

УДК 582.4/.9:574.24

**ФЛУКТУИРУЮЩАЯ АСИММЕТРИЯ ЛИСТЬЕВ *MORUS ALBA L.*
КАК БИОИНДИКАТОР АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
УРБОЭКОСИСТЕМ**

Ибрагимова Э.Э., Бандак И.В., Дрозд А.С.

*РВУЗ «Крымский инженерно-педагогический университет», Симферополь, Украина
E-mail: evelina_biol@mail.ru*

Проведена оценка изменений стабильности развития *Morus alba L.* в биотопах с различным уровнем техногенной нагрузки. Установлено, что ухудшение экологического состояния урбосреды не обуславливает снижения стабильности развития популяций *Morus alba L.* и может свидетельствовать об их толерантности к аэротехногенному загрязнению.

Ключевые слова: *Morus alba L.*, техногенное загрязнение, стабильность развития, флуктуирующая асимметрия, толерантность.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время доминирующим фактором, вызывающим деградацию почв и атмосферного воздуха в урбоэкосистемах является техногенное загрязнение, обусловленное воздействием промышленности, транспорта, а также другими видами антропогенной деятельности [1]. Наиболее опасным и интенсивным источником загрязнения атмосферы городов является автомобильный транспорт [2], в выбросах которого выявлено около 300 вредных веществ, среди которых особую опасность представляют оксиды углерода, углеводороды (канцерогенные бензопирены и бензантрацены, формальдегид, бензол), оксиды азота, сажа, свинец, ртуть, диоксид серы, альдегиды [3, 4].

Проблема техногенного загрязнения окружающей среды обострилась в последнее время и в Крымском регионе, транспортно-коммуникационный комплекс которого характеризуется преобладанием автомобильного транспорта, на долю которого приходится большая часть грузовых и пассажирских внутрикрымских перевозок. И хотя плотность сети автодорог в Крыму несколько меньше, чем в целом по Украине, интенсивность их использования на 20% выше [3]. При анализе динамики выбросов вредных веществ в атмосферу Крыма была установлена тенденция роста загрязнения атмосферы, обусловленная в основном выбросами автотранспорта, на долю которых приходится 70–80% [5], что неизбежно сказывается на состоянии окружающей среды [3]. Основной мишенью экотоксикантов при техногенном загрязнении становятся фитоценозы [6], так как растения не могут уйти от стрессового воздействия и вынуждены адаптироваться к нему с помощью физиолого-биохимических и анатомо-морфологических перестроек организма. Данный факт позволяет использовать

растения в качестве индикаторов загрязнения природной среды различными токсическими веществами [7]. Обнаружение и оценка этих изменений дают достоверную картину условий места произрастания растений и отражают состояние городской среды [8]. В связи с этим особую актуальность приобретают исследования, направленные на изучение последствий загрязнения окружающей среды на растительную компоненту экосистем. Для данной цели широко используются методы фитоиндикации техногенных загрязнений. Одним из таких методов, завоевавшим широкую популярность, является определение флуктуирующей асимметрии как интегрального показателя качества окружающей среды [9]. Под флуктуирующей асимметрией (ФА) понимают независимое изменение билатеральных признаков организма. Установлено, что явление флуктуирующей асимметрии связано с нарушением стабильности развития организма в результате воздействия внешних факторов, в первую очередь – антропогенного [10]. Степень выраженности ФА напрямую зависит от силы воздействия фактора, чем сильнее воздействие фактора, тем большие отклонения от нормы имеет показатель ФА [11], что позволяет на макроскопическом уровне использовать ее в качестве меры в оценке стабильности развития организма [12]. Следовательно, стабильность развития, оцениваемая по уровню ФА – чувствительный индикатор состояния природных популяций [13, 14].

