

**ФЛУКТУИРУЮЩАЯ АСИММЕТРИЯ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ
БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**
**THE FLUCTUATING ASYMMETRY OF SILVER BIRCH (BETULA PENDULA ROTH.)
LEAVES IN THE CONDITIONS OF TECHNOGENIC POLLUTION**

Е. А. Самусик¹, С. Е. Головатый²

E. Samusik¹, S. Golovaty²

¹ Гродненский государственный университет им. Янки Купалы,

г. Гродно, Республика Беларусь

² Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,

г. Минск, Республика Беларусь

e.samusik@mail.ru

¹Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Republic of Belarus

²Belarusian State University, ISEU BSU, Minsk, Republic of Belarus

С использованием методики оценки качества среды по флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой проведено изучение морфологических показателей исследуемого объекта в градиенте расстояния от источника загрязнения. Результаты исследований показали, что уровень флуктуирующей асимметрии чувствителен к действию промышленного загрязнения, что обосновывает необходимость дальнейшего исследования с целью выявления их адаптивных механизмов при произрастании в техногенных условиях.

Using the methodology for assessing the quality of the environment according to the fluctuating asymmetry of the birch leaf blade, the morphological parameters of the studied object were studied in the gradient of the distance from the pollution source. The research results showed that the level of fluctuating asymmetry is sensitive to the effects of industrial pollution, which justifies the need for further research in order to identify their adaptive mechanisms when growing under technogenic conditions.

Ключевые слова: техногенное воздействие, газопылевые выбросы, древесные растения, флуктуирующая асимметрия.

Keywords: industrial impact, gas and dust emissions, woody plants, fluctuating asymmetry.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-1-288-291>

Актуальность экологического мониторинга приобретает особую значимость в связи с увеличением антропогенного воздействия на окружающую среду. Важный элемент биологического мониторинга – растения.

Древесные растения выступают в роли своеобразного живого фильтра, поглощая из воздуха пыль и разнообразные химические загрязнения. Согласно исследованиям [1-3], растительность поглощает из воздуха и связывает 50-60% токсических газов, в то время как атмосферная влага – 5-20%, почва – 5-10%, водоемы и животные – менее 5%.

Растения, как продуценты экосистемы, в течение всей жизни привязанные к локальной территории и подверженные влиянию двух сред: почвенной и воздушной, наиболее полно отражают весь комплекс стрессирующих воздействий на систему.

Использование фитоиндикационных методов позволяет получить более объективную информацию о функциональном состоянии растений, произрастающих в условиях техногенного загрязнения, а также дает основание для экологического прогноза на исследуемой территории. Одним из подходов для интегральной биологической характеристики среды является оценка состояния популяций по стабильности развития, которая характеризуется уровнем флуктуирующей асимметрии (далее – ФА) морфологических структур [4].

У растений билатеральная симметрия морфологических структур, например, листовых пластинок, как симметрия левого и правого существует в естественных условиях лишь в идеализированном фенотипе [5]. Это происходит потому, что в природе организм практически никогда не функционирует при оптимальном сочетании всех условий внешней среды. Стрессоры вызывают возмущения в течение развития организма, которые могут превысить способность последнего корректировать их проявление. В результате регистрируется нестабильность развития, о котором свидетельствуют отклонения в симметрии билатеральных морфологических структур, появление флуктуирующей асимметрии [4, 5].

Как известно вначале листовой зачаток увеличивается в размерах благодаря делению клеток, затем лист развертывается и растет далее за счет деления и растяжения клеток [6]. Сведения о том, какие из указанных процессов способствуют появлению ФА листа, в литературе малочисленны [6, 7, 8].

Метод ФА достаточно прост с точки зрения сбора, хранения и обработки материала. Он не требует специального сложного оборудования, но при этом позволяет получить интегральную оценку состояния организма при всем комплексе возможных воздействий.

Цель нашего исследования – анализ возможного применения индекса флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth), произрастающей в условиях техногенного загрязнения окружающей среды выбросами предприятия по производству строительных материалов (на примере ОАО «Красносельскстройматериалы»).

Объектом исследования являлась *Betula pendula* Roth. (береза повислая), как наиболее часто встречающаяся лиственная порода.

Климатические условия территории, прилегающей к цементному предприятию, оценивались по метеорологическим показателям Волковисской метеорологической станции. Преобладающими ветрами для летнего периода являются ветры с западной составляющей (СЗ, З, ЮЗ).

