

*О. В. Ерещенко, Л. П. Хлебова*

**Изменение морфометрических параметров листовой пластинки березы повислой *Betula pendula* Roth. в условиях Барнаула\***

*O. V. Ereschenko, L. P. Khlebova*

**Changing the Morphometric Parameters of the Leaf Blade of Birch *Betula pendula* Roth. in the Barnaul**

Представлены результаты оценки флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой, произрастающей в различных районах Барнаула. Обнаружена вариация показателей асимметрии морфологических признаков и интегральной величины флуктуирующей асимметрии листа, что может быть связано с влиянием различных факторов, среди которых самым вероятным представляется техногенный. Установлено, что наиболее чувствительными к стрессовым воздействиям признаками являются угол наклона второй жилки к центральной, ширина половинки листа и длина второй от основания листа жилки.

**Ключевые слова:** береза повислая, флуктуирующая асимметрия, морфология листа, окись углерода, окружающая среда, техногенный стресс.

DOI 10.14258/izvasu(2013)3.2-03

Алтайский край расположен в основном в зоне повышенного природного потенциала загрязнения атмосферы, который характеризуется частой повторяемостью штилей и приземных инверсий, что затрудняет рассеивание вредных веществ и способствует их накоплению в атмосфере.

Загрязнение атмосферного воздуха складывается из поступлений вредных веществ от стационарных и передвижных источников. В крае самым загрязненным является воздух городских поселений. Это связано с тем, что именно в городах сосредоточены и промышленные предприятия, и наибольшее количество автомобильного транспорта [1].

При анализе динамики выбросов вредных веществ в атмосферу Барнаула была установлена тенденция роста загрязнения атмосферы, обусловленная в основном выбросами автотранспорта, на долю которых приходится до 80% [1], что неизбежно сказывается на состоянии окружающей среды. Основной мишенью экотоксикантов при техногенном загрязнении становятся фитоценозы [2], так как растения не могут уйти

The results of evaluation of the fluctuating asymmetry of the leaf blades of *Betula pendula* from different parts of Barnaul are presented in the article. The variability of asymmetry of morphological traits and common FA levels of leaves is found out. It can be influenced by various reasons among which the anthropogenic factor is the most probable one. The most revealing morphological features of leaves were the width of half-leaf, the length of the second leaf vein from the leaf base and slope angle of the second vein to the central one.

**Key words:** *Betula pendula* Roth., fluctuating asymmetry, leaf morphology, carbon monoxide, environment, technogenic stress.

от стрессового воздействия и вынуждены адаптироваться к нему с помощью физиолого-биохимических и анатомо-морфологических перестроек организма. Возможность получить интегральную характеристику качества среды, находящейся под воздействием всего многообразия физических, химических и других факторов, дают только биологические методы, поскольку именно живые организмы несут максимальную информацию об окружающей их среде обитания. Из всего многообразия известных методов биоиндикационных исследований, пожалуй, одним из наиболее полноценных можно считать использование проявлений флуктуирующей асимметрии организмов [3].

Под флуктуирующей асимметрией (ФА) понимают незначительные и случайные (ненаправленные) отклонения от строгой билатеральной симметрии биообъектов [4]. Отсутствие абсолютно симметричных организмов можно расценивать как следствие несовершенства механизмов, контролирующих онтогенез, их неспособности противостоять негативному воздействию внешней среды [5].

\* Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный университет» на 2012–2016 гг. «Развитие Алтайского государственного университета в целях модернизации экономики и социальной сферы Алтайского края и регионов Сибири», мероприятие «Академическая мобильность» (№2013.311.2.61).

На макроскопическом уровне данный тип асимметрии предлагают использовать в качестве меры в оценке стабильности развития организма [6]. Ее уровень оказывается минимальным лишь при оптимальных условиях среды и неспецифически возрастает при любых стрессовых воздействиях. П. А. Парсонс [7] определяет флуктуирующую асимметрию как эпигенетическую меру стресса. Иными словами, флуктуирующая асимметрия характеризует способность организма к формированию фенотипа при минимальном уровне онтогенетических нарушений, который в свою очередь является показателем степени соответствия условий среды требованиям организма.

Цель данного исследования — оценка проявлений флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.) на территории Барнаула.

