

УДК 574:504.054 (571.150)

Г.Г. Соколова  
Е.П. Клоус

G.G. Sokolova  
E.P. Klous

## ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ ЛИСТОВЫХ ОРГАНОВ БЕРЕЗЫ БОРОДАВЧАТОЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДА БИЙСКА

### SUSTAINABILITY EVALUATION OF THE BETULA PENDULA LEAF ORGANS UNDER CONDITIONS OF BIJSK CITY

В статье рассматриваются результаты исследования влияния загрязнения воздушной среды г. Бийска на морфологические параметры листовых органов березы бородавчатой. Отмечено достоверное увеличение ширины левой и правой половины листа, длины жилки второго порядка, расстояния жилок второго порядка, угла между жилками. В местах наибольшего загрязнения воздушной среды отмечена стабильность развития листьев березы бородавчатой от сильно угнетенного до критического состояния.

Негативное влияние антропогенных факторов на окружающую среду является на сегодняшний день проблемой требующей первоочередного решения. Защита атмосферы от загрязнения в результате эксплуатации автомобильного транспорта, промышленных предприятий и других объектов, является крайне актуальной, поскольку от качества атмосферного воздуха в наибольшей степени зависит не только здоровье человека, но и в целом качество жизни на планете.

В настоящее время разработаны различные способы оценки экологического состояния атмосферы, среди которых одним из перспективных направлений является фитоиндикация загрязнений, основанная на изучении различных биологических, физиологических, анатомических и других отклонений в развитии растительных организмов. В процессе онтогенеза у растений выработались определенные требования к характеру местообитания: водному и световому обеспечению, минеральному питанию, температурному режиму и т.д. Изменения, происходящие в воздушной среде под влиянием загрязнения, воздействуют на растения, приводя к различным отклонениям в их развитии.

В качестве биоиндикаторов загрязнения в городах используются древесные растения, обладающие хорошо выраженной реакцией на внешнее воздействие. Растительность садов и парков в пределах городов служит как биологическим фильтром воздуха, так и индикатором уровня загрязнения. Характер и глубина воздействия загрязнителей воздуха зависят от химической природы, концентрации газообразных токсиантов и определяемой генотипом и условиями среды устойчивости растений. Отдельные виды, сорта, разновидности и особи одного и того же вида растений по-разному реагируют на определенный загрязнитель воздуха (Соколова, Тиньгаева, 2008).

Бийск, второй по величине город Алтайского края, является мощным промышленным центром с развитой инфраструктурой. Многочисленные исследования показали, что основными загрязняющими веществами воздушного бассейна г. Бийска являются пыль, оксид углерода, формальдегид, бензапирен и диоксид азота (Ежегодник..., 2010).

В юго-западной части города находится ТЭЦ-1, здесь же сосредоточены крупные промышленные предприятия (ФНПЦ «Алтай», АО «Полиэкс», Олеумный завод). Высокая концентрация предприятий, которые загрязняют воздух взвешенными веществами, парами и газами, продуктами сгорания топлива и отходами после переработки различных веществ, является одной из основных причин неблагоприятной экологической обстановки в Бийске (Сабина, 2010).

Жилая зона города Бийска располагается в наветренном направлении от промышленной зоны, что приводит к тому, что основные загрязняющие вещества, поступающие от деятельности предприятий, рассеиваются на жилую часть города. Отсутствие обводных автомагистралей, плохое состояние дорог, увеличение количества автотранспорта также способствует повышению уровня загрязнения воздушного бассейна.

За последние 5 лет уровень загрязнения воздуха города остается высоким. Индекс загрязнения атмосферы равен 13,62 (уровень высокий); стандартный индекс загрязнения – 9,6 (уровень высокий); наибольшая повторяемость превышения ПДК по одной из наблюдаемых примесей за год составила 14,6 % (уро-

вень повышенный).

Целью нашей работы явилась оценка стабильности развития березы бородавчатой (*Betula verrucosa Ehrh.*) в условиях г. Бийска. Для реализации данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Исследовать уровень концентрации окиси углерода в воздухе в разных районах г. Бийска.
2. Выявить изменения морфологических параметров листа березы бородавчатой при разном уровне концентрации окиси углерода в воздухе.
3. Оценить флуктуирующую асимметрию и стабильность развития листьев березы бородавчатой в условиях г. Бийска.

Для изучения морфологических изменений листовых органов березы бородавчатой нами было выбрано пять контрольных точек вблизи крупных автомагистралей города. Материал для исследования отбирался на площадках, с разной степенью антропогенной нагрузки или расположенных на разном расстоянии от источников загрязнения воздушной среды. На каждой точке для исследования выбраны 10 экземпляров березы бородавчатой. Сбор материала проводился после остановки роста листьев в июле-августе. Растения выбирались с четко выраженными видовыми признаками, растущие на открытых участках, во избежание стрессового влияния условий затенения.

Листья собирались с одновозрастных особей. Морфологические параметры исследуемых деревьев: диаметр ствола – более 15 см; высота ствола – более 10 м. Листья собирались из нижней части кроны с максимального количества доступных веток и относительно равномерно вокруг дерева. Каждая выборка включала в себя минимум 10 сходных, средних по размеру, неповрежденных листьев. В качестве контроля были отобраны листья березы, произрастающей на территории заречной части города.

Параллельно в точках отбора проб осуществлялся мониторинг загрязнения атмосферы выхлопами автотранспорта путем подсчета плотности потока автомобилей. Загрязнение атмосферного воздуха отработанными газами автомобилей оценивалось по формуле оценки концентрации окиси углерода, в мг/м<sup>3</sup> (Ашихмина, 2006).

Для оценки стабильности развития листовых органов березы нами использовалась величина флуктуирующей асимметрии билатеральных морфологических признаков. Оценка флуктуирующей асимметрии листьев является индикаторным признаком состояния природных популяций. Этот способ позволяет получить интегральную оценку состояния организма при комплексе воздействий факторов среды, в том числе антропогенных (Ашихмина, 1999).

У березы мы использовали 5 морфологических промеров листа для определения наличия флуктуирующей асимметрии: 1) ширина левой и правой половины листа; 2) длина второй от основания листа жилки второго порядка; 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 листа жилкой второго порядка.

Результаты измерения морфологических показателей оценивались с использованием методов математической статистики. Достоверность различий между средними значениями промеров листьев березы на контроле и в вариантах опыта оценивалась по t-критерию Стьюдента для 5%-ного уровня значимости (Зайцев, 1990).

Для оценки степени нарушения стабильности развития использовали пятибалльную шкалу, в которой 1 балл – условная норма; 5 баллов – критическое значение, которое характеризует неблагоприятные условия произрастания, когда растение находится в сильно угнетенном состоянии; значения в 3–4 балла соответствуют загрязненным районам.

Оценка загрязнения воздушного бассейна г. Бийска окисью углерода проводилась в 5 точках. Предельно допустимая концентрация окиси углерода по данному веществу составляет 5 мг/м<sup>3</sup>. Исследования уровня загрязнения воздушного бассейна г. Бийска окисью углерода показали, что по сравнению с контролем, где уровень загрязнения СО оценивается как низкий (6,9 мг/м<sup>3</sup>), в 3-х точках г. Бийска уровень загрязнения соответствует среднему (24,1–29,5 мг/м<sup>3</sup>), а в одной точке – высокому загрязнению (46,6 мг/м<sup>3</sup>). Высокий и средний уровни загрязнения характерны для перекрестков, где происходит задержка транспорта и скопления машин.

**Ширина листа.** Результаты исследования изменения ширины листьев березы справа и слева при произрастании в разных условиях города Бийска свидетельствуют о том, что данный показатель варьирует от 19,0 мм до 27,3 мм (табл. 1). Ширина листа березы слева и справа изменяется в одинаковых интервалах. На контроле ширина листьев березы справа и слева изменяется в интервале от 19,8 до 19,0 мм. Это наимень-

шие значения ширины листа березы, отмеченные в условиях г. Бийска. Наибольшие значения ширины листа характерны для проспекта Коммунарский (27,3 мм), где отмечен и наибольший уровень загрязнения СО. В точках со средним уровнем загрязнения ширина листа березы справа и слева колеблется от 24,1 до 25,5 мм.

Таблица 1

Изменение ширины листа березы в условиях г. Бийска

Точки отбора проб	Уровень загрязнения СО	Ширина листа слева, мм	Ширина листа справа, мм
Контроль (район Заречья)	низкий	19,8 ± 0,16	19,0 ± 0,19
Проспект Коммунарский	высокий	<b>27,3 ± 0,19</b>	<b>27,1 ± 0,19</b>
Район Вокзала	средний	<b>25,4 ± 0,15</b>	<b>25,1 ± 0,14</b>
Район Котельного завода	средний	<b>24,8 ± 0,19</b>	<b>24,1 ± 0,21</b>
Район «Детского мира»	средний	<b>25,5 ± 0,19</b>	<b>23,4 ± 0,18</b>

Примеч.: **27,3 ± 0,19** – значения достоверны при 5%-м уровне значимости.