Таким образом, определение влияния аэротехногенного загрязнения на величину флуктуирующей асимметрии листовой пластинки популяций *Morus alba* L. явилось целью нашего исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служили деревья шелковицы белой (*Morus alba* L.), произрастающие в с. Соколиное Бахчисарайского района, находящемся на значительном удалении от техногенных источников загрязнения, что позволило нам определить данный биотоп как условный контроль. В качестве опытного варианта была использована придорожная популяция *Morus alba* L., произрастающая на ул. Севастопольской, характеризующейся высокой автотранспортной нагрузкой [15]. Материал для исследования собирали в июне после остановки роста листьев. В каждом биотопе собирали по 10-15 листьев приблизительно одного размера, с укороченных побегов нижней части кроны 10 деревьев приблизительно одного генеративного возраста, без признаков фаутиности. Сильно отличающиеся по размеру или имеющие повреждения листья выбраковывались. Из каждого биотопа было исследовано не менее 100 листьев. Для оценки величины флуктуирующей асимметрии листовой пластинки шелковицы использовали стандартный набор из 5 морфологических признаков [13] характеризующих стабильность формообразования листа в онтогенезе:

- 1 – ширина левой и правой половинок листа (от границы центральной жилки до края листа);
- 2 – длина жилки второго порядка, второй от основания листа;
- 3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка;
- 4 – расстояние между концами этих же жилок;
- 5 – угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка.

Расчет интегрального показателя флуктуирующей асимметрии комплекса морфологических признаков листовой пластинки производили с использованием алгоритма нормированной разности [9]:

$$\bar{A}_1 = \frac{1}{m \cdot n} \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{(L_{ij} - R_{ij})}{(L_{ij} + R_{ij})},$$

где L_{ij} и R_{ij} – значение j -го признака у i -го листа соответственно слева и справа от плоскости симметрии и свертки функций, которая в виде конечных сумм может быть представлена следующей формулой [16]:

$$\bar{A}_2 = 1 - \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{2 \sum_{j=1}^{n_1} L_{ij} \cdot R_{ij}}{\sum_{j=1}^{n_1} (L_{ij}^2 + R_{ij}^2)}$$

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили по Н.А. Плохинскому [17] с помощью пакета прикладных программ Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Определение величины интегрального показателя стабильности развития *Morus alba*, произрастающих в биотопах с различной степенью техногенного загрязнения, показало, что исследованные популяции существенных отличий по показателю ФА не имели. В контрольном биотопе в среднем величина интегрального показателя составила 0,0251; для деревьев, произрастающих вдоль трассы на ул. Севастопольской – 0,0351. Отсутствие статистически достоверных отличий с контрольной выборкой по критерию Стьюдента ($p > 0,05$) свидетельствует об отсутствии нарушения стабильности развития популяции *M. alba* опытного биотопа (рис. 1).

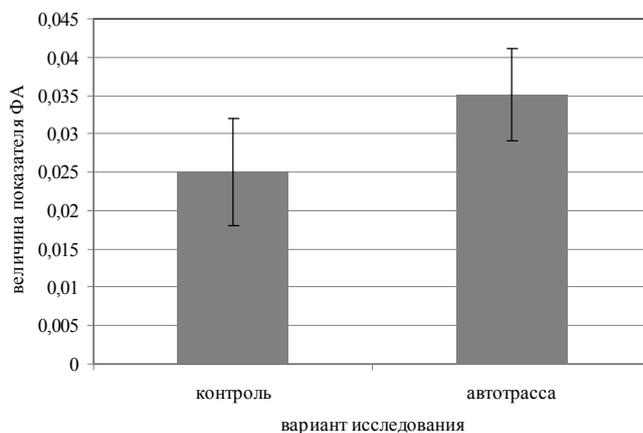


Рис. 1. Сравнительные показатели величины флуктуирующей асимметрии (ФА) ассимиляционного аппарата у популяций *Morus alba* L., произрастающих в биотопах с различным уровнем техногенной нагрузки.

В нашем исследовании установлена слабо выраженная экспрессивность асимметричности признаков, связанная с низким показателем пенетрантности. В частности, в опытной зоне выявлена сравнительно низкая доля асимметричных листовых пластин – показатель пенетрантности составил 34,5% при контроле 26%. Доля симметричных листьев (65,5%) является мерой онтогенетического гомеостаза и свидетельствует об отсутствии нарушения стабильности развития исследованной культуры при аэротехногенном загрязнении.

Сравнительный анализ величины ФА по каждому из пяти исследованных морфологических признаков, характеризующих стабильность формообразования листовой пластинки *M. alba* в онтогенезе, показал, что статистически достоверными в исследованных выборках были отличия только по двум показателям: расстояние между концами первой и второй жилок; угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка (табл. 1).

Таблица 1.

