

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ БИОИНДИКАЦИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

**М. В. Протасова**, канд. с.-х. наук, доцент кафедры биологии и экологии, *kaf-ecolbiol@yandex.ru*, Курский государственный университет, г. Курск, Россия,

**Е. П. Проценко**, доктор с.-х. наук, профессор кафедры биологии и экологии, *protselena@yandex.ru*, Курский государственный университет, г. Курск, Россия,

**И. В. Петрова**, магистрант, *iren-zima@mail.ru*, Курский государственный университет, г. Курск, Россия,

**С. С. Петров**, аспирант кафедры биологии и экологии, *diezel571@gmail.com*, Курский государственный университет (КГУ), г. Курск, Россия,

**Саад Ф. Сабр**, аспирант кафедры биологии и экологии, *SaadSabr@yahoo.com*, Курский государственный университет (КГУ), г. Курск, Россия

Статья посвящена исследованию экологического состояния городской среды по асимметрии листьев древесных форм на примере березы повислой (лат. *Betula pendula* Roth). Выделены общие особенности и возможности использования биологических методов анализа — биоиндикации и биотестирования как комплексной оценки состояния биотических компонентов экосистем для оценки состояния окружающей среды с использованием живых организмов непосредственно в среде их обитания.

Проанализированы и обобщены принципы использования организмов-индикаторов. Приведены данные об особенностях использования растений в качестве биоиндикаторов: генетический, физиологический, морфологический, популяционный уровни.

Проведена оценка экологической обстановки на учетных территориях по флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой. Для диагностики воздействия загрязнений на морфологические характеристики применялись методы оценки флуктуирующей асимметрии. Для анализа использовалась методика Захарова, Крысанова 1996. Определены уровни флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой в зонах с различной техногенной нагрузкой. Биоиндикационное исследование экологической обстановки исследуемых территорий выявило участок с неблагоприятной ситуацией — зону с высокой автотранспортной нагрузкой. Представлены результаты собственных исследований по изменению комплекса биоиндикационных признаков березы повислой (*Betula pendula* Roth) как показателя экологического состояния городской среды (на примере города Курска).

The article is devoted to the study of the urban environment's ecological state by the asymmetry of the forms of tree leaves in the case study of silver birch (*Betula pendula* Roth). The general features and possibilities of using biological methods of analysis, i.e. bio-indication and bio-testing as a comprehensive assessment of ecosystems biotic components are singled out in order to assess the state of the environment using living organisms directly in their habitat.

The principles of the indicator-organisms use are analyzed and generalized. The data on the features of plants use as bio-indicators are given at genetic, physiological, morphological, population levels.

The ecological situation assessment in the studied areas by fluctuating asymmetry of *Betula pendula* Roth leaves is carried out. The methods of fluctuating asymmetry were used to diagnose the impact of pollution on morphological characteristics. The technique of Zakharov, Krysanov (1996) was used for the analysis. The levels of the *Betula pendula* Roth leaves fluctuating asymmetry in the areas with different technogenic load were determined. Bioindication study of the studied areas environmental situation revealed a site with a problem situation — a zone with a high traffic load. The results of our own research on the changes in the complex of the silver birch (*Betula pendula* Roth) bioindication characteristics are presented as an indicator of the urban environment ecological state (in the case study of the city of Kursk).

**Ключевые слова:** биоиндикация, индикаторные растения, городская среда, флуктуирующая асимметрия листьев, автотранспортная нагрузка.

**Keywords:** bioindication, indicator plants, urban environment, fluctuating leaf asymmetry, road load.

Загрязнение городской среды — одна из глобальных экологических проблем. Источниками загрязнения выступают различные объекты естественного и искусственного происхождения. Разнообразие их велико. Наличие в окружающей среде загрязняющих веществ приводит к нарушению структуры и устойчивости экосистем и угрозе здоровью человека. Городские экосистемы имеют специфическое строение, особенности в функционировании, а также большое количество источников поступления загрязняющих веществ в окружающую среду. Решение проблемы загрязнения городской среды многогранно. Одно из направлений в обеспечении экологической безопасности городской среды — экологический контроль. Современные методы биоиндикации позволяют изучить динамику происходящих в экосистемах процессов, давать оценку напряженности стрессовых воздействий комплекса факторов, оказывающих влияние на гомеостаз живых организмов. Перспективным методом биоиндикации в настоящее время является оценка флуктуирующей асимметрии листьев древесных форм растений. В условиях градиента антропогенного воздействия при использовании биотической концепции важно определить пределы нормального и патологического уровня биологических составляющих экосистемы [1].

