, 1989. 208 с.
4. Интегральная экологическая карта г. Новосибирск [Электронный ресурс]/ Режим доступа <http://www.balatsky.ru/Akadem/ekologia.htm>.
5. Пивкин, В.М. Экологическая инфраструктура сибирского города (на примере Новосибирской агломерации). Монография / В.М. Пивкин, Л.Н. Чиндяева. – Новосибирск: Сиб-принт, 2002. 198 с.
6. Николаевский, В.С. Методы оценки состояния древесных растений и степени влияния на них неблагоприятных факторов / В.С. Николаевский, В.Г. Николаевская, Е.А. Козлова // Лесной вестник. 1999. № 2. С. 76-79.
7. Мазуркин, П.М. Оценка и прогноз качества лесной территории / П.М. Мазуркин, Э.Н. Бедертдинов, П.А. Перов // Лесной журнал. 2003. № 4. С. 33-41.
8. Ситникова, А.С. Влияние промышленных загрязнений на устойчивость растений. Монография. – Алма-Ата: Наука, 1990. 88 с.
9. Лобова, О.В. Влияние городских условий на морфологическое строение листьев и Липы мелколистной // Вестник Московского государственного института леса – Лесной вестник. 1998. № 4. С. 116-121.
10. Кулагин, Ю.З. Древесные растения и промышленная среда. Монография. – М.: Наука, 1974. 159 с.
11. Красинский, Н.П. Значение изучения дымо-газоустойчивости растений для озеленения промплощадок и населенных пунктов. Дымоустойчивость растений и дымоустойчивый ассортимент. Монография. – М.: Горький, 1950. С. 1-9.
12. Середович, В.А. Основные принципы создания интегральных экологических карт в системе экологического мониторинга / В.А. Середович, И.В. Лесных, О.Н. Николаева и др. // Интерэкспо Гео-Сибирь. №1. Т. 3. 2006. С. 168-173.

STATE OF WOODY PLANTS IN DIFFERENT ECOLOGICAL ZONES OF THE SIBERIAN CITY

© 2016 A.P. Belanova, E.V. Banaev, M.A. Tomoshevich, L.N. Chindyaeva

Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk

The article presents life state patterns of woody plant species – *Betula pendula* Roth. and *Tilia cordata* Mill. common in greening of Novosibirsk. Morphological parameters of crowns and leaves were analyzed in various ecological conditions of the city. It was established that decrease in crown density, sizes of assimilative organs and deformation of them were observed in *Betula pendula* along arterial roads under high man-made load. Reliable distinctions between parameters of leaf blades in *Betula pendula* plants growing along arterial roads and in the parks were determined. Visible features of chronic injuries of the organs in *Tilia cordata* were not found, an increase in the size of leaf blades was observed in the zones of unfavorable ecological conditions.

Key words: urbanized environment, vital state, *Betula pendula*, *Tilia cordata*, ecological zone, morphological parameter, sheet plate

Anastasia Belanova, Minor Research Fellow.

E-mail: boronina.a@inbox.ru

Evgeniy Banaev, Doctor of Biology, Director.

E-mail: alhus2005@mail.ru

Maria Tomoshevich, Doctor of Biology, Senior Research Fellow. E-mail: arysa9@mail.ru

Lyudmila Chindyaeva, Candidate of Biology, Senior Research Fellow. E-mail:

lnikch@yandex.ru