

черкивает ее принадлежность к бореальной области, что подтверждается и широкой представленностью (как и в большинстве флор Северного Кавказа) таких родов, как *Veronica* и *Carex*.

5. Флора Терского хребта является типичной для южной части бореального подцарства и несет в себе черты как бореальных, так и древнесредиземноморских флор. Их участие во флоре, как и в северокавказских флорах, возрастает с востока на запад.

Литература

1. Толмачев А.И. Методы сравнительной флористики и проблемы флорогенеза. – М., 1986. – 200 с.
2. Камелин Р.В. Флорогенетический анализ естественной флоры Средней Азии. – Л., 1973. – 260 с.
3. Гроссгейм А.А. Анализ флоры Кавказа // Тр. Бот. ин-та. Азерб. фил. АН ССР. – Баку, 1963. – Т. 1. – 260 с.
4. Гроссгейм А.А. Очерк растительного покрова Закавказья (Азербайджана, Армении, Грузии). – Тифлис, 1930. – 38 с.
5. Середин Р.М. Анализ флоры Северного Кавказа // Региональные флористические исследования: межвуз. сб. науч. тр. – Л., 1987. – С. 5–20.



УДК 630.11

Е.В. Авдеева, В.Ф. Надемянов

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ МЕТОДАМИ ДЕНДРОИНДИКАЦИИ

В статье представлены результаты оценки стабильности развития березы повислой в скверах города Красноярска по двум показателям: коэффициенту асимметрии по пяти параметрам листьев (по методике В.М. Захарова и др.) и величине асимметрии по площади листьев (по методике авторов).

Ключевые слова: техногенное воздействие, дендроиндикация, урбанизированная среда, береза повислая.

Ye.V. Avdeeva, V.F. Nademyanov

THE URBAN ENVIRONMENT CONDITION ASSESSMENT BY DENDROINDICATION METHODS

The results of the drooping birch stability development in the Krasnoyarsk public gardens according to two factors: asymmetry ratio on the leaf five parameters (by the method of V.M. Zakharov, etc.) and the leaf square asymmetry size (by the authors' method) are presented in the article.

Key words: technological impact, dendroindication, urban environment, drooping birch.

Введение. Города с высокоразвитой промышленностью являются крайне неустойчивой экосистемой, в которой природные компоненты утрачивают способность к самовосстановлению под воздействием негативных факторов. Растения в течение всей жизни привязаны к определенной территории и подвержены влиянию почвенной и воздушной сред, поэтому их состояние наиболее полно отражает комплекс стрессовых воздействий. Степень поражения растений дает возможность объективно судить об уровне техногенной нагрузки, то есть осуществлять биоиндикацию среды, одной из составляющей которой является дендроиндикация [1, 2]. К преимуществу данного метода относится достаточно низкая стоимость реализации исследований, высокая скорость получения информации и возможность характеризовать состояние среды за длительный промежуток времени. Важными показателями изменения гомеостаза морфогенетических процессов являются показатели флуктуирующей асимметрии, т.е. ненаправленные различия между правой и левой сторонами различных морфологических структур, в норме обладающие билатеральной симметрией [3].

Цель исследований. Оценка стабильности развития древесных растений в скверах г. Красноярска и разработка рекомендаций по диагностике качества среды методами дендроиндикации.

Исходя из этого, по материалам Красноярского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды проведен анализ микроклиматических условий и техногенных нагрузок различных территорий г. Красноярска. Схема расположения постов наблюдения и характеристики территорий представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема размещения объектов исследования и стационарных постов наблюдений в г. Красноярске

Анализ результатов позволил выделить три основные группы территорий по схожести климатических характеристик и техногенных нагрузок: территории в районе метеостанции «Опытное поле» (зелёная зона города), которые достоверно отличаются по климатическим условиям от всех исследуемых участков, расположенных в пределах границ города; территории, расположенные на периферии города (посты в Николаевской слободе и ул. Солнечная); территории, расположенные в жилых массивах и вблизи промышленных предприятий (посты по ул. Сурикова, Матросова, Чайковского, Тельмана) (рис. 1).