Объект исследования — береза повислая (*B. pendula*) из семейства *Betulaceae*, широко применяемая в озеленении городов Сибири. Она прекрасно приспособлена к перенесению низких температур, не страдает от весенних заморозков, мало требовательна к почвам, может ра-

сти на бедных песчаных и каменистых почвах, проточных болотах, светолюбива, газоустойчива [8].

Сбор растительного материала осуществляли в сентябре 2012 г. на девяти участках вблизи автодорог с различной интенсивностью движения автомобилей, а также в районах частного сектора. Контролем служил район Южно-Сибирского ботанического сада, который рассматривали как условно чистую территорию. Листья собирали с нижней части кроны, с максимального количества доступных веток деревьев зрелой стадии генеративного периода по 50 штук с каждой площадки. Измерение листовых пластинок проводили по пяти параметрам (рис. 1). На основании морфологических показателей листьев в дальнейшем рассчитывали коэффициент флуктуирующей асимметрии (ФА). Данную величину определяли как среднюю арифметическую суммы относительной величины асимметрии по всем признакам каждой особи, отнесенной к числу используемых признаков. Такой подход позволяет выявить экологическую разнородность качества среды и определить степень отклонения от экологического оптимума в каждой конкретной точке.



Рис. 1. Схема промеров листа березы повислой (*Betula pendula* Roth.):

1. Ширина половинки листа (посредине листовой пластинки). 2. Длина второй от основания листа жилки (слева и справа от центральной жилки). 3. Расстояние между первой и второй жилками, считая от черешка, в месте прикрепления их к центральной жилке (слева и справа). 4. Расстояние между первой и второй жилками, считая от черешка, с внешнего края листа (слева и справа от центральной жилки). 5. Угол наклона второй жилки к центральной (слева и справа)

На исследуемых территориях осуществляли мониторинг загрязнения атмосферы выхлопами автотранспорта путем подсчета плотности потока автомобилей. Загрязнение атмосферного воздуха отработанными газами автомобилей рассчитывали по формуле оценки концентрации окиси углерода:

$$K_{CO} = (0,5 + 0,01 N * K_T) * K_a * K_y * K_c * K_v * K_p,$$

где 0,5 — фоновое загрязнение атмосферного воздуха нетранспортного происхождения, мг/м<sup>3</sup>; N — суммарная интенсивность движения автомобилей на городской дороге, автом./ч; K<sub>T</sub> — коэффициент токсичности автомобилей по выбросам в атмосферный воздух окиси углерода; K<sub>a</sub> — коэффициент, учитывающий аэрацию местности; K<sub>y</sub> — коэффициент, учитывающий

изменение загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода в зависимости от величины продольного уклона;  $K_c$  — коэффициент, учитывающий изменение концентрации окиси углерода в зависимости от скорости ветра;  $K_v$  — то же в зависимости от относительной влажности воздуха;  $K_p$  — коэффициент увеличения загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода у пересечений.

Контрольным коэффициентом загрязнения воздуха принят  $K_{co} = 0,5$ . При  $K_{co} = 0,5-10$  интенсивность движения автотранспорта оценивали как низкую, при  $K_{co} = 10,1-30$  — среднюю, при  $K_{co}$  более 30 — высокую [9].

Результаты анализировали при помощи пакета для статистической обработки данных программы Microsoft Excel.

На исследуемых городских участках установлен различный уровень концентрации диоксида углерода (табл. 1), что позволило провести дифференци-

ацию территорий по интенсивности движения автотранспорта. Выделены районы с низкой, средней и высокой интенсивностью движения автомобилей. Различное содержание CO в атмосфере дает основание предполагать, что существуют разные экологические условия на опытных площадках. Поэтому расчет показателей флуктуирующей асимметрии проводили отдельно для каждой группы территорий.

Степень асимметрии морфологических признаков листьев березы повислой, собранных на городских участках с содержанием диоксида углерода не более  $10 \text{ мг/м}^3$ , варьировала от 0,0142 до 0,0757 (табл. 2). Интегральное значение ФА, отражающее суммарное нарушение гомеостаза развития исследуемого объекта, было относительно низким и не превышало 0,0374. Статистический анализ не выявил достоверных различий данных показателей по сравнению с контролем, что дает основание предполагать, что экологические условия этих территорий схожие.

Таблица 1

Концентрация диоксида углерода ( $K_{co}$ ) в различных районах Барнаула (2012 г.)