Биоиндикация и биотестирование — это две основные группы методов, которые входят в биологический контроль окружающей среды. С помощью растений, животных и микроорганизмов, которые применяются в качестве биоиндикаторов, возможно проводить биомониторинг воздуха, воды и почвы. Существуют специальные индексы и коэффициенты, которые позволяют сделать результаты биоиндикации достоверными и сопоставимыми.

Обнаружению и определению экологически важных природных и антропогенных нагрузок на основе реакций на них живых организмов непосредственно в среде их обитания служит метод биоиндикации [2].

Биоиндикационные исследования достаточно широко применяются для оценки состояния различных сред обитания. Биоиндикаторы — это организмы, развитие которых, а также их присутствие и числовое значение являются показателями естественных процессов, условий или изменений среды обитания вследствие воздействия антропогенного фактора. Индикаторная значимость их выражается экологической толерантностью биологической системы. В зоне толерантности организм поддерживает свой гомеостаз. Стрессовым может выступать любой фактор, при условии, что он выходит за пределы «комфортной зоны» для исследуемого организма. В этот момент организм проявляет ответную реакцию, которая может иметь зависимость от видовой принадлежности и является показателем его индикаторной ценности. Именно такую ответную реакцию определяют биоиндикационные методы. Биологическая система реагирует на воздействие среды в целом, а не только на отдельные факторы, причем амплитуда колебаний физиологической толерантности модифицируется состоянием внутри системы [3].

Биомониторинг проводит наблюдения за определенными растениями-индикаторами, популяцией определенного вида и состоянием фитоценоза в целом. На уровне вида выполняют индикацию одного загрязняющего вещества, а общего состояния природной среды — на уровне популяции или фитоценоза [4].

Для диагностики воздействия загрязнений на морфологические характеристики применяются *методы оценки флуктуирующей асимметрии*.

Флуктуирующая асимметрия представляет собой результат неспособности организмов развиваться по заданному плану. Выступая в качестве меры стабильности развития, флуктуирующая асимметрия характеризует состояние морфогенетического гомеостаза — как способность организма к формированию генетически детерминированного фенотипа при минимальном уровне онтогенетических откло-

нений. Таким образом, флуктуирующая асимметрия может характеризоваться как одно из наиболее обычных и доступных для анализа проявлений случайной изменчивости развития [5].

Целью наших исследований является изучение экологического состояния городской среды с использованием биоиндикационных показателей березы повислой (*Betula pendula Roth*).

**Объект и методы исследования.** Город Курск испытывает значительные нагрузки со стороны автотранспорта, промышленных предприятий и топливно-энергетического комплекса, что вызывает интерес для оценки экологического состояния среды по биоиндикационным критериям.

Объектом нашего исследования послужило древесное растение — береза повислая (лат. *Betula pendula Roth*).

Исследование проводили на базе научно-исследовательской лаборатории экомониторинга Курского государственного университета.

На территории города Курска были выбраны учетные площадки с одновременным присутствием объекта индикации и организма-индикатора.

При оценке уровня флуктуирующей асимметрии использовали методику (Захаров В. М., Крысанов Е. Ю.). Сбор листьев проводили в различных частях Железнодорожного округа г. Курска. Листья отбирали из нижней части кроны, на уровне поднятой вверх руки, с максимального количества доступных веток. Листья брали примерно одного, среднего для данного вида размера. Если листья оказывались поврежденными, исследовали только те, на которых не были затронуты участки, которые были необходимы для измерений.

**Определение уровня флуктуирующей асимметрии.** С каждого листа необходимо снять данные с двух сторон (правой и левой):

— по ширине половинки листа. Приложить верх листа к его основанию, лист сложить поперек пополам, затем разогнуть и по полученной складке сделать замеры;

— длину второй жилки второго порядка от основания листа;

— расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка;

— расстояние между концами данных жилок;

— угол между главной и второй жилкой от ее основания второго порядка [6].

**Результаты и обсуждение.** С помощью интегрального показателя оценивали величину асимметричности — величины среднего относительного различия на признак (средняя арифметическая отношения разности к сумме промеров листа слева и справа, отнесенная к числу признаков).

Была разработана для данного показателя пятибалльная шкала отклонения от нормы, где условная норма — 1 балл, критическое состояние — 5 баллов (таблица).

