

УДК 574.3.591.3

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
НА ВЕЛИЧИНУ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ ЛИСТОВОЙ
ПЛАСТИНКИ *ARMENIACA VULGARIS L.***

Ибрагимова Э.Э.

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

Проведена оценка изменений стабильности развития *Armeniacca vulgaris L.* в биотопах с различным уровнем техногенной нагрузки. Установлено, что ухудшение экологического состояния урбосреды обуславливает снижение стабильности развития *Armeniacca vulgaris L.*, оцениваемое по величине флуктуирующей асимметрии листовой пластинки.

Ключевые слова: *Armeniacca vulgaris L.*, техногенное загрязнение, стабильность развития, флуктуирующая асимметрия.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных проблем современности является воздействие техногенной деятельности на объекты окружающей среды, приобретающее в последние десятилетия глобальные масштабы. Данный факт явился решающим для увеличения экологических исследований с целью определения степени влияния техногенной нагрузки на биотический компонент экосистем. Следует отметить, что растительные организмы являются очень удобным объектом для мониторинговых экологических исследований, так как составляют 99% биомассы экосистем. Важными индикаторными признаками, характеризующими изменения в результате техногенного пресса, являются скорость фотосинтеза, состав органических соединений, процессы семяношения и плодоношения, качество и количество продуцируемой пыльцы, уровень мутирования клеток различных тканей и т.д. Изучение данных показателей легло в основу биоиндикационных исследований, которые можно проводить на любом уровне организации живой материи (от молекулярного до биоценотического). Повышение уровня организации живой природы приводит к неоднозначности взаимосвязи биологического отклика с антропогенными факторами исследуемой среды, так как на них накладываются и природные факторы, в связи с чем в качестве биотестов выбирают наиболее чувствительные к исследуемым загрязнителям организмы [1].

На фиксации морфологических отклонений растений от нормы под действием загрязнителей основана биоиндикация на тканевом уровне. К морфологическим отклонениям высших растений относят изменение окраски листьев, хлороз, пожелтение, некроз, увядание листовой пластинки и ее опадание [1]. В силу чего листья

древесных растений, как листопадных, так и вечнозеленых, представляют собой важный объект для осуществления экофизиологических исследований [2]. Таким образом, изменения, происходящие в ассимиляционном аппарате высших растений, могут служить надежным информативным источником отрицательного влияния антропогенных факторов.

В последнее время предлагается довольно широкий спектр различных методов для биоиндикации антропогенной нагрузки, основное требование, предъявляемое к подобному рода методам – простота и быстрота выполнения при высокой степени чувствительности и достоверности. Одним из таких методов является определение интегрального показателя флуктуирующей асимметрии ассимиляционного аппарата многолетних древесных растений в качестве критерия стабильности их развития. Выбор многолетних древесных растений в качестве объекта исследования связан с рядом причин. Во-первых, у древесных форм растений ежегодно формируются листья, во-вторых, многие виды имеют повсеместное распространение и четко выраженные признаки, что позволяет проводить постоянный мониторинг. Принцип исследования стабильности развития по показателю флуктуирующей асимметрии основан на нарушении симметрии листовой пластины у древесных форм растений под воздействием антропогенных факторов.

Под флуктуирующей асимметрией (ФА) понимают незначительные и случайные отклонения от строгой билатеральной симметрии биообъектов [3]. По мнению А.Т. Чубинишвили [4], отсутствие абсолютно симметричных организмов является следствием несовершенства механизмов, контролирующих онтогенез, проявляющимся в их неспособности противостоять негативному воздействию факторов внешней среды. В связи с этим, ФА организмов по билатеральным признакам представляет собой макроскопическое событие, заключающееся в независимом проявлении либо на левой, либо на правой, или на обеих сторонах тела, но в разной степени выраженных признаков, что позволяет на макроскопическом уровне флуктуирующую асимметрию использовать в качестве меры в оценке стабильности развития организма [5]. Уровень морфогенетических отклонений (т.е. ФА) от нормы оказывается минимальным лишь при определенных (оптимальных) условиях среды и неспецифически возрастает при любых стрессовых воздействиях. В связи с этим оценка ФА дает возможность диагностировать отклонения от условной нормы на более ранних стадиях патологического состояния дерева, когда по этим критериям оно является еще «здоровым» [6]. Таким образом, стабильность развития, оцениваемая по уровню ФА – чувствительный индикатор состояния природных популяций [7, 8].