Сравнительные показатели средних величин морфологических признаков, характеризующих стабильность формообразования листовой пластины *Morus alba* L., произрастающих в биотопах с различным уровнем техногенного загрязнения

№	Вариант исследования	Морфологические признаки				
		1	2	3	4	5
1.	Контроль	0,019 ± 0,007	0,021 ± 0,008	0,019 ± 0,026	0,662 ± 0,015	0,001 ± 0,0001
2.	Автотрасса	0,022 ± 0,006	0,021 ± 0,009	0,082 ± 0,022	0,100 ± 0,015**	0,0488 ± 0,013*

Примечание. отличия от контроля достоверны при * – $p < 0,01$; ** – $p < 0,001$

Данный факт позволил нам установить причину низкого уровня пенетрантности асимметричности признаков. Становится очевидным, что чем меньше статистически отличных морфологических признаков будут характеризовать выбранные для анализа выборки, тем ниже будет их экспрессивность и, как следствие, пенетрантность.

В целом, несмотря на различия исследованных популяций по отдельным показателям, суммарная величина интегрального показателя ФА практически не отличалась от контрольного биотопа. Наши данные согласуются с представленными в литературе. В частности при исследовании ФА популяций липы мелколистной, произрастающих в биотопах с различным уровнем антропогенного загрязнения, существенных различий по исследованному показателю исследователями обнаружено не было [18], в связи с этим они пришли к заключению о невозможности использования данной культуры для фитоиндикационных исследований по определению интегрального показателя ФА.

Полученные нами данные позволили прийти к заключению, что шелковица является культурой толерантной к аэротехногенному загрязнению среду, о чем

свидетельствует низкий показатель величины ΦA , свидетельствующий об отсутствии нарушения стабильности ее онтогенетического развития. Устойчивость растений к действию аэротоксикантов связана с их способностью благодаря анатомо-морфологическим, физиологическим и биохимическим особенностям выдерживать значительные концентрации токсических газов без снижения роста и развития [19, 20]. Данный факт позволяет рекомендовать *Morus alba* для использования в озеленении урбоэкосистем с высоким уровнем аэротехногенного загрязнения.

Определение толерантных к техногенному загрязнению культур – востребованное направление современных экологических исследований, так как они могут использоваться для фиторекультивации. Для защитных полос вдоль магистралей необходимо применять более долговечные виды растений, устойчивые к воздействию выхлопных газов автомобилей. Возникает проблема выяснения степени устойчивости растений, используемых в озеленении урбанизированных экосистем к действию атмосферных токсикантов. Анализ литературных данных свидетельствует, что многие авторы активно занимаются проблемой устойчивости растений к аэротехногенному загрязнению [19–22]. При сравнительном анализе толерантности *Ailanthus glandulosa*, *Carpinus betulus*, *Tilia aryentea* и *Quercus cerris* к техногенным химическим загрязнениям, была установлена устойчивость *Q. cerris* [21]. Аналогичное исследование проводилось с *Populus deltoides*, *Betula verrucosa* и *Acer saccharinum*. Толерантным к аэротехногенному загрязнению оказались *P. deltoides* и *B. verrucosa* [23–25]. Кагарманов И.Р. и Уразгильдин Р.В. [19] также рекомендуют в местах высокой концентрации загрязнений использовать представителей рода *Populus* L. (*P. deltoides*, *P. simonii* Carr., *P. nigra*), так как они обладают высокой металлаккумулирующей способностью [26]. Рунова Е.М. и Чжан С.А. [27] установили высокую газоустойчивость *P. deltoides* и *Caragana arborescens*. В связи с этим исследователи рекомендуют использовать указанные культуры в санитарно-защитных зонах техногенных центров.

Следовательно, отсутствие статистически значимых различий показателя флуктуирующей асимметрии у деревьев, произрастающих в урбоэкосистемах с разной степенью антропогенной нагрузки, может свидетельствовать об их толерантности к аэротехногенному загрязнению.

ВЫВОДЫ

1. В исследовании не выявлена значимая зависимость величины флуктуирующей асимметрии *Morus alba* L. от уровня антропогенной нагрузки.
2. Отсутствие статистически значимых различий показателя флуктуирующей асимметрии у деревьев, произрастающих вдоль автотрассы, по сравнению с контрольными, свидетельствует об их толерантности к аэротехногенному загрязнению.
3. Рекомендуется использовать *Morus alba* L. для озеленения урбоэкосистем как толерантную к аэротехногенному загрязнению культуру.