Баллы соответствуют следующим характеристикам среды обитания: 1 — чисто; 2 — относительно чисто (норма); 3 — загрязнено (тревога); 4 — грязно (опасно); 5 — очень грязно (вредно) [7].

Уровни флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой приведены на рисунке.

Значения коэффициента флуктуирующей асимметрии листьев растения-индикатора различаются на различных участках. Максимальное значение отмечено на участке вблизи площади Добролюбова, минимальное — на ул. Киевская. Используя критерии оценки загрязнения окружающей среды, исследуемым участкам можно присвоить следующие характеристики: ул. Киевская — чисто, пл. Добролюбова — очень грязно, ул. Стрелецкая Набережная — очень грязно, ул. Полевая — чисто, ул. Ильича — загрязнено, ул. Союзная — очень грязно. На площади Добролюбова (высокий уровень автотранспортной на-

**Балльная система качества среды обитания живых организмов по показателям флуктуирующей асимметрии высших растений (по А. Б. Стрельцову, 2003)**

Виды	Балл				
	1	2	3	4	5
Береза	<0,055	0,056—0,060	0,061—0,065	0,065—0,070	>0,070
Все виды растений	<0,0018	0,0019—0,0089	0,0090—0,022	0,022—0,04	>0,04

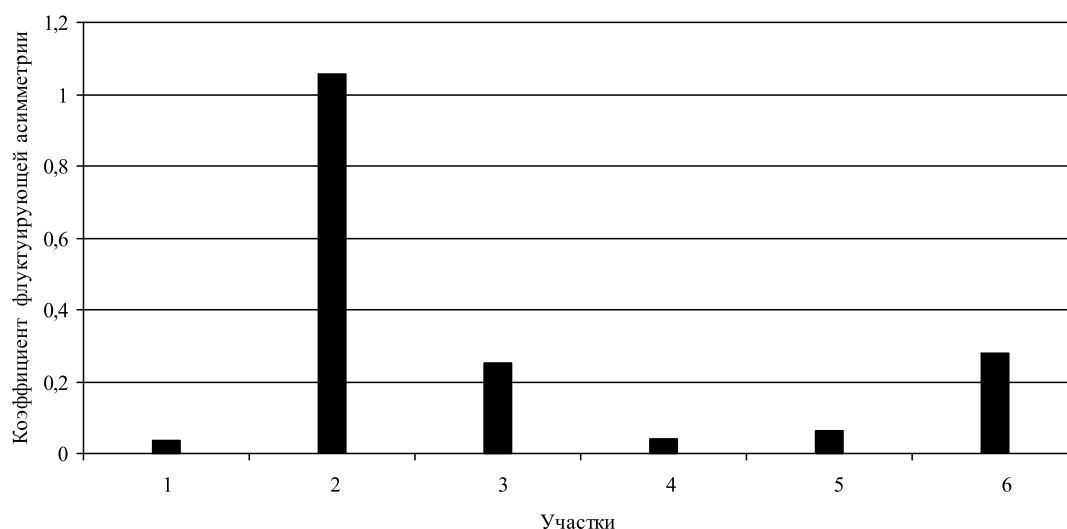


Рис. Уровни флуктуирующей асимметрии листьев березы на различных территориях г. Курска: 1 — ул. Киевская, 2 — пл. Добролюбова, 3 — ул. Стрелецкая Набережная, 4 — ул. Полевая, 5 — ул. Ильича, 6 — ул. Союзная

грузки) асимметрия листьев практически в 4 раза выше, чем для усредненного значения по участкам (0,29).

В биоиндикационных исследованиях используется большое количество организмов и индикаторных реакций. В большей степени распространенными методами исследования окружающей среды на сегодняшний момент можно выделить следующие: оценка флуктуирующей асимметрии морфологических структур, анализ изменения физиологических процессов, включая фотосинтез, оценку репродуктивного потенциала. Важно оценить связь между биоиндикационными показателями и количественными характеристиками окружающей среды. Это способствует переходу от неспецифической биоиндика-

ции к специфической высокоинформативной биодиагностике.

**Заключение.** По данным нашего исследования можно сделать следующие выводы.

В зоне с высокой автотранспортной нагрузкой уровень флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой максимален и в 3,5 раза превышает средние показатели.

