

УДК 574

Г.Г. Соколова, А.Ю. Тиньгаева

Биоиндикация загрязнения воздуха в Барнауле

Ключевые слова: биоиндикация, морфология листьев, загрязнение воздуха, устойчивость растений.

Современные города – яркий пример формирования новой среды обитания человека, растений и животных. Одновременно с самими городами возникли экологические проблемы, главной из них в настоящее время является загрязнение воздуха автотранспортом [1]. Древесная растительность задерживает, поглощает и трансформирует значительное количество пыли, дыма, газов и других вредных веществ, находящихся в приземном слое городского воздуха [2, 3].

Растительность садов и парков в пределах городов служит как биологическим фильтром воздуха, так и индикатором уровня загрязнения. Поскольку растения обладают относительно высокой чувствительностью к воздействию некоторых загрязняющих веществ, их можно использовать в качестве индикаторов для выявления загрязнения и определения его уровня, а также при осуществлении мониторинга состояния загрязнения атмосферы.

Уровень загрязнения атмосферы Барнаула оценивается как высокий. С увеличением количества автотранспорта в городе усиливается загазованность воздуха вблизи автомагистралей и возрастает нагрузка на зеленые насаждения, призванные выполнять не только эстетическую, но и санитарно-гигиеническую роль. В озеленении Барнаула широко используются лиственные породы, особенно на центральных улицах. При этом наряду со старыми посадками создаются новые в непосредственной близости с оживленными автомагистралями. В связи с этим целью нашей работы явилась биоиндикация загрязнения воздушного бассейна Барнаула по морфологическим признакам ассимиляционных органов лиственных растений.

В задачи исследования входило:

1. Выявить уровень загрязнения воздуха автотранспортом в Барнауле.
2. Проследить изменения морфологии ассимиляционных органов лиственных растений при увеличении уровня загрязнения.
3. Выявить устойчивость лиственных растений к загрязнению воздуха и дать практические рекомендации по их использованию для озеленения.

В качестве объекта исследования нами выбраны два вида лиственных деревьев – береза бородавчатая и тополь бальзамический, наиболее часто используемые в озеленении Барнаула. Для оценки морфологических показателей листовых органов отбирались пробы в точках вблизи крупных автомагистралей

(проспекты Красноармейский, Социалистический, Ленина, Комсомольский, Космонавтов), на улицах со средней интенсивностью движения автотранспорта, во дворах, скверах и парках во всех районах города. Всего в течение 2005–2007 гг. исследовано 32 точки произрастания лиственных растений. На каждой точке выбиралось 10 деревьев приблизительно равного возраста и жизненного состояния: тополь – с диаметром ствола более 25 см и высотой ствола более 16 м; береза – с диаметром ствола более 15 см и высотой более 10 м. С каждого дерева собрано по 20 листьев.

Длину и ширину листа определяли с помощью измерительных линеек с точностью до 1,00 мм, площадь – при помощи миллиметровки, количество жилок первого порядка – путем подсчета. Всего в ходе работы исследовано 11400 проб, из них тополя – 6000 проб, березы – 5400 проб. Контролем служили листья с условно одновозрастных деревьев, собранных в экологически чистой нагорной части города. Исследования проводились в течение 2002–2007 гг.

В исследуемых точках также оценивалось загрязнение воздуха выхлопами автотранспорта по формуле

$$K_{CO} = (0,5 + 0,01N \cdot K_T) \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{II},$$

где K_{CO} – концентрация окиси углерода; 0,5 – фоновое загрязнение атмосферного воздуха нетранспортного происхождения, мг/м³; N – суммарная интенсивность движения автомобилей на городской дороге, автомобилей/час; K_T – коэффициент токсичности автомобилей по выбросам в атмосферный воздух окиси углерода; K_A – коэффициент, учитывающий аэрацию местности; K_V – коэффициент, учитывающий изменение концентрации загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода в зависимости от величины предельного уклона; K_C – коэффициент, учитывающий изменения концентрации окиси углерода в зависимости от скорости ветра; K_B – то же от относительной влажности воздуха; K_{II} – коэффициент увеличения загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода у пересечений.

Коэффициент токсичности автомобилей определяли как средневзвешенный для потока автомобилей по формуле

$$K_T = \sum P_i K_{Ti},$$

где P_i – состав автотранспорта в долях от единицы; K_{Ti} – определяется по таблице [4].

Статистическую обработку результатов проводили при помощи программы Microsoft Excel. Для всех значений выводили среднее, считали среднее квадратическое отклонение, ошибку среднего, досто-

верность различий проверили *t*-критерием Стьюдента при $p < 0,05$ [5]. Корреляционный анализ осуществляли в программе Statistica 6.0.

Территория Барнаула различается по уровню загрязнения выбросами автотранспорта: высокий уровень загрязнения характерен для крупных автомагистралей (проспекты Ленина, Социалистический, Красноармейский, Комсомольский, Строителей, Павловский тракт); средний – для большинства улиц; низкий – для улиц с низкой интенсивностью движения и дворовых территорий. На уровень загрязнения оказывает влияние интенсивность транспортного потока и характер рельефа.

Береза бородавчатая. У березы бородавчатой в ответ на повышение концентрации оксида углерода транспортного происхождения возрастают длина, ширина листа и площадь листа, сокращается количество жилок первого порядка на листовой пластине. Эта реакция является адаптивной по отношению к увеличению воздействия стрессового фактора. Выявлена высокая корреляция длины листьев березы и загрязнения атмосферы выхлопными газами ($r = 0,48$), тогда как ширина, площадь листа и количество жилок на листовой пластине не имели достоверной корреляции с этим параметром.

Длина листовой пластинки у березы в условиях города меняется в интервале от 73,64 мм (вблизи оживленной автомагистрали – Змеиногорский тракт, 89 В) до 53,22 мм (парк «Юбилейный» – ул. Гущина, 170). Происходит увеличение длины листовой пластинки березы в ответ на усиление концентрации выхлопных газов (табл. 1). При высокой степени загрязнения атмосферы длина листа увеличивается по сравнению с контролем на 15,13%, при средней степени – на 12,26%, при низкой – на 10,30%.

Ширина листа березы бородавчатой также является биоиндикационным признаком, изменяющимся в значительных пределах. Она варьирует от 58,02 мм (Змеиногорский тракт, 89 В) до 44,70 мм (парк культуры и отдыха им. Ленина, ул. А. Петрова, 221). При высокой степени загрязнения воздуха ширина листовой пластинки увеличивается по сравнению с контролем на 11,11%, при средней степени загрязнения – на 7,65%, при низкой – на 5,70% (см. табл. 1).

Площадь листа березы бородавчатой в Барнауле составляет 2338,0–1538,5 мм². При высоком уровне загрязнения воздуха площадь листа березы увеличивается по сравнению с контролем на 21,93%, при среднем уровне – на 15,33%, при низком уровне – на 7,45%.

Количество жилок на листовой пластинке березы изменяется от 17,03 до 11,82 шт. При высокой степени загрязнения воздуха количество жилок первого порядка на листовой пластине сокращается по сравнению с контролем на 3,05%, при средней степени загрязнения – на 1,65%, при низкой – на 1,35% (см. табл. 1).

Тополь бальзамический. У тополя бальзамического при увеличении загрязнения воздуха увеличиваются длина, ширина, площадь листа и сокращается количество жилок первого порядка на листовой пластине.

У листьев тополя выявлена высокая корреляция ширины ($r = 0,70$) и площади листовой пластинки ($r = 0,72$) с уровнем загрязнения воздуха, тогда как корреляций по длине листовой пластинки не обнаружено. Отсутствует достоверная корреляция между загрязнением воздуха и количеством жилок на листовой пластинке.

Длина листа тополя в городе изменялась от 101,3 до 76,76 мм. Наибольшая длина листа у тополя отмечена при высоком загрязнении атмосферы, наименьшая – при среднем уровне. При сильном загрязнении атмосферы длина листовой пластины увеличивается по сравнению с контролем на 10,13%, при среднем загрязнении – на 5,07%, при низком – на 7,60% (табл. 2).

Ширина листа тополя в городе значительно варьирует (63,15–48,75 мм) в зависимости от уровня загрязнения атмосферы: при высоком уровне загрязнения ширина листовой пластинки увеличивается по сравнению с контролем на 6,54%, при среднем уровне – на 5,33%, при низком – на 2,40%.