Материалом исследования являлись листья *Betula pendula*, которые отбирались по окружности в нижнем ярусе кроны деревьев на высоте 1,5–2 м (с укороченных побегов), в градиенте расстояния от источника загрязнения (1, 1.5, 2, 3.5, 6.5, 8, 15 км) в юго-восточном направлении. Отбор контрольных (фоновых) растительных образцов был осуществлен на расстоянии 15 км от источника загрязнения. Сборы листьев проводились в одно и то же время суток в ясную погоду. Выборку листьев делали с 10 близко расположенных деревьев на площади 10×10 м. Отбирались не поврежденные листья. Всего собиралось не менее 25 листьев среднего размера с одного дерева. Использовались только средневозрастные генеративные древесные растения. Отборы проб проводились в летний период года (июль).

Методика определения стабильности развития *Betula pendula* Roth. по величине флуктуирующей асимметрии листовых пластинок основана на системе промеров листа. Для этого на каждой листовой пластинке выполнялось по 5 измерений с левой и правой стороны листа. Измерения проводились в лабораторных условиях с помощью измерительного циркуля, линейки и транспортира. Расчет интегрального показателя стабильности развития производился по методике В.М. Захарова [4]. Все расчеты производились с помощью программы Microsoft Office Excel 2016.

В более ранних наших исследованиях показано, что в зоне влияния предприятия по производству строительных материалов формируется биогеохимическая аномалия, выражающаяся в нарушении естественного функционирования почв и растений. Так, анализ pH_{kcl} почв показал, что в 42% от исследованных образцов, обнаружено смещение значений кислотности в слабощелочную и щелочную область. Такая реакция почвенной среды объясняется распространением достаточно большого количества пылевых выбросов и, в свою очередь, накоплением в поверхностных горизонтах карбонатов [9].

Отмечена депрессия активности почвенных окислительных ферментов по мере приближения к источнику загрязнения. Результаты дисперсионного анализа показали, что уровень влияния реакции почвенной среды в этих условиях на полифенолоксидазную (ПФО) и пероксидазную (ПО) активности почв достаточно высокий. Отклонение от оптимального значения pH_{kcl} приводит к понижению ферментативной активности, связанное, в первую очередь, с ионизацией функциональных групп аминокислотных остатков данного белка, обеспечивающих оптимальную конформацию активного центра фермента. Значительное влияние фактора загрязнения оказало на активность каталазы как в почвах сельскохозяйственных земель, так и лесных [9, 10].

Установлено также, что в этой зоне наблюдается загрязнение почв тяжелыми металлами. Исследования показали, что коэффициент концентрации для Ti, Cu, Hg и As составляет менее 3, в то время как, коэффициент концентрации в почвах Cr, Ni, Zn, Pb и Ba более 3, что свидетельствует о тенденции аккумуляции этих химических элементов в почвах территорий, прилегающих к предприятию ОАО «Красносельскстройматериалы» [11].

Установлено также, что газо-пылевые выбросы цементного предприятия вызывают стимуляцию окислительных процессов в клетках листьев березы повислой, что выражается в увеличении содержания малонового диальдегида (МДА) – продукта перекисного окисления липидов мембран, и способствуют окислительному повреждению антиоксидантного фермента, которое в свою очередь приводит к понижению его активности в результате накопления избыточного количества перекисей, либо блокирования активного центра каталазы поллютантами. Эти исследования показали, что в условиях воздействия предприятия по производству строительных материалов формируются особые защитные механизмы листового аппарата *Betula pendula* Roth., проявляющиеся через изменение ряда ферментативных компонентов антиоксидантной защиты (на примере потенциальной активности каталазы). Большая степень ингибирования активности фермента может являться диагностическим признаком слабой устойчивости древесных растений к антропогенным нагрузкам [12].

Результаты отбора проб растительного материала в зоне влияния промышленного предприятия и фоновой территории позволили оценить диапазон изменений асимметрии исследуемых морфометрических параметров листовых пластинок березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в условиях газопылевого загрязнения окружающей среды.

Установлено, что в техногенных условиях параметры асимметрии листовых пластинок варьировали в более широком диапазоне по сравнению с фоновыми условиями. Величина относительной погрешности измерений не превышает 1%.

Для расчета коэффициента флуктуирующей асимметрии (далее – КФА) на предварительном этапе обработки данных по параметрам асимметрии листовых пластинок необходимо было убедиться во флуктуирующем характере асимметрии каждого признака и отсутствии или наличии направленной асимметрии и антисимметрии.

Для установления наличия или отсутствия направленной асимметрии была проверена гипотеза о равенстве показателя симметрии на левой и правой стороне листовых пластинок с помощью критерия Колмогорова-Смирнова.