В связи с этим предметом данного исследования явилось определение влияния техногенного химического загрязнения на величину флуктуирующей асимметрии листовой пластинки популяций *Armeniaca vulgaris L.*

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служили деревья абрикоса обыкновенного (*Armeniaca vulgaris* L.), произрастающие в пригородной зоне г. Симферополя на значительном удалении от техногенных источников загрязнения, что позволило нам определить данный биотоп как условный контроль. В качестве опытного варианта была использована придорожная популяция *Armeniaca vulgaris* L., произрастающая на ул. Севастопольской, характеризующейся высокой автотранспортной нагрузкой [9]. Материал собирали во второй половине июля после остановки роста листьев. В каждом биотопе собирали по 10 листьев с укороченных побегов нижней части кроны 10 деревьев генеративного возраста. Для оценки величины флуктуирующей асимметрии листовой пластинки абрикоса обыкновенного использовали стандартный набор из 5 морфологических признаков [7] характеризующих стабильность формообразования листовой пластинки *Armeniaca vulgaris* L. 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 [10]:

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

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 [11]:

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

Общая фенотипическая изменчивость оценивалась по дисперсии суммы значений признака с левой и правой стороны листа.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили по Г.Ф. Лакину [12] с помощью пакета прикладных программ Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование флуктуирующей асимметрии и общей фенотипической изменчивости листовых пластин абрикоса, произрастающих в биотопах с различной

степенью техногенного загрязнения, показало, что исследованные популяции существенно отличаются по показателю величины ФА. В контрольной зоне величина интегрального показателя составила 0,164; для деревьев, произрастающих вдоль трассы на ул. Севастопольской – 0,585, что свидетельствует о нарушении стабильности их развития (рис. 1). Полученный показатель характеризуется высоким уровнем значимости различий с контрольной выборкой по критерию Стьюдента – $p < 0,001$.

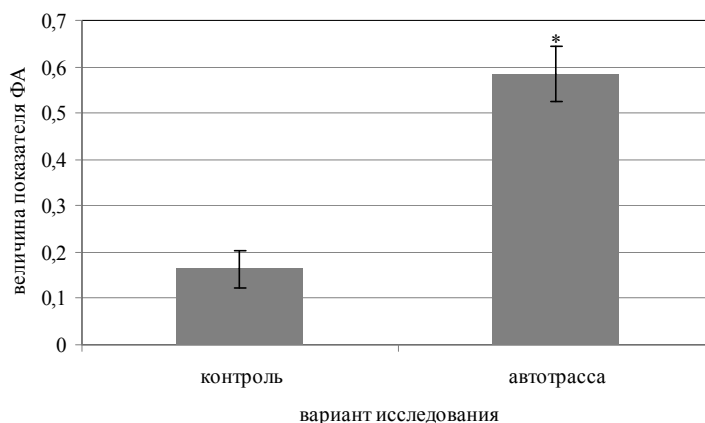


Рис. 1. Сравнительные показатели величины флуктуирующей асимметрии (ФА) ассимиляционного аппарата у популяций *Armeniaca vulgaris* L., произрастающих в биотопах с различным уровнем техногенной нагрузки (отличия от контроля достоверны при * – $p < 0,001$).

Анализ показателей стабильности развития *A. vulgaris* L. по ул. Севастопольской показал, что показатель качества среды существенно отклоняется от контрольного биотопа и может быть определен как неблагоприятная экологическая ситуация. Нарушения стабильности развития наиболее ярко были выражены вблизи источника загрязнения, в зоне выбросов автотранспортных средств. Аэрополлютанты оказывали выраженное отрицательное воздействие, проявляющееся в повышении уровня асимметрии ассимиляционного аппарата исследованной культуры.

В нашем исследовании установлена выраженная «экспрессивность» асимметричности признаков, связанная с высоким показателем «пенетрантности». В частности, в опытной зоне выявлена очень высокая доля асимметричных листовых пластин – показатель «пенетрантности» составил 88%. Следовательно, в качестве меры онтогенетического гомеостаза будет выступать доля симметричных листьев, а маркером произошедшего внешнего воздействия (аэротехногенного загрязнения) – степень отклонения от теоретически ожидаемого соотношения различных форм в исследуемой выборке.

В нашем исследовании установлены существенные отличия между исследованными популяциями по значениям дисперсии общей фенотипической

изменчивости по изученным показателям. Сравнение листовых пластин деревьев контрольного и опытного биотопа показало большие различия по морфологической изменчивости. Они выражаются в значительно больших значениях дисперсии как флуктуирующей асимметрии, так и общей фенотипической изменчивости у деревьев, произрастающих в техногенной зоне, что является результатом снижения уровня их стабильности развития (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительные показатели ФА *Armeniaca vulgaris* L., произрастающих в биотопах с различным уровнем техногенного загрязнения

№	Вариант исследования	ФА	Стандартное отклонение	Дисперсия	Ошибка	t
1.	Контроль	0,164	0,257	0,197	0,036	–
2.	Автотрасса	0,585	0,434	1,003	0,061	5,85