Точка отбора проб	$K_{co}$ , $\text{мг/м}^3$	Точка отбора проб	$K_{co}$ , $\text{мг/м}^3$	Точка отбора проб	$K_{co}$ , $\text{мг/м}^3$
ул. Лесосечная, 25 (контроль)	5,00	ул. Шукшина, 10	20,59	пл. Победы	78,93
ул. Дзержинского, 37	6,73	ул. Матросова, 12	22,42	пл. Октября	89,23
пр. Красноармейский, 133	9,77	ул. Георгиева, 41	27,09	пл. Спартака	59,86

Таблица 2

Показатели флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth.) на различных участках Барнаула (2012 г.)

Точка отбора проб	Номер признака					Коэффициент ФА
	1	2	3	4	5	
	Показатель асимметрии признаков					
<i>Территории с низкой интенсивностью движения автотранспорта</i>						
ул. Лесосечная, 25 (контроль)	0,0075	0,0196	0,0142	0,0522	0,0254	0,0238
ул. Дзержинского, 37	0,0075	0,0196	0,0142	0,0522	0,0472*	0,0282
пр. Красноармейский, 133	0,0222*	0,0196	0,0392*	0,0757*	0,0299	0,0374*
<i>Территории со средней интенсивностью движения автотранспорта</i>						
ул. Матросова, 12	0,0222*	0,0198	0,0392*	0,0757*	0,0299	0,0374*
ул. Шукшина, 10	0,0319*	0,0227*	0,0396*	0,0698*	0,0333*	0,0395*
ул. Георгиева, 41	0,0249*	0,0206*	0,0787*	0,0435*	0,0457*	0,0427*
<i>Территории с высокой интенсивностью движения автотранспорта</i>						
пл. Спартака	0,0255*	0,0247*	0,0611*	0,0642*	0,0470*	0,0445*
пл. Победы	0,0369*	0,0205*	0,1324*	0,0506*	0,0359*	0,0553*
пл. Октября	0,0197*	0,0223*	0,1908*	0,0676*	0,0602*	0,0721*
Различия с контролем достоверны: *- $P < 0,05$						

Примечание. 1 — ширина половинки листа; 2 — длина второй от основания листа жилки; 3 — расстояние между первой и второй жилками, считая от корешка, в месте прикрепления их к центральной жилке; 4 — расстояние между первой и второй жилками, считая от корешка, с внешнего края листа; 5 — угол наклона второй жилки к центральной.

На участках города, где интенсивность движения автотранспорта характеризовалась как средняя, наблюдали высокую вариабельность асимметрии различных признаков даже на одной опытной площадке. Так, например, на участке по адресу: ул. Георгиева, 41, степень асимметрии изменялась от 0,0206 (признак 2) до 0,0787 (признак 3). Тем не менее интегральные значения ФА в различных точках в пределах территории со средней интенсивностью движения практически не различались между собой, но достоверно отличались от контроля (табл. 2). Наибольшим коэффициентом асимметрии характеризовались листовые пластинки, собранные на участках с высокой интенсивностью движения автомобилей, находящиеся по адресам: пл. Победы, пл. Октября и пл. Спартака. Анализ изменчивости признаков показал, что наибольшая асимметрия проявлялась у признака 3 (расстояние между первой и второй жилками, считая от корешка, в месте прикрепления их к центральной жилке) — от 0,0611 (пл. Спартака) до 0,1908 (пл. Победы). Общий коэффициент асимметрии варьировал от 0,0445 (пл. Спартака) до 0,0721 (пл. Октября). Различия данного показателя статистически достоверны от контрольного значения. Это свидетельствует о неоднородности экологических факторов рассматриваемой территории.

Корреляционный анализ выявил наличие достоверной положительной взаимосвязи между содержанием диоксида углерода в составе атмосферы Барнаула

и величиной флуктуирующей асимметрии листьев, собранных на участках с низкой, средней и высокой интенсивностью движения автомобилей. Коэффициент корреляции равен 0,999; 0,991 и 0,539 соответственно.