Для выявления различий между коэффициентами флуктуирующей асимметрии в техногенных и фоновых условиях вначале была проверена гипотеза о равенстве дисперсий выборок, а затем, в зависимости от имеющих различий между дисперсиями, проверены гипотеза о равенстве математических ожиданий при неизвестных и равных дисперсиях и гипотеза о равенстве математических ожиданий при неизвестных и неравных дисперсиях. Результаты свидетельствуют, что наблюдаемые *t*-значения больше критических, что указывает на наличие различий между сравниваемыми средними величинами.

Результаты анализа дисперсионного комплекса, включающего параметры асимметрии листа в техногенных и фоновых условиях, свидетельствуют, что значение *F*-критерия превышают $F_{\text{критич.}}$ для всех исследованных параметров $p \leq 0,05$ ($F_{\text{критич.}} = 1,59$). Следовательно, параметры листовых пластинок деревьев, произрастающих в градиенте расстояния от источника загрязнения, достоверно отличаются от выборки в фоновых условиях.

С целью выявления наличия или отсутствия взаимосвязи между исследуемыми параметрами асимметрии листовых пластинок (отдельно на левой и правой половинках листа) был проведен расчет парных коэффициентов корреляции. В результате было выявлено отсутствие сильной корреляционной связи ($r=0,25-0,35$) между отдельными признаками, поэтому далее все параметры использовались для определения КФА.

В соответствии с условной шкалой отклонения от нормы определен уровень загрязнения газопылевыми выбросами предприятия по производству строительных материалов в исследованных пробных площадках. Результаты исследования представлены в таблице.

Таблица – Изменение величины флуктуирующей асимметрии
Betula Pendula Roth. в градиенте расстояния от источника загрязнения

Расстояние от источника загрязнения, км	Интегральный показатель ФА	Балл состояния	Качество среды
1	0,046	III	Средний уровень отклонения от нормы
1,5	0,045	III	Средний уровень отклонения от нормы
2	0,033	I	Условно нормальное
3,5	0,029	I	Условно нормальное
6,5	0,030	I	Условно нормальное
8	0,031	I	Условно нормальное
15	0,032	I	Условно нормальное

Интегральный показатель стабильности развития у выборок листьев березы повислой, взятых в градиенте расстояния от источника загрязнения, указывает на средний уровень отклонения от нормы ($>0,045$) и условно нормальный ($<0,040$). Полученные значения КФА варьируют в пределах от 0,029 до 0,046 и свидетельствуют, что прилегающая зона (в радиусе 1,5 км) к источнику техногенного загрязнения юго-восточного направления характеризуется неблагоприятной для роста и развития растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Илькун, Г. М. Принципы подбора растений для озеленения промышленных предприятий / Г. М. Илькун // Растения и промышленная среда. – Киев, 1976. – С. 164–167.
2. Николаевский, В. С. Биологические основы газоустойчивости растений / В. С. Николаевский. – Новосибирск : Наука, 1979. – 280 с.
3. Сергейчик, С. А. Газопоглотительная способность растений и аккумуляция в них элементов промышленных загрязнений / С. А. Сергейчик // Оптимизация окружающей среды средствами озеленения. – Минск : Наука и техника, 1985. – С. 68–75.
4. Здоровье среды: методы оценки / В. М. Захаров [и др.]. – М. : Центр экологической политики России, 2000. – 65 с.
5. Freeman, D. C., Graham, J. H., Emlen, J. M. et al. Plant Developmental instability: New Measures, Applications, and Regulation // Developmental instability. Causes and Consequences. – Oxford. : Oxford University Press, 2003. – P. 367–386.
6. Медведев, С. С. Физиология растений. – СПб. : Санкт-Петербургский ун-т, 2004. – 336 с.
7. Freeman, D. C., Graham, J. H., Emlen, J. M. et al. Plant Developmental instability: New Measures, Applications, and Regulation // Developmental instability. Causes and Consequences. – Oxford. : Oxford University Press, 2003. – P. 367–386.
8. Graham, J. H., Raz, S., Hel-Or H. et al. Fluctuating Asymmetry: Methods, Theory, and Applications // Symmetry, 2010. – Vol. 2, No. 3. – P. 466–540.
9. Самусик, Е. А., Головатый, С. Е. Каталазная и дегидрогеназная активность дерново-подзолистых почв в условиях воздействия выбросов предприятия по производству строительных материалов / Природопользование и экологические риски : материалы науч.-практ. конф., Минск, 5 июня 2019 г. – Минск : БГТУ, 2019. – С. 162–166.
10. Самусик, Е. А., Марчик, Т. П., Головатый, С. Е. Полифенолоксидазная и пероксидазная активность дерново-подзолистых почв в условиях выбросов предприятия по производству строительных материалов // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. – 2019. – № 3. – С. 65–79.