Таким образом, анализ микроклиматических условий территории крупного промышленного города, расположенного на стыке восьми типов ландшафтов, показал, что на его территории складываются различные мезоклиматические условия, которые зависят от исходных природных условий и плотности техногенных факторов. Данные обстоятельства легли в основу выбора объектов озеленения для проведения исследований.

На сегодняшний день большой удельный вес в системе озеленения городов занимают скверы. Они значительно видоизменяют городскую среду, усиливают фактор включения в нее природных компонентов, поэтому изучение состояния зеленых насаждений скверов является весьма актуальной задачей.

Объекты и методы исследований. В качестве объекта исследований выбрана береза повислая, так как данный вид в г. Красноярске отвечает всем требованиям, предъявляемым к растениям-биоиндикаторам [1]. Сбор материалов проводился в скверах г. Красноярска, расположенных вблизи стационарных постов наблюдения (рис. 1), что позволяет достоверно оценить уровень влияния техногенных факторов и степень отзывчивости растений на них. Листья с деревьев собирались в начале сентября после завершения их интенсивного роста с укороченных побегов нижней части кроны, с ветвей разно ориентированных по сторонам света. Сбор листьев производился в двух местах каждого сквера: центра сквера и его периферии. Собранный материал был сканирован с разрешением 300 dpi.

На каждом образце проводились замеры пяти параметров с каждой половины листа (рис. 2). Для повышения точности обработка собранного материала проводилась с использованием программ КОМПАС, «Анализ листовых пластин» и MS Excel.

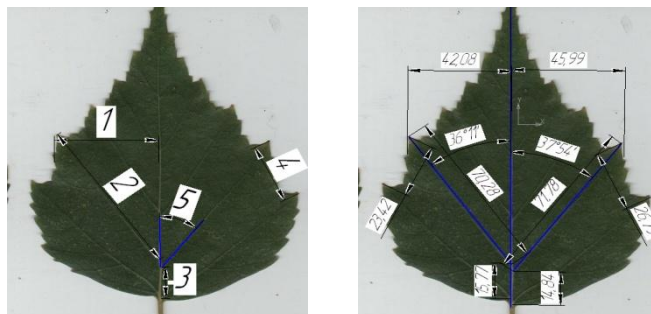


Рис. 2. Параметры измерений листовой пластины березы:

- 1 – ширина половинки листа;
- 2 – длина второй жилки второго порядка от основания листа;
- 3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка;
- 4 – расстояние между концами этих жилок;
- 5 – угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка

Оценка развития стабильности березы повислой проводилась по двум показателям: коэффициенту асимметрии по пяти параметрам листьев (по методике В.М. Захарова и др.) и величине асимметрии по площади листьев (по методике авторов). В основу методики оценки флуктуирующей асимметрии листовых пластин положена теория «Стабильности развития морфогенетического гомеостаза», разработанная В.М. Захаровым, А.В. Яблоковым и другими в процессе исследований последствий радиоактивного заражения после Чернобыльской аварии. Авторы доказали, что стрессовые воздействия вызывают в живых организмах изменения стабильности развития, которые могут быть оценены по нарушению морфогенетических процессов [3]. Величина асимметричности оценивалась с помощью интегрального показателя – величины среднего относительного различия на признак. Оценка флуктуирующей асимметрии листовых пластин березы повислой определялась как отношение разности значений с левой и правой сторон к их сумме. Значение относительного различия между сторонами на признак для каждого листа определялось как среднее арифметическое значение относительных различий между признаками левой и правой сторон. Среднее относительное различие на признак для всей выборки определялось как среднее арифметическое значение относительных различий между сторонами на признак для всего листа. Полученный показатель характеризует степень асимметричности организма, для которого В.М. Захаровым и др. разработана шкала отклонений, в которой значения показателя асимметричности до 0,055 характеризуют состояние среды как условную норму, а значение более 0,7 оценивают ее как критическое состояние среды [4].