Список литературы

1. Титова В. И. Некоторые подходы к экологической оценке загрязнения земельных угодий / В. И. Титова, М. В. Дабахов, Е. В. Дабахова // Почвоведение. – 2004. – № 10. – С. 1264–1267.
2. Бочаров В. Л. Эколого-геохимические методы оценки загрязнённости атмосферы малых городов / В. Л. Бочаров, Ю. В. Иванов // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. – 1997. – № 4. – С. 137–145.
3. Багрова Л. А. География Крыма: Учеб. пособие для учащихся общеобразоват. учеб. заведений / Л. А. Багрова, В. А. Боков, Н. В. Багров – К.: Лыбидь, 2001. – 304 с.
4. Мельников Н. Н. Органические соединения хлора в окружающей среде / Н. Н. Мельников, С. Р. Белан // Агрoхимия. – 1998. – № 10. – С. 83–93.
5. Шибанов С.Э. Основные экологические проблемы Крыма / С.Э. Шибанов // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції “Сучасні наукові дослідження – 2006”. – Т. 18. – Екологія. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2006. – С. 24–26.
6. Tekle K. Vegetation on hill slopes in southern Wello, Ethiopia: Degradation and regeneration / K. Tekle, I. Backeus, J. Skoglund, Z. Woldu // Nord. J. Bot. – 1997. – V. 17. – № 5. – P. 483–493.
7. Татарина Т.А. Величина флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth.) – возможный индикатор качества городской среды / Т.А. Татарина // Материалы Международной конференции студентов и аспирантов по фундаментальным наукам «Ломоносов». Выпуск 4. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – С. 71–72.
8. Лозановская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении / И.Н. Лозановская, Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова – М.: Высш. шк. – 1998. – 287 с.
9. Захаров В.М. Здоровье среды: практика оценки. Центр экологической политики России / [В.М. Захаров, А.Т. Чубинишвили, С.Г. Дмитриев, А.С. Баранов, В.И. Борисов, А.В. Валецкий, В.Ю. Крысанов, Н.Г. Кряжева, А.В. Пронин, Е.К. Чистякова]. – М., 2000. – 318 с.
10. Kozlov M.V. Fluctuation asymmetry of birch leaves increases under pollution impact / M.V. Kozlov, B.J. Wilsley, J. Koricheva, E. Naukioja // J. Appl. Ecology. – 1996. – № 33. – P. 1489–1495.
11. Зорина А.А. Характеристика флуктуирующей асимметрии лист двух видов берез в Карелии / А.А. Зорина, А.В. Коросов // Экология. Экспериментальная генетика и физиология. Труды Карельского научного центра РАН. – Выпуск 11. – 2007. – С. 28–36.
12. Захаров В.М. Онтогенез и популяция (стабильность развития и популяционная изменчивость) / В.М. Захаров // Экология. – 2001. – № 3. – С. 177–191.
13. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур) / МПР РФ; Введ. 16.10.03. – № 460-Р. – М., 2003. – 24 с.
14. Солдатова В.Ю. Флуктуирующая асимметрия березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukacz.) как критерий качества городской среды и территорий, подверженных антропогенному воздействию (на примере Якутии): Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / В.Ю. Солдатова – Якутия, 2006. – 18 с.
15. Асанова У.Б. Учет автотранспортной нагрузки в урбоэкосистемах / У.Б. Асанова, Л.А. Усеинова // Ключ к будущей профессии. Выпуск 4. – Симферополь: НИЦ КИПУ, 2009. – С. 137–139.
16. Гелашвили Д.Б. Структурные и биоиндикационные аспекты флуктуирующей асимметрии билатерально-симметричных организмов / Д.Б. Гелашвили, Е.В. Чупрунов, Д.И. Иудин // Журнал общей биологии. – 2004. – Т. 65, № 5. – С. 433–441.
17. Плохинский Н. А. Биометрия / Н.А. Плохинский. – М.: МГУ, 1970. – 367 с.
18. Баранов С.Г. Изучение признаков для оценки флуктуирующей асимметрии листовой пластины липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) южной части Московской области / С.Г. Баранов // Фундаментальные медико-биологические науки и практическое здравоохранение: сб. науч. трудов 1-й Международной телеконференции (Томск 20 января-20 февраля, 2010). – Томск: СибГМУ, 2010. – С. 43–46.
19. Кагарманов И.Р. Насаждения тополей в городе Уфе: Биологические особенности и перспективы использования / И.Р. Кагарманов, Р.В. Уразильдин // Геоэкол. В Урало-Касп. регионе: Тез. докл. междунар. науч.-практ. конф., Уфа, сент., 1996. – Ч. 2. – Уфа, 1996. – С. 18–20.
20. Жарко Л.Е. Рост и развитие березы повислой в городских условиях / Л.Е. Жарко // Ботан. исслед. в Сибири. – 1995. – № 4. – С. 27–28, 99.