Длина жилок и расстояние между ними. Анализ изменения длины второй от основания жилки листа березы бородавчатой свидетельствует о вариабельности данного признака, меняющегося от 26,2 до 41,3 мм (табл. 2). Эти изменения достоверны и в большинстве коррелируют с повышением уровня загрязнения СО. При высоком уровне загрязнения воздуха СО отмечена максимальная длина жилок листа березы справа и слева (41,3 мм), при среднем уровне загрязнения воздуха СО длина жилок листа березы колеблется от 36,3 до 33,8 мм, что также достоверно отличается по сравнению с контролем.

Таблица 2

Изменение длины второй от основания листа жилки второго порядка у листьев березы в условиях г. Бийска

Точки отбора проб	Уровень загрязнения СО	Длина жилки слева, мм	Длина жилки справа, мм
Контроль (район Заречья)	низкий	26,5 ± 0,14	26,2 ± 0,14
Проспект Коммунарский	высокий	<b>41,3 ± 0,22</b>	<b>39,8 ± 0,21</b>
Район Вокзала	средний	<b>34,4 ± 0,18</b>	<b>34,6 ± 0,21</b>
Район Котельного завода	средний	<b>36,3 ± 0,17</b>	<b>35,7 ± 0,24</b>
Район «Детского мира»	средний	<b>34,4 ± 0,17</b>	33,8 ± 0,23

Примеч.: **41,3 ± 0,22** – значения достоверны при 5%-м уровне значимости.

Анализ расстояния между основаниями первой и второй жилок второго порядка характеризует изменчивость данного признака. Диапазон колебания составляет от 2,1 до 11,5 мм. Наибольшее расстояние между основаниями жилок характерно для березы, произрастающей в точках с высоким и средним уровнями загрязнения (табл. 3). Закономерности изменения данного показателя достоверны при 5%-м уровне значимости.

Таблица 3

Изменение расстояния между основаниями первой и второй жилок второго порядка у листьев березы в условиях г. Бийска

Точки отбора проб	Уровень загрязнения	Расстояние между основаниями жилок слева, мм	Расстояние между основаниями жилок справа, мм
Контроль (район Заречья)	низкий	3,2 ± 0,17	2,1 ± 0,16
Проспект Коммунарский	высокий	<b>11,4 ± 0,23</b>	<b>11,2 ± 0,25</b>
Район Вокзала	средний	<b>9,3 ± 0,14</b>	<b>9,0 ± 0,12</b>
Район Котельного завода	средний	<b>8,3 ± 0,12</b>	<b>7,9 ± 0,11</b>
Район «Детского мира»	средний	<b>11,5 ± 0,17</b>	<b>11,8 ± 0,15</b>

Примеч.: **9,3 ± 0,25** – значения достоверны при 5%-м уровне значимости.

Измерение расстояния между концами первой и второй жилок второго порядка у листьев березы свидетельствует о том, что этот морфологический показатель меняется от 7,1 мм на контроле до 19,6 мм в точке максимального загрязнения атмосферы CO. Расстояние между концами жилок второго порядка листьев березы достоверно увеличивается по сравнению с контролем в 2,0–2,5 раза при среднем и высоком уровнях загрязнения воздуха CO (табл. 4).

Таблица 4

Изменение расстояния между концами первой и второй жилок второго порядка у листьев березы в условиях г. Бийска

Точки отбора проб	Уровень загрязнения	Расстояние между концами жилок слева, мм	Расстояние между концами жилок справа, мм
Контроль (район Заречья)	низкий	7,1 ± 0,14	7,3 ± 0,13
Проспект Коммунарский	высокий	<b>19,0 ± 0,24</b>	<b>19,6 ± 0,27</b>
Район Вокзала	средний	<b>18,5 ± 0,26</b>	<b>18,1 ± 0,21</b>
Район Котельного завода	средний	<b>15,1 ± 0,16</b>	<b>15,1 ± 0,16</b>
Район «Детского мира»	средний	<b>17,1 ± 0,15</b>	<b>17,0 ± 0,14</b>

Примеч.: **17,0 ± 0,24** – значения достоверны при 5 %-м уровне значимости.