Авторами предлагается методика определения состояния среды по асимметрии листовой пластины по площади половинок листовых поверхностей. Для повышения точности и достоверности результатов площадь половинок листа определялась с использованием программы LeafProg «Анализ листовой пластины древесных растений» (рис. 3), разработанной на кафедре технологий и машин природообустройства Сибирского государственного технологического университета (свид. о гос. регистрации № 2009614523) Е.В. Авдеевой, А.А. Карповым с точностью до 1 мм².

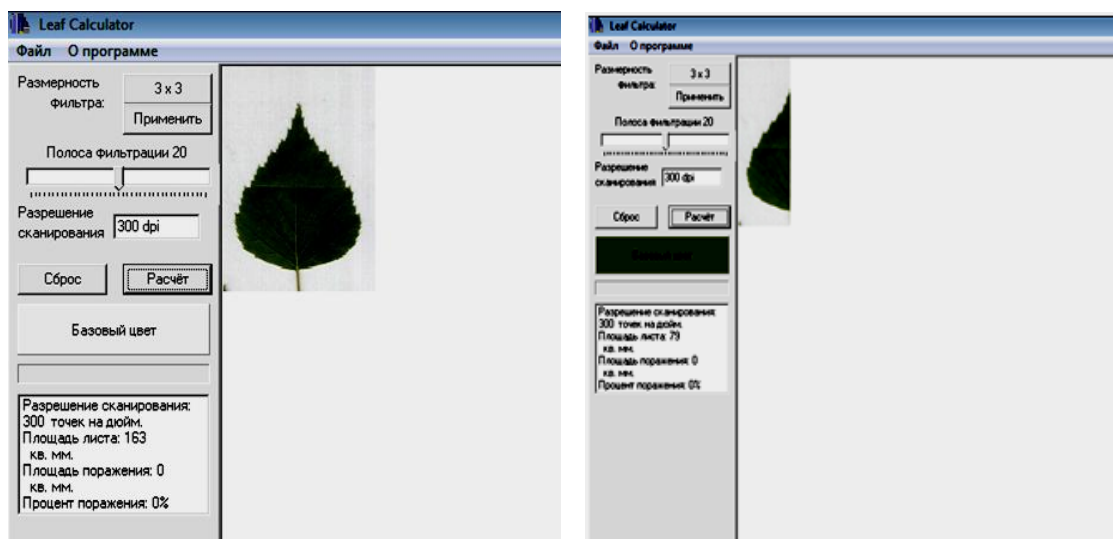


Рис. 3. Определение площади листовой пластины в программе LeafProg «Анализ листовой пластины древесных растений»

Асимметрия листовой пластины по площади определяется как отношение площадей меньшей половины листа к большей. Асимметрия листовых пластин по площади для всей выборки определялась как среднее арифметическое значение.

Результаты исследований и их обсуждение. Исследования показали, что под влиянием техногенных воздействий происходят изменения размеров и величины флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой. Полученные данные, представленные в табл. 1, отражают соответствие уровня загрязнения среды по состоянию асимметрии листовых пластин.

Статистические параметры исследуемых выборок берёзы повислой в скверах г. Красноярска

