

УДК 574.21

Зыков И.Е.¹, Федорова Л.В.¹, Баранов С.Г.²¹Московский государственный областной гуманитарный институт (г. Орехово-Зуево)²Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых**ОЦЕНКА БИОИНДИКАЦИОННОГО ЗНАЧЕНИЯ УРОВНЯ
ИЗМЕНЧИВОСТИ ПАРАМЕТРОВ ЛИСТОВЫХ ПЛАСТИНОК ЛИПЫ
МЕЛКОЛИСТНОЙ (TILIA CORDATA MILL.) В УСЛОВИЯХ ГОРОДА
ОРЕХОВО-ЗУЕВО И ОРЕХОВО-ЗУЕВСКОГО РАЙОНА**

Аннотация. Изучен уровень изменчивости пяти биометрических характеристик листа липы мелколистной. Дана оценка стабильности развития вида по стандартным параметрам в биотