

## БЕРЕЗА ПОВИСЛАЯ КАК ИНДИКАТОР КАЧЕСТВА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Л. О. Петункина, А. С. Сарсацкая

PHYTOINDICATION STATE OF *BETULA PENDULA* IN THE URBAN ENVIRONMENT OF KEMEROVO

L. O. Petunkina, A. S. Sarsatskaya

Рассмотрены результаты исследования насаждений *Betula pendula* Roth как индикатора качества городской среды. Результаты многолетних биохимических и морфологических исследований свидетельствуют, что у берёзы повислой низкая активность ферментов, повышенная водоудерживающая способность и высокая ксероморфность, что способствует лучшей приспособленности вида к неблагоприятным условиям урбосреды и особенно загрязнению ксенобиотиками. В качестве основного биоиндикационного показателя для определения уровня техногенной нагрузки выбран жизненный потенциал вида, в качестве дополнительных – морфометрические показатели, содержание сульфатной серы и показатель стабильности развития. Такие показатели листовой пластинки берёзы повислой, как зольность и содержание сульфатной серы, максимальны в условиях сильного промышленного загрязнения и большого потока автотранспорта. В парковых зонах и межспальных районах города, где неблагоприятные условия среды смягчаются разновидовыми групповыми посадками и удаленностью от источников загрязнения, морфометрические показатели выше, чем в посадках магистрального типа, вблизи источников загрязнения с повышенным уровнем техногенной нагрузки и прямым воздействием газообразных выбросов.

The paper presents the results of studying plantations of *Betula pendula* Roth as an indicator of the quality of the urban environment. The results of long-term biochemical and morphological studies show that *Betula pendula* has low enzyme activity, increased water-holding capacity and high xeromorphic, which contributes to a better adaptation of the form to unfavourable conditions, especially to contamination of the urban environment with xenobiotics. The vital potential of the species was selected as the main bioindicative indicator to determine the level of technogenic loading, morphometric parameters, the content of sulfur sulfate and the level of development stability were as extra indicators. Such features of birch leaves as the ash and sulfur sulfate content is maximized under high industrial pollution and a large flow of vehicles. In the city park areas and the areas between bedroom communities, where the adverse environmental conditions are softened by multispecies group plantings and remoteness from pollution sources, the morphometric parameters are higher than in the main trunk highway areas, close to sources of pollution with the elevated levels of anthropogenic impact and direct exposure to gaseous emissions.

**Ключевые слова:** урбоэкосистема, аэротехногенное загрязнение, древесные растения, устойчивость.

**Keywords:** urban ecosystems, environmental contamination, woody plants, sustainability.

Высокие темпы урбанизации ряда регионов России, к которым относится и город Кемерово, сопровождаются значительным увеличением техногенной нагрузки на окружающую среду. Антропогенез атмосферы, почвы и воды с каждым годом повышается, от чего экологическая обстановка в крупных городах России все чаще характеризуется как «кризисная». Особенно актуальна эта проблема в промышленных городах. Для контроля качества окружающей среды все чаще, наряду с использованием физико-химических методов, используются методы биологического мониторинга, которые позволяют быстро и достаточно точно оценить состояние природной среды. Основными методами биологического мониторинга являются биоиндикация и биотестирование. Биотестирование считается весьма перспективным для получения интегральных оценок загрязнения, поскольку далеко не все поллютанты нормируются и могут быть определены химическим путем.

Одним из эффективных средств улучшения среды города, как по результатам, срокам осуществления, так и по стоимости, является озеленение. В изучении взаимоотношений растений и городской среды прослеживается два направления. В одном случае растения рассматриваются как фитофильтры загрязнителей, терморегуляторы и изоляторы шумов, оцениваются их ландшафтная, санитарно-гигиеническая, рек-

реационная и эстетическая значимость [2; 7]. Второе направление связано непосредственно с изучением воздействия факторов самой среды города на жизнедеятельность растительных организмов. Многие из изучаемых биологических показателей и экологических характеристик отражают реальное состояние древесных растений в городе и позволяют оценить изменения, происходящие в развитии организмов в разное время. Зеленые насаждения являются достоверными индикаторами качества городской среды и могут использоваться в вопросах мониторинга загрязнения воздуха и почв [5; 1].

Степень устойчивости вида к промышленному загрязнению обусловлена его биологическими особенностями. Насаждения берёзы повислой отличаются высокой экологической пластичностью, интенсивным ростом, долговечностью, обладают высокими пыле- и газоулавливающими свойствами и достаточно хорошо произрастают в условиях промышленного города [6].

Результаты многолетних биохимических и морфологических исследований свидетельствуют, что у берёзы повислой низкая активность ферментов, повышенная водоудерживающая способность и высокая ксероморфность, что способствует лучшей приспособленности вида к неблагоприятным условиям урбосреды и особенно загрязнению ксенобиотиками [7 – 9].

Данный вид широко используется в системе озеленения города Кемерово. Были обследованы зеленые насаждения общей площадью около 30 км<sup>2</sup> в 34 точках города и за его пределами, описано более двух тысяч деревьев. Статистическая обработка проводилась при помощи ППП «Статистика» многофакторного дисперсионного анализа (General Linear Models). Дополнительное сравнение проводилось в начале и конце вегетационного периода при помощи Z-критерия Вилкоксона, независимых переменных U-критерием и LSD теста. Достоверными значениями считался уровень не более 0.05, значения от 0.1 до 0.05 считались тенденциями.

Проанализировав расположение пробных площадок, степень негативного воздействия на растения, пробные площадки были объединены в три группы по

степени техногенного влияния. Такое разделение позволило уйти от административно-территориального деления районов исследования и провести дополнительный сравнительный анализ полученных результатов.

Изучение флуктуирующей асимметрии (ФА) листьев березы повислой как показателя стабильности развития организма показало, что при различных уровнях техногенного воздействия величина ФА достоверно отличается. Наблюдается тенденция к увеличению значения ФА при росте негативного воздействия от слабого к высокому уровню (таблица 1), так как при неблагоприятных условиях снижается эффективность гомеостаза и чаще проявляются нарушения в развитии и отклонения от нормального строения листовой пластинки [4].

Таблица 1

**Интегральные показатели состояния зеленых насаждений березы повислой**

| <i>Техногенное воздействие</i> | <i>Жизненное состояние, %</i> | <i>Класс виталитета</i> | <i>ФА</i>     | <i>Балл</i> | <i>Качество среды</i>               |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------|-------------|-------------------------------------|
| Контроль                       | 87 ± 2,6                      | I                       | 0,018 ± 0,001 | I           | условная норма                      |
| Слабое                         | 83 ± 1,6                      | I                       | 0,021 ± 0,003 | I           | условная норма                      |
| Среднее                        | 77 ± 2,3                      | II– III                 | 0,046 ± 0,006 | III         | средний уровень отклонения от нормы |
| Сильное                        | 67 ± 4,2                      | III                     | 0,074 ± 0,012 | V           | критическое                         |

Согласно показателю асимметрии наименьшее отклонение от нормы имели листья, взятые у растений из контрольной группы (с. Тарасово) в 100 км от города, которым был присвоен I балл, средний уровень нарушенности (II – III балл) отмечен более чем у 50 % насаждений города. Существенные отклонения в строении листовой пластинки (IV – V балл) обнаружены в аллельных посадках березы повислой вдоль транспортных магистралей.

Установлена достоверная тенденция снижения жизненного состояния и увеличения показателя асимметрии развития листовой пластинки с ухудшением показателя качества среды вблизи транспортных магистралей, в зоне сильного техногенного воздействия почти на 30 % по сравнению с контролем (таблица 1).

Выявлена прямая зависимость между уровнем загрязнения, жизненным потенциалом и показателем стабильности развития. В районах с техногенной нагрузкой наблюдалось очень низкое (до 50 %) жизненное состояние березы повислой, а показатель стабильности развития – высокий, доходящий до критического уровня (V баллов).

Определение зольных элементов и содержания сульфатной серы подтвердило общую тенденцию к накоплению веществ у устойчивых видов [8; 9].

Проведенный дисперсионный анализ выявил достоверные отличия по изучаемым биоиндикационным показателям, в начале и конце вегетационного периода ( $F_{1,45} = 17.21$ ,  $p = 0.0164$ ). Масса зольных элементов, содержание сульфатной серы достоверно увеличивалась в среднем в 1,5 раза за вегетацию.

Отмечена корреляционная зависимость между жизненным состоянием зеленых насаждений разных газодинамических зон и содержанием сульфатной

серы ( $C_v = -0,38$ ). Установлена прямая зависимость между жизненным состоянием, содержанием сера ( $C_v = -1,0$ ,  $p = 0.004$ ) и минерального остатка ( $C_v = -0,98$ ,  $p = 0.024$ ).

При изучении виталитетного состава насаждений было установлено, что в сильно загрязненном районе площадь листа в 1,5 раза меньше, а их масса в 1,5 раза больше, чем в контроле (таблица 2). За счет уменьшения размеров листовой пластинки растение стремиться сократить поток токсичных веществ, тем самым снизить негативное влияние.

Отмечена обратно пропорциональная зависимость скорости аккумуляции сухого вещества (NAR) и производительности работы листовой поверхности (LAR). Чем больше показатель нетто-ассимиляции, тем меньше ассимилирующая поверхность растения на единицу веса (таблица 2).

Относительный прирост (R, %) листьев в зоне слабого техногенного воздействия в 5 раз выше, чем в зоне сильного. Наибольшая величина показателя скорости роста (AGR) составляет 2 г в день у растений, подвергающихся минимальному негативному воздействию, при максимальном воздействии – абсолютная скорость роста падает до 0,36 г в день, что свидетельствует об угнетении растений и снижении их жизнеспособности и функциональной активности.

Сравнение статистических данных по загрязнению окружающей среды города Кемерово [3] с показателями состояния березы повислой (таблица 3) свидетельствует о том, что зеленые насаждения являются высокочувствительными индикаторами экологического благополучия, а значит информация о здоровье растений и их состоянии позволяет получать интегральную оценку состояния окружающей среды.

Морфо-функциональные показатели березы повислой

| Показатели                     | Уровень загрязнения атмосферы |              |              |              |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                                | контроль                      | слабое       | среднее      | сильное      |
| Площадь листа, см <sup>2</sup> | 25 ± 0,3                      | 19,25 ± 1,0  | 17,6 ± 0,5   | 15,5 ± 0,8   |
| Масса 1000 листьев, г          | 65 ± 0,45                     | 73 ± 0,15    | 86 ± 2,3     | 106 ± 11,8   |
| AGR, г/день                    | 2,17 ± 0,8                    | 2 ± 0,8      | 1,2 ± 0,8    | 0,36 ± 0,8   |
| NAR, г/см <sup>2</sup> в день  | 0,009 ± 0,002                 | 0,01 ± 0,002 | 0,02 ± 0,008 | 0,04 ± 0,001 |
| LAR, см <sup>2</sup> /г в день | 0,27 ± 0,003                  | 0,25 ± 0,001 | 0,17 ± 0,003 | 0,14 ± 0,005 |
| R, %                           | 24 ± 1,2                      | 21 ± 1,8     | 11,6 ± 0,8   | 4,8 ± 0,05   |

Таблица 3

Оценка степени экологического неблагополучия по состоянию березы повислой

| Техногенное воздействие | Показатели состояния березы повислой       |       |                        | Объективные характеристики загрязнения атмосферного воздуха |      |                     |
|-------------------------|--|-------|------------------------|---|------|---------------------|
|                         | содержание сульфатной серы, мг/г сух. в-ва | ФА    | жизненное состояние, % | сумма концентраций кислотных газов, доли ПДК                | ИЗА  | уровень загрязнения |
| Слабое                  | 32,4                                       | 0,049 | 83                     | 0,98  | 5    | повышенный          |
| Среднее                 | 63,1                                       | 0,056 | 76                     | 1,03  | 8,6  | высокий             |
| Сильное                 | 126,6                                      | 0,075 | 65                     | 3,15  | 22,9 | очень высокий       |
| Контроль                | 19,1                                       | 0,018 | 87                     | 0,67  | 3    | условная норма      |

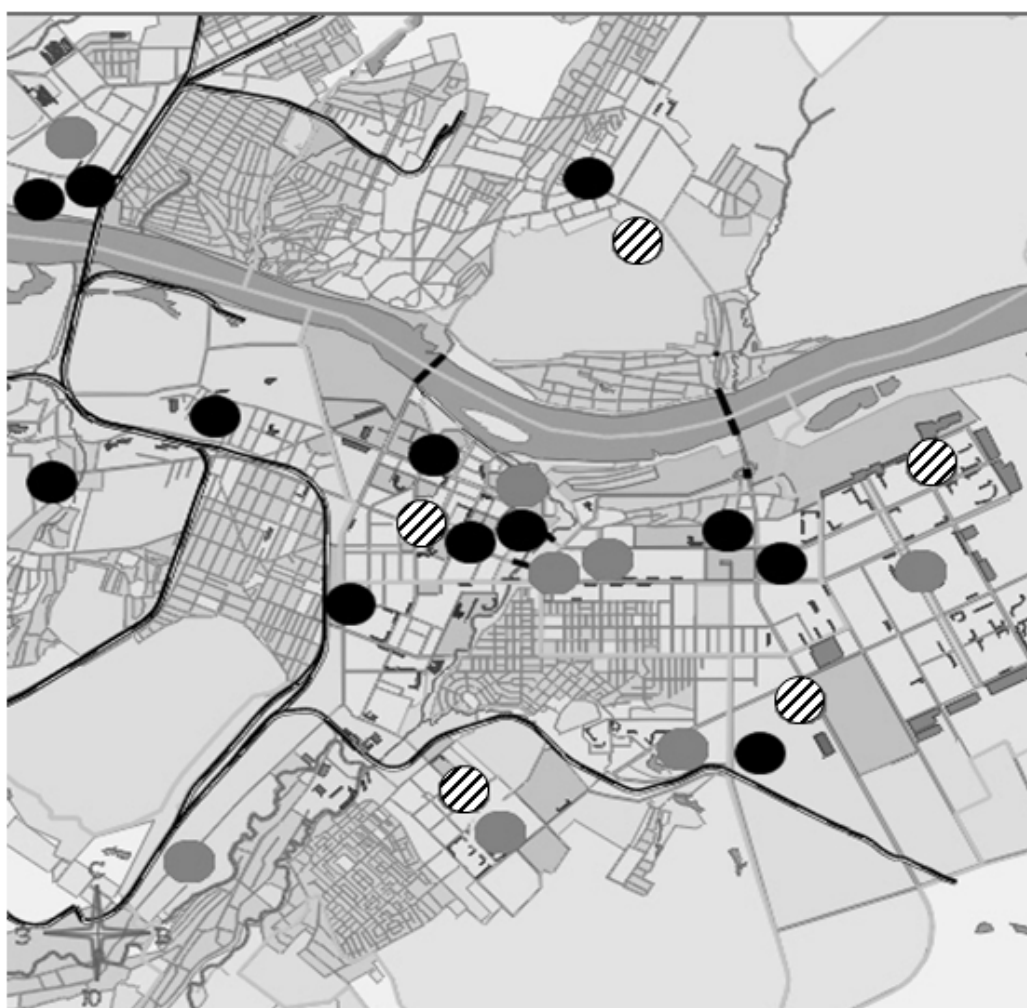


Рис. 1. Схема карты виталитетного состояния зеленых насаждений берёзы повислой

В качестве основного индикационного признака может быть выбран показатель, отражающий жизнеспособность вида, в качестве дополнительных – морфометрические показатели ассимиляционных органов растений, показатель стабильности развития, а также содержание сульфатной серы. Эти интегральные показатели несут в себе существенную информативность при диагностировании качества среды и могут использоваться при организации фитомониторинга.

Ведение фитомониторинга позволит контролировать изменения экологической ситуации в городе по состоянию дендрофлоры и будет способствовать улучшению качества среды обитания населения, поддержанию параметров среды на оптимальном уровне. Результаты наших фитомониторинговых исследований легли в основу создания экологической карты зеленых насаждений города Кемерово с ранжированием по классам виталитета. Оказалось, что большинство березовых посадок города относятся ко II (значок серого цвета) и III (значок черного цвета) классу виталитета. Только пяти модельным площадкам города можно присвоить первый класс виталитета (значок черно-белого цвета), такой же как в контроле (рис. 1).

Таким образом, проведенные исследования позволили на основании комплексного изучения оценить адаптивные и индикаторные свойства березы повислой, которые позволяют успешно использовать данный вид в озеленении города в различных типах насаждений.

Многолетними исследованиями (более 15 лет) показано, что береза повислая хорошо справляется с техногенной нагрузкой в условиях городской среды, являясь чувствительным и информативным индикатором качества.

Такие показатели листовой пластинки березы повислой, как зольность и содержание сульфатной серы, максимальны в условиях сильного промышленного загрязнения и большого потока автотранспорта.

В парковых зонах и межспальных районах города, где неблагоприятные условия среды смягчаются разновидовыми групповыми посадками и удаленностью от источников загрязнения, морфометрические показатели выше, чем в посадках магистрального типа, вблизи источников загрязнения с повышенным уровнем техногенной нагрузки и прямым воздействием газообразных выбросов.

#### Литература

1. Гетко Н. В. Растения в техногенной среде // Структура и функция ассимиляционного аппарата. Минск: Наука и техника, 1989. 205 с.
2. Горышина Т. К. Растение в городе. Л., 1991. 152 с.
3. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2014 году. Кемерово, 2015. 200 с. Режим доступа: <http://kuzbasseco.ru/wp-content/uploads/2015/02/ДОКЛАД-за-2014-на-01.03.2015.pdf>
4. Захаров В. М. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). М., 2003. 25 с.
5. Кулагин А. А. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей. М.: Наука, 2005. 190 с.
6. Неверова О. А. Характеристика некоторых процессов жизнедеятельности березы повислой в условиях техногенного загрязнения города Кемерово // Региональная экология. СПб., 2002. № 3 – 4(19). С. 58 – 63.
7. Петункина Л. О., Ковригина Л. Н. Комплексная оценка состояния городских насаждений // Вестник КемГУ. 2006. № 1(25). С. 21 – 24.
8. Сарсацкая А. С., Поданева О. И., Михайлова В. Е., Кандаурова Е. А., Акулова Н. А. Диагностика состояния зелёных насаждений в городах Кузбасса // Образование, наука, инновации: вклад молодых исследователей – материалы IX (XLI) Международной научно-практической конференции. Кемерово, 2015. Вып. 16. С. 87 – 90.
9. Сарсацкая А. С. Биоэкологическая оценка зеленых насаждений и их роль в трансформации серосодержащих поллютантов промышленного города // Вестник молодых ученых МГУ «Ломоносов». Вып. III. М.: Макс Пресс, 2007. С. 250 – 253.

#### Информация об авторах:

**Петункина Людмила Олеговна** – кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники КемГУ, [petunkinalo@gmail.com](mailto:petunkinalo@gmail.com).

**Ljudmila O. Petunkina** – Candidate of Biology, Associate Professor, Assistant Professor at the Department of Botany, Kemerovo State University.

**Сарсацкая Анна Сергеевна** – аспирант кафедры ботаники КемГУ, [sarsatskaya@mail.ru](mailto:sarsatskaya@mail.ru).

**Anna S. Sarsatskaya** – post-graduate student at the Department of Botany, Kemerovo State University.

(Научный руководитель – Л. О. Петункина). (Academic advisor – L. O. Petunkina).

Статья поступила в редколлегию 18.09.2015 г.