Берёза повислая								
Пункт наблюдения	Наименование объекта	Объём выборки	$-\bar{X}$	$\pm m$	$\pm \sigma$	V, %	Уровень изменчивости	P, %
Величина коэффициента асимметрии по пяти признакам								
№1 Метеостанция «Опытное поле», Плодово-ягодная станция	Контроль 5 км	50	0,049	0,003	0,021	42,878	Большая	6,064
	Плодово-ягодная станция	50	0,050	0,002	0,017	34,165	Большая	4,832
№21 ул. Тимирязева, 2а "Николаевская слобода"	Сквер «Ботанический»	50	0,062	0,004	0,031	50,412	Большая	7,129
	Сквер «Серебрянный»	100	0,060	0,003	0,028	47,385	Большая	4,739
№3 ул. Сурикова, 54	Сквер В.И. Сурикова	100	0,073	0,003	0,034	47,068	Большая	4,707
№5 ул. Тельмана, 16	Сквер «Космонавтов»	100	0,060	0,003	0,031	52,013	Очень большая	5,201
№7 ул. Матросова, 4	Сквер «Панюковский»	100	0,062	0,004	0,038	61,916	Очень большая	6,192
№8 ул. Кутузова, 92	Сквер «Энтузиастов»	100	0,062	0,004	0,042	67,388	Очень большая	6,739
	Сквер «Семейный»	100	0,067	0,005	0,048	72,708	Очень большая	7,271
№9 ул. Чайковского, 7	Сквер у проходной ХМЗ	50	0,064	0,003	0,018	28,265	Большая	3,997
№20 ул. Солнечная, 8	Сквер «Одесский»	50	0,073	0,005	0,032	44,053	Большая	6,230
Величина асимметрии по площади листьев, %								
№1 Метеостанция «Опытное поле», Плодово-ягодная станция	Контроль 5 км	50	9,400	0,622	4,399	46,793	Большая	6,617
	Плодово-ягодная станция	50	8,460	0,751	5,309	62,752	Очень большая	8,874
№21 ул. Тимирязева, 2а "Николаевская слобода"	Сквер «Ботанический»	50	10,980	0,490	4,901	44,636	Большая	4,464
	Сквер «Серебрянный»	100	10,665	0,755	7,552	70,810	Очень большая	7,081
№3 ул. Сурикова, 54	Сквер В.И. Сурикова	100	13,485	0,811	8,111	60,150	Очень большая	6,015
№5 ул. Тельмана, 16	Сквер «Космонавтов»	100	10,190	0,568	5,681	55,748	Очень большая	5,575
№7 ул. Матросова, 4	Сквер «Панюковский»	100	10,460	0,719	7,189	68,729	Очень большая	6,873
№8 ул. Кутузова, 92	Сквер «Энтузиастов»	100	11,235	0,605	6,053	53,877	Очень большая	5,388
	Сквер «Семейный»	100	12,000	0,770	7,703	64,191	Очень большая	6,419
№9 ул. Чайковского, 7	Сквер у проходной ХМЗ	50	11,200	0,370	2,616	23,359	Большая	3,303
№20 ул. Солнечная, 8	Сквер «Одесский»	50	12,800	1,112	7,863	61,427	Очень большая	8,687

Проведенные исследования позволили установить величину изменения асимметрии листовых пластин деревьев березы повислой, произрастающих в различных градостроительных условиях г. Красноярск и сопоставить их с уровнем техногенной нагрузки в местах проведения исследований (по данным со стационарных постов наблюдения) (рис. 4).