Высокий уровень флуктуирующей асимметрии у деревьев, произрастающих вдоль автотрассы по сравнению с контрольными, может свидетельствовать о пониженном уровне стабильности их развития в худшую сторону.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют, что информация, получаемая в отношении ограниченного набора морфологических признаков, дает возможность охарактеризовать уровень стабильности организма в целом, а также оценить суммарное воздействие комплекса техногенных поллютантов, что в конечном итоге позволяет дать экологическую оценку качества окружающей природной среды. Методика определения показателя флуктуирующей асимметрии дает интегральную оценку, позволяющую охарактеризовать состояние живых организмов при всем комплексе воздействий абиотического и биотического характера. Данный аспект позволяет выявлять отклонения от нормы не зависимо от конкретных причин его вызывающих, что представляется абсолютно невозможным при использовании специфических тестов, определяющих последствия конкретных воздействий. Все это позволяет использовать данный подход для определения степени техногенного загрязнения на биотический компонент экосистем.

ВЫВОДЫ

1. Выявлена значимая зависимость величины флуктуирующей асимметрии от уровня антропогенной нагрузки.
2. Высокий уровень флуктуирующей асимметрии у деревьев, произрастающих вдоль автотрассы по сравнению с контрольными, свидетельствует о пониженном уровне стабильности их развития и ухудшении качества среды.
3. Информация, полученная в отношении ограниченного набора морфологических признаков, дает возможность охарактеризовать уровень стабильности организма в целом, а также оценить суммарное воздействие комплекса техногенных поллютантов, позволяющее дать экологическую оценку качества окружающей природной среды.

Список литературы

1. Евгеньев М.И. Тест-методы и экология / М.И. Евгеньев // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 11. – С. 29–34.
2. К методологии экофизиологических исследований листьев древесных растений / Л.М. Кавеленова, Е.В. Малыхина, С.А. Розно [и др.] // Поволжский экологический журнал. – 2008. – № 3. – С. 200–210.
3. Захаров В.М. Асимметрия животных / Захаров В.М. – М.: Наука, 1987. – 216 с.
4. Чубинишвили А.Т. Морфогенетическая и цитогенетическая характеристика природных популяций зеленых лягушек гибридогенного комплекса *Rana esculenta* в естественных условиях и подверженных антропогенному воздействию: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. / А.Т. Чубинишвили. – М., 1997. – 20 с.
5. Захаров В.М. Онтогенез и популяция (стабильность развития и популяционная изменчивость) / В.М. Захаров // Экология. – 2001. – № 3. – С. 177–191.
6. Влияние лесопатологического состояния березы повислой на величину флуктуирующей асимметрии листовой пластинки / Д.Б. Гелашвили, И.В. Лобанова, Е.А. Ерофеева [и др.] // Поволжский экологический журнал. – 2007. – № 2. – С. 106–115.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Здоровье среды: практика оценки. Центр экологической политики России / [Захаров В.М., Чубинишвили А.Т., Дмитриев С.Г. и др.] – М., 2000. – 318 с.
11. 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.
12. Лакин Г.Ф. Биометрия / Лакин Г.Ф. – М.: Высш. шк., 1973. – 343 с.

Ібрагімова Е.Е. Вплив техногенного хімічного забруднення на величину флуктуючої асиметрії листової пластинки *Armeniacia vulgaris* L. / Е.Е. Ібрагімова // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2010. – Т. 23 (62), № 3. – С. 62-67.

Проведено оцінку змін стабільності розвитку *Armeniacia vulgaris* L. у біотопах з різним рівнем техногенного навантаження. Встановлено, що погіршення екологічного стану урбосередовища обумовлює зниження стабільності розвитку *Armeniacia vulgaris* L., оцінюване по величині флуктуючої асиметрії листової пластинки.

Ключові слова: *Armeniacia vulgaris* L., техногенне забруднення, стабільність розвитку, флуктуюча асиметрія.

Ibragimova E.E. Influence of technogenic chemical pollution on size of fluctuating asymmetry of the leaf laminae on *Armeniacia vulgaris* L. / E.E. Ibragimova // Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2010. – Vol. 23 (62), No 3. – P. 62-67.

The article deals with the estimate of stability changes in the development of *Armeniacia vulgaris* L. in biotopes with different level of technogenic work. It was determined that the deterioration of the urbanized environment ecological condition causes the decrease of stability in development of *Armeniacia vulgaris* L., which is evaluated by the size of fluctuating asymmetry of the leaf laminae.

Keywords: *Armeniacia vulgaris* L., technogenic pollution, development stability, fluctuating asymmetry.

Поступила в редакцию 28.09.2010 г.