Все рассмотренные нами морфологические признаки листовой пластинки березы повислой достоверно отличались от контрольных значений, за исключением расстояния между первой и второй жилками, считая от корешка, в месте прикрепления их к центральной жилке. Оценка процентного отклонения данных величин от контрольных показателей асимметрии и количества точек отбора проб, где подобные отклонения были зафиксированы, позволили построить шкалу чувствительности асимметрии морфологических признаков листовой пластинки объекта исследования к стрессовому воздействию (рис. 2). Наиболее чувствительным к техногенному стрессу оказался признак, характеризующий угол наклона второй жилки к центральной. Отклонение от нормы составило 17,3% и было достоверным в 91% случаев. Второе место занимает признак — ширина половинки листа, где отклонения от нормы составили 14,1%. Два следующих признака (длина второй от основания листа жилки, расстояние между первой и второй жилками, считая от корешка, с внешнего края листа) имели сходные параметры отклонений (12,8 и 11,9% соответственно), но существенно различались по частоте достоверных случаев — 21 и 4% соответственно.

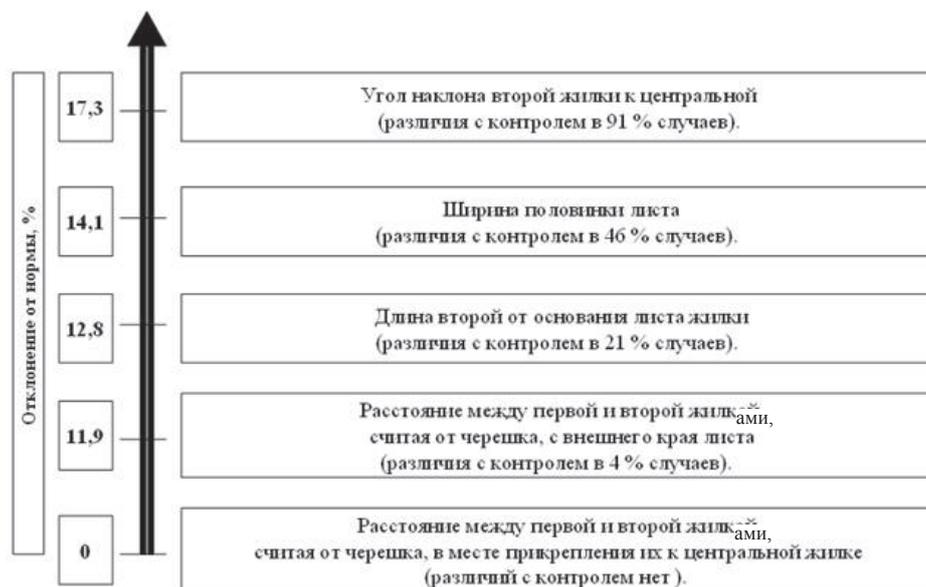


Рис. 2. Шкала чувствительности асимметрии морфологических признаков листовой пластинки березы повислой к стрессовому воздействию

Таким образом, выполненные исследования подтверждают возможность использования рассмотренных морфологических показателей листовой пластинки березы повислой, а также величин ФА для характеристики экологического состояния город-

ской экосистемы. Проведение дальнейшей работы по оценке и анализу флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой на территории города позволит пополнить и актуализировать базу данных о состоянии окружающей среды Барнаула.

### Библиографический список

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Алтайском крае в 2010 году». — Барнаул, 2011.
2. Tekle K. Vegetation on Hill Slopes in Southern Wello, Ethiopia: Degradation and Regeneration // Nord.J. Bot. — 1997. — V. 17. — № 5.
3. Будилев В.В. Флуктуирующая асимметрия членистоногих биоценозов правобережья реки Сура // Актуальные проблемы биологии, экологии, методики преподавания и педагогики. — Саранск, 2009.
4. Mather K. General Control of Stability in Development // Heredity. — 1953. — Vol. 7. — № 3.
5. Palmer A.R., Strobeck C. Fluctuating Asymmetry: Measurement, Analysis, Patterns // Ann. Rev. Ecol. Syst. — 1986. — № 17.
6. Захаров В.М. Онтогенез и популяция (стабильность развития и популяционная изменчивость) // Экология. — 2001. — № 3.
7. Parsons P.A. Fluctuating Asymmetry: an Epigenetic Measure of Stress // Biol. Rev. — 1990. — Vol. 65.
8. Хузина Г.Р. Влияние урбаноcреды на морфометрические показатели листа березы повислой (*Betula pendula* Roth.) // Вестник Удмуртского университета. — 2010. — Вып. 3.
9. Соколова Г.Г., Тиньгаева А.Ю. Влияние загрязнения атмосферы на состояние хвойных деревьев в Барнауле // Известия Алтайского государственного университета. — 2006. — № 3(41).