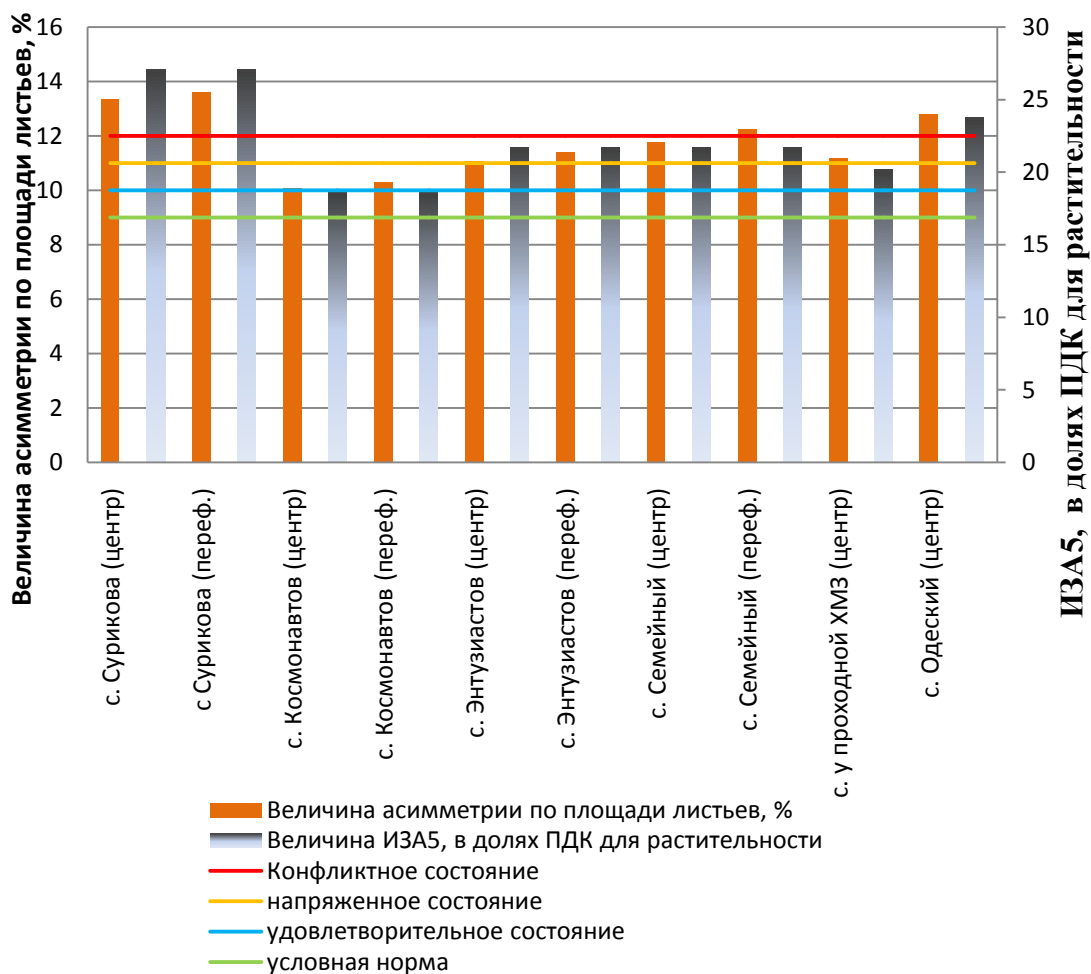


Рис. 4. Соответствие величины асимметрии по площади листьев значению IZA₅

Наименьший уровень нарушений стабильности развития растений наблюдается на двух контрольных участках в районе Плодово-ягодной станции, где уровень загрязнения атмосферы минимальный. Данные объекты находятся за чертой города, вдали от предприятий и автомагистралей. Величина коэффициента асимметрии по пяти параметрам листьев и величина асимметрии по их площади на данном объекте не превышает условной нормы (табл. 1). Значения показателей асимметричности листовых пластин у березы повислой, произрастающей в скверах «Ботанический», «Серебряный», «Космонавтов», составляет от 0,5 до 0,6, что соответствует удовлетворительному состоянию качества среды. В скверах «Энтузиастов», у проходной ХМЗ и «Панюковский» состояние напряженное, показатели асимметричности листовых пластин от 0,6 до 0,7. Наибольшее снижение стабильности развития растений отмечено в выборках скверов «Семейный», «Одесский» и им. В.И. Сурикова, где уровень качества среды от 0,7 и выше, что характеризуется как конфликтное состояние. Необходимо отметить, что данная тенденция прослеживается как при сравнении коэффициента асимметрии по пяти признакам, так и при сравнении величины асимметрии по площади половинок листа (табл. 1).

Полученные данные соответствуют показателям стационарных постов наблюдения за качеством атмосферного воздуха. Проведенные исследования позволяют сделать выводы о том, что береза повислая достаточно чутко реагирует на воздействие городской среды, а коэффициенты асимметрии листовых пластин отражают состояние городской среды и условия роста растений. На основании полученных результатов (рис. 1) в соответствии с методикой и данными В.М. Захарова [3, 4] нами разработана шкала оценки состояния среды по значению коэффициента асимметричности по площади листовых пластин (табл. 2).