Площадь листа тополя колеблется от 3583,66 до 2339,95 мм². При высокой концентрации загрязняющих веществ площадь листовой пластинки увеличивается по сравнению с контролем на 29,73%, при средней концентрации – на 21,70%, при низкой – на 20,64% (см. табл. 2).

Таблица 1

Изменение морфологии листьев березы бородавчатой в зависимости от интенсивности загрязнения воздуха автотранспортом

Концентрация окиси углерода, мг/м ³	Длина листа, мм	Ширина листа, мм	Площадь листа, мм ²	Количество жилок, шт.
Высокая (>30)	62,26±0,34	52,41±0,26	2033,80±15,38	13,69±0,30
Средняя (10–30)	60,71±0,39	50,78±0,36	1923,72±12,49	13,94±0,40
Низкая (0–9,99)	59,65±0,28	49,86±0,75	1792,20±14,86	13,93±0,05
Контроль	54,08±0,35	47,17±0,39	1668,00±20,31	14,12±0,11

Примечание: 5,02 – различие с нижележащим значением достоверно, $p < 0,05$; 5,02 – различие с контрольным значением достоверно, $p < 0,05$; 5,02 – различие с контрольным и нижележащим значением достоверно, $p < 0,05$.

Изменение морфологии листьев тополя бальзамического в зависимости от интенсивности загрязнения воздуха автотранспортом

Концентрация окиси углерода, мг/м ³	Длина листа, мм	Ширина листа, мм	Площадь листа, мм ²	Количество жилок, шт.
Высокая (>30)	91,62±0,63	55,41±0,40	3035,67±25,21	12,87±0,04
Средняя (10–30)	87,41±0,52	54,78±0,43	2847,80±14,22	13,69±0,09
Низкая (0–9,99)	89,52±0,67	53,30±0,39	2822,99±20,53	14,39±0,10
Контроль	83,19±0,75	52,01±2,00	2339,95±60,49	13,35±0,10

Примечание: 5,02 – различие с нижележащим значением достоверно, $p < 0,05$; 5,02 – различие с контрольным значением достоверно, $p < 0,05$; 5,02 – различие с контрольным и нижележащим значением достоверно, $p < 0,05$.

Количество жилок на листовой пластинке изменяется от 15,76 шт. в точках с низкой интенсивностью транспортного потока до 11,52 шт. в точках с высокой интенсивностью движения автотранспорта. В среднем в условиях Барнаула количество жилок на листьях тополя бальзамического уменьшается при возрастании уровня загрязнения: при высоком уровне загрязнения количество жилок первого порядка сокращается по сравнению с контролем на 3,60%, при среднем уровне загрязнения – на 2,55%, при низком уровне – на 7,79% (см. табл. 2).

Таким образом, исследования показали, что повышение уровня загрязнения воздуха приводит к увеличению длины, ширины и площади листьев и уменьшению количества жилок на листовой по-

верхности у березы бородавчатой и тополя бальзамического. Лиственные породы характеризуются сильной корреляцией морфологических параметров ассимиляционных органов с уровнем загрязнения ($r = 0,48...0,72$), поэтому могут использоваться как эффективный индикатор загрязнения атмосферы для одного вегетационного периода.

Лиственные породы характеризуются различной степенью газоустойчивости: наименее устойчива к загрязнению воздуха береза бородавчатая, наибольшей устойчивостью к загрязнению атмосферы обладает тополь бальзамический. Береза бородавчатая может быть использована для озеленения улиц с низким и средним уровнем загрязнения воздуха. Тополь бальзамический рекомендуется к озеленению улиц с высоким уровнем загрязнения.

Библиографический список

1. Королева, Е.Р. Экологические подходы к классификации городских территорий в природоохранных целях / Е.Р. Королева, Л. Оливерусова // Биоиндикация в городах и пригородных зонах. – М., 1993.
2. Ходаков, Ю.И. О влиянии отрицательных факторов городской среды Ленинграда на зеленые насаждения / Ю.И. Ходаков // Растения и химические канцерогены. – Л., 1979.
3. Черненкова, Т.В. Тяжелые металлы в растениях и почве большого города / Т.В. Черненкова // Биоиндикация в городах и пригородных зонах. – М., 1993.
4. Федорова, А.И. Практикум по экологии и охране окружающей среды / А.И. Федорова, А.Н. Никольская. – М., 2003.
5. Лакин, Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. – М., 1990.