11. Содержание тяжелых металлов в почвах в зоне влияния цементного предприятия «Красносельскстрой-материалы» / Е. А. Самусик [и др.] // Актуальные проблемы экологии : сб. науч. ст. по материалам XII Междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 4-6 октября 2017 г. [Электронный ресурс] / Гродн. гос. ун-т им. Янки Купалы ; редкол.: В. Н. Бурдь [и др.]. – Гродно, 2017. – С.159–162.

12. Самусик, Е. А., Головатый, С. Е., Марчик, Т. П. Интенсивность перекисного окисления липидов и активность каталазы в листьях древесных растений, произрастающих в условиях промышленного загрязнения // Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI века: материалы 19-й Междунар. науч. конф., Минск, 23-24 мая 2019 г. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А.Д. Сахарова Бел. гос. ун-та ; под ред. С. А. Маскевича, С. С. Позняка. – Минск, 2018. – Ч. 3. – С. 79–83.

ОЦЕНКА УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ ПО БИОИНДИКАЦИОННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ПРЯМОКРЫЛЫХ (INSECTA, ORTHOPTERA)

ASSESSMENT OF THE URBANIZED ENVIRONMENT BY BIOLOGICAL INDICATORS OF ORTHOPTERA (INSECTA, ORTHOPTERA)

Т. П. Сергеева¹, О. В. Лозинская¹, Е. Г. Смирнова¹, Л. А. Майор,¹ Е. Т. Тумова²
T. Sergeeva¹, O. Lozinskaya¹, E. Smirnova¹, L. Mayor¹, E. Titova²

¹Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь

²ООЗЖ «Зоосвет», г. Минск, Республика Беларусь
sergeeva.t57@gmail.com

¹Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

²PAAP «ZOOSVET», Minsk, Republic of Belarus

Дана оценка экологических условий городской среды. Показано, что парковые зоны отличаются наибольшим разнообразием прямокрылых (Orthoptera). Индикационные показатели: альтернативные фены и жизненные формы отражают условия среды и служат механизмом адаптации к ней. Отмечено, что увеличение антропогенной нагрузки на биогеоценозы сопровождается исчезновением представителей Tettigoniidae – индикаторов естественных условий среды.

The assessment of the ecological urban environment is given. It is shown that park areas are characterized by the greatest diversity of Orthoptera. Indicators: alternative phenetic signs and life forms reflect environmental conditions and serve as the mechanism of adaptation to it. It is noted that the increase of anthropogenic load on biogeocenoses is accompanied by extinction of Tettigoniidae representatives – the indicators of natural environment conditionals.

Ключевые слова: урбоценоз, прямокрылые, местообитание, структура сообществ, виды-индикаторы.

Keywords: urbocenosis, Orthoptera, habitat, community structure, indicator species.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-1-291-294>

Изучение городской фауны как показателя состояния среды представляет несомненный интерес, особенно в нынешний техногенный век, когда качество жизни человека напрямую зависит от среды его обитания. Беларусь представляет собой пример глубокого преобразования сложившихся природных комплексов, а г. Минск – промышленно развитого города.

Урбанизация – процесс, полностью изменяющий окружающую среду. Техноценоз и биоценоз пронизывают друг друга, влияют один на другой, формируя таким образом одну систему – урбоценоз. Человек, изменяя в городах природную среду, создает предпосылки для образования особого растительного и фаунистического состава, включающего как аборигенные виды, так и интродуцированные и даже инвазивные. В силу того, что в городской среде природные растительные сообщества в своем большинстве замещаются видами, способными существовать в антропогенно измененных условиях, фаунистический состав также претерпевает структурные перестройки [1].

Экологические проблемы, связанные с техногенным воздействием на городскую среду, побуждают к поиску информативных критериев ее состояния. Для оценки экологических условий урбоценозов необходимо изучение динамики ее растительных и животных сообществ, установление закономерностей их структурной организации, использование индикационных показателей, а также выявление направленности наблюдаемых изменений. Одним из важных аспектов подобных исследований является поиск видов-индикаторов.

Для получения комплексной оценки использовали данные о микроэлементном составе почв в местах проведения исследования, что отражено на рисунках а-е.