Оценка качества среды (по методике авторов)

Значения показателя асимметричности, %	Оценка качества среды
До 9	Условная норма
От 9 до 10	Удовлетворительное состояние
От 10 до 11	Напряженное состояние
От 11 до 12	Конфликтное состояние
Более 12	Критическое состояние

Анализ результатов исследований показал, что как по интегральной величине флуктуирующей асимметрии листовых пластин по пяти признакам, так и величине асимметрии по площади половинок листьев, разница между полученными данными в центре сквера и на периферии является статистически недостоверной, так как $t_{ф} < t_{табл}$. При вероятности $p=0,01$ и числам степеней свободы $v=98$, $t_{табл}=2,63$ (табл. 3)

Таблица 3

Оценка достоверности различий величины асимметрии по площади листьев для деревьев березы повислой, произрастающих на периферии и в центре объекта

Расположение на объекте озеленения	Величина асимметрии листовых пластин по площади листьев					m _{1,2}	t _ф
	n (кол-во листьев)	\bar{X}	$\pm m$	$\pm \sigma$	X ₁ -X ₂		
Сквер «Серебряный»							
В центре сквера	50	10,590	2,011	14,217	-	-	-
На периферии	50	10,740	1,258	8,896	-	-	-
	-	-	-	-	-0,150	2,396	-0,063
Сквер им. В.И. Сурикова							
В центре сквера	50	13,370	1,228	8,684	-	-	-
На периферии	50	13,600	1,066	7,538	-	-	-
	-	-	-	-	-0,230	1,643	-0,140
Сквер «Космонавтов»							
В центре сквера	50	10,070	0,767	5,423	-	-	-
На периферии	50	10,310	0,840	5,939	-	-	-
	-	-	-	-	-0,240	1,149	-0,209
Сквер «Панюковский»							
В центре сквера	50	10,440	0,900	6,364	-	-	-
На периферии	50	10,480	1,133	8,014	-	-	-
	-	-	-	-	-0,040	1,462	-0,027
Сквер «Энтузиастов»							
В центре сквера	50	11,080	0,704	4,975	-	-	-
На периферии	50	11,390	1,008	7,131	-	-	-
	-	-	-	-	-0,310	1,242	-0,250
Сквер «Семейный»							
В центре сквера	50	11,760	0,934	6,607	-	-	-
На периферии	50	12,240	1,244	8,798	-	-	-
	-	-	-	-	-0,480	1,572	-0,305

Заключение. На сегодняшний день при сложившейся архитектурно-планировочной структуре скверов ни плотность зеленых насаждений, расположенных по периферии скверов, ни размеры их площадей не способны изменить уровень воздействия техногенных воздействий, что отражается на состоянии листовых пластин березы повислой.

Исследования стабильности развития березы повислой в условиях городской среды позволяют сделать ряд выводов: выявленная зависимость к снижению стабильности развития березы повислой адекватна увеличению уровня антропогенной нагрузки; совмещение коэффициентов асимметрии, рассчитанных различными методами, позволили разработать шкалу оценки качества среды по величине асимметрии площади листовых пластин; полученные результаты позволяют определить уровень загрязнения среды по состоянию асимметрии листовых пластин березы повислой.

Таким образом, анализ состояния древесных растений, произрастающих на объектах озеленения города Красноярска, показал, что сложившаяся экологическая ситуация оказывает значительную дополнительную нагрузку на природный комплекс и обуславливает антропогенную модификацию естественных факторов, характерных для данного региона, что сказывается на изменении свойств отдельных биотических компонентов и качестве среды, которые должны рассматриваться и оцениваться с учетом потребностей всех живых организмов.

Литература

1. *Авдеева Е.В.* Рост и индикаторная роль древесных растений в урбанизированной среде: монография. – Красноярск: СибГТУ, 2007. – 382 с.
2. *Авдеева Е.В., Вагнер Е.А., Извеков А.А.* Динамика формирования урбанизированной среды (на примере г. Красноярска) // Системы, методы, технологии. – Братск, 2012. – № 2. – С. 130–138.
3. *Здоровье среды: практика оценки / В.М. Захаров, А.Т. Чубинишвили, С.Г. Дмитриев [и др.].* – М., 2000. – 320 с.
4. *Захаров В.М.* Здоровье среды: методика оценки. – М., 2000. – 40 с.