**Угол между жилками.** Угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка у листьев березы изменяется от 34,4° на контроле до 56,0° при среднем и высоком уровнях загрязнения (табл. 5). При увеличении уровня загрязнения наблюдается достоверное увеличение угла между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка как слева, так и справа.

Таблица 5

Изменение угла между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка у листьев березы в условиях г. Бийска

Точки отбора проб	Уровень загрязнения	Угол между жилками слева, °	Угол между жилками справа, °
Контроль (район Заречья)	низкий	34,8 ± 0,25	34,4 ± 0,25
Проспект Коммунарский	высокий	<b>50,6 ± 0,27</b>	<b>49,9 ± 0,31</b>
Район Вокзала	средний	<b>56,0 ± 0,29</b>	<b>55,1 ± 0,28</b>
Район Котельного завода	высокий	<b>45,2 ± 0,42</b>	<b>45,8 ± 0,48</b>
Район «Детского мира»	средний	<b>49,6 ± 0,37</b>	<b>49,9 ± 0,36</b>

Примеч.: **49,9 ± 0,31** – значения достоверны при 5 %-м уровне значимости.

**Флуктуирующая асимметрия и стабильность развития березы.** Проведенные нами исследования показали, что величина показателя флуктуирующей асимметрии листа березы бородавчатой в условиях города Бийска изменяется в пределах от 0,040 на контроле до 0,096 (табл. 6). Выявлено, что эта величина при низком загрязнении воздуха выхлопами автотранспорта – минимальна (0,052), а при повышенной концентрации окиси углерода – максимальна (0,096).

Анализ показателя стабильности развития листьев березы свидетельствует о том, условия произрастания для данного растения в г. Бийске характеризуются в основном как неблагоприятные (табл. 6). Развитие фотосинтезирующих органов березы в зонах повышенного содержания CO в воздухе соответствует критической норме. При этом растения находятся в сильно угнетенном состоянии.



Оценка флуктуирующей асимметрии и стабильности развития листьев березы в условиях г. Бийска

Точки отбора проб	Показатель флуктуирующей асимметрии листа	Показатель стабильности развития	Характеристика показателя стабильности развития
Контроль (район Заречья)	0,040	I	норма развития
Проспект Коммунарский	0,096	V	критическое состояние
Район Вокзала	0,086	V	критическое состояние
Район Котельного завода	0,052	IV	загрязненные районы
Район «Детского мира»	0,074	V	критическое состояние

Таким образом, в условиях загрязнения воздушного бассейна г. Бийска такие морфологические параметры листьев березы бородавчатой, как ширина левой и правой половины листа, длина второй от основания листа жилки второго порядка, расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка, расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка, угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка, достоверно увеличиваются при повышении концентрации окиси углерода.

Индекс флуктуирующей асимметрии листьев березы характеризуется наименьшим значением на контрольном участке, а при повышении концентрации окиси углерода величина показателя асимметрии листа увеличивается. Степень нарушения стабильности развития листьев березы бородавчатой в условиях города Бийска варьирует от нормальной в чистых и относительно чистых районах до критического, сильно угнетенного состояния в сильно загрязненных районах.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Ашихмина Т.Я.* Школьный экологический мониторинг. – М.: АГАР, 1999. – 468 с.
- Ежегодник состояния загрязнения атмосферы воздуха в городах и промышленных центрах, расположенных на территории деятельности Западно-Сибирского межрегионального территориального управления федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 2004–2008 гг. – Новосибирск, 2010. – 178 с.
- Зайцев Г.Н.* Математика в экспериментальной ботанике. – М.: Наука, 1990. – 296 с.
- Сабина В.* Дышать или не дышать? // Деловой Бийск, 2010. – № 7. – С. 6.
- Экологический мониторинг / Под ред. Т.Я. Ашихминой. – М.: Академический проект, 2006. – 416 с.
- Соколова Г.Г., Тиньгаева А.Ю.* Биоиндикация загрязнения воздуха в г. Барнауле // Известия АГУ, 2008. – №3. – С. 19–21.

#### SUMMARY

The article discusses the results of a study of air pollution influence in Bijsk on the morphological characteristics of *Betula pendula* leaf organs. We showed a significant increase of the width of the left and right halves of the leaf, the length of the veins of the second order, the distance of the veins of the second order, the angle between the veins. In areas of high air pollution we noted the stable development of warty birch leaves from much oppressed to a critical state.