21. Tsvetkova N. Effect of air pollution on carbohydrate and nutrients concentration in some deciduous tree species / N. Tsvetkova, D. Kolarov // Bulg. J. Plant Physiol. – 1996. – Vol. 22. – № 1–2. – P. 53–63.
22. Ибрагимова Э.Э. Индикация загрязнения среды автотранспортными выбросами по их гаметоцидному действию на растения / Э.Э. Ибрагимова // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції “Сучасні наукові дослідження – 2006”. – Т. 18. – Екологія. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2006. – С. 45–48.
23. Lorenc-Plucińska G. Pobieranie cukrów przez liście klonu srebrzystego (*Acer saccharinum* L.) działanie siarczynu / G. Lorenc-Plucińska // Arbor. kor. – 1993. – Vol. 38. – P. 53–64.
24. Lorenc-Plucińska G. Wpływ siarczynuna fotosyntezę i transport sacharozy w liściach topoli / G. Lorenc-Plucińska, J. Figaj // Arbor. kor. – 1993. – Vol. 38. – P. 75–78.
25. Кулагин А.Ю. Роль лесных насаждений в поглощении металлов в условиях техногенного загрязнения окружающей среды / А.Ю. Кулагин, А.А. Баталов, Р.Х. Гиниятуллин // Междунар. науч. конф. «Влияние атмосф. загрязнения и др. антропог. и природ. факторов на дестабилиз. состояния лесов Центр. и Восточ. Европы» [Москва, 1996]: Тез. докл. Т. 1. – М., 1996. – С. 61–62.
26. Корнелюк Н.М. Кора деревьев – модельный объект в системе комплексного мониторинга атмосферы м. Черкаси за вмістом важких металів / Н.М. Корнелюк // I Всеукр. з'їзд екол. (ECOLOGY-2006). Тези допов. Міжнар. наук.-практ. конф. м. Вінниця, 4-7 жовт. 2006 р. – В.: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – С. 95.
27. Рунова Е.М. Лесовосстановительные мероприятия в техногенных зонах г. Братска / Е.М. Рунова, С.А. Чжан // Человек – Среда – Вселенная: Тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Иркутск, 16-20 июня, 1997. Т. 1. – Иркутск, 1997. – С. 66–67.

Ибрагимова Е.Е. Флуктуирующая асимметрия листьев *Morus alba* L. как биоиндикатор аеротехногенного загрязнения урбоэкосистем / Е.Е. Ибрагимова, И.В. Бандак, А.С. Дрозд // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2011. – Т. 24 (63), № 2. – С. 129-135.

Проведено оцінку змін стабільності розвитку *Morus alba* L. у біотопах з різним рівнем техногенного навантаження. Встановлено, що погіршення екологічного стану урбосередовища не обумовлює зниження стабільності розвитку *Morus alba* L. І може свідчити про їх толерантність до аеротехногенного забруднення.

Ключові слова: *Morus alba* L., техногенне забруднення, стабільність розвитку, флуктуирующая асиметрія, толерантність.

Ibragimova E.E. Fluctuating asymmetry leaves *Morus alba* L. as bioindicators of aerotechnogenic pollution urboecosystems / E.E. Ibragimova, I.V. Bandak, A.S. Drozd // Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2011. – Vol. 24 (63), No 2. – P. 129-135.

The article deals with the estimate of stability changes in the development of *Morus alba* L. in biotopes with different level of technogenic work. It was determined that the deterioration of the urbanized environment ecological not condition causes the decrease of stability in development of *Morus alba* L. and can testify their tolerance to aerotechnogenic pollution.

Keywords: *Morus alba* L., technogenic pollution, development sability, fluctuating asymmetry, tolerance.

Поступила в редакцию 17.05.2011 г.