Биоиндикационное исследование экологической обстановки в Железнодорожном округе г. Курска с использованием биологических показателей березы повислой выявило территорию с неблагоприятной ситуацией — зона с высокой автотранспортной нагрузкой (пл. Добролюбова).

### Библиографический список

1. Иванов В. П., Марченко С. И., Акименков Н. В. Экологическое состояние окружающей природной среды по показателям стабильности развития березы повислой // Теоретическая и прикладная экология. 2009. № 1. С. 28—32.
2. Каплин В. Г. Биоиндикация состояния экосистем // Учебное пособие. Самара. Самарская ГСХА. 2001. С. 143.
3. Ашихмина Т. Я. Разработка методов биологического мониторинга техногенных территорий // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2013. № 1. С. 29—35.
4. Кусова Н. Х., Макиев А. Д., Оказова З. П. Биомониторинг как способ контроля качества окружающей среды // В мире научных открытий. 2012. № 9. С. 167—174.
5. Еременко Р. С., Зеленская Т. Г. Оценка загрязнения окружающей среды методом флуктуирующей асимметрии // Новый университет. Серия: Вопросы естественных наук. 2012. № 3. С. 58—60.
6. Захаров В. М., Крысанов Е. Ю. Последствия Чернобыльской катастрофы: Здоровье среды. М., 1996. С. 170.
7. Зеленская Т. Г. Оценка загрязнения окружающей среды методом флуктуирующей асимметрии // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. 2012. Т. 31. № 3. С. 85—88.

## THE USE OF BIOINDICATION METHODS IN THE STUDY OF THE ECOLOGICAL STATE OF THE URBAN ENVIRONMENT

**M. V. Protasova**, Ph. D. in Agriculture, Kursk State University, *kaf-ecolbiol@yandex.ru*, Kursk, Russia,

**E. P. Protsenko**, Ph. D. in Agriculture, Dr. Habil, Professor, Kursk State University, *protselena@yandex.ru*, Kursk, Russia,

**I. V. Petrova**, undergraduate student, Kursk State University, *iren-zima@mail.ru*, Kursk, Russia,

**S. S. Petrov**, postgraduate student, Kursk State University, *diezel571@gmail.com*, Kursk, Russia,

**Saad F. Cabr**, postgraduate student, Kursk State University, *SaadSabr@yahoo.com*, Kursk, Russia

### References

1. Ivanov V. P., Marchenko S. I., Akimenkov N. V. Ekologicheskoe sostoyanie okruzhayushchej prirodnoj sredy po pokazatelyam stabil'nosti razvitiya berezy povisloj [Ecological state of the natural environment in terms of stability of the birch. Theoretical and applied ecology]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2009. No. 1. P. 28–32 [in Russian]
2. Kaplin V. G. Bioindikaciya sostoyaniya ekosistem. [Bioindication of ecosystems.]. *Uchebnoe posobie*. Samara. Samarskaya GSHA. 2001. P. 143 [in Russian]
3. Ashikhmina T. YA. Razrabotka metodov biologicheskogo monitoringa tekhnogennyh territorij Ispol'zovanie i ohrana prirodnyh resursov v Rossii. [Development of methods of biological monitoring of technogenic territories]. *Use and protection of natural resources in Russia*. 2013. No. 1. P. 29–35 [in Russian]
4. Kusova N. H., Makiev A. D., Okazova Z. P. Biomonitoring kak sposob kontrolya kachestva okruzhayushchej sredy [Biomonitoring as a way to control the quality of the environment]. *V mire nauchnyh otkrytij*. 2012. No. 9. P. 167–174 [in Russian]
5. Eremenko R. S., Zelenskaya T. G. Ocenka zagryazneniya okruzhayushchej sredy metodom fluktuiruyushchej asimmetrii [Assessment of environmental pollution by fluctuating asymmetry]. *Novyj universitet. Seriya: Voprosy estestvennyh nauk*. 2012. No. 3. P. 58–60 [in Russian]
6. Zakharov V. M., Krysanov E. YU. Posledstviya CHernobyl'skoj katastrofy: Zdorov'e sredy. [Consequences of the Chernobyl disaster: environmental health.]. Moscow, 1996. P. 170 [in Russian]
7. Zelenskaya T. G. Ocenka zagryazneniya okruzhayushchej sredy metodom fluktuiruyushchej asimmetrii [Assessment of environmental pollution by the method of fluctuating asymmetry]. *Sbornik nauchnyh trudov World po materialam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. 2012. Vol. 31. No. 3. P. 85–88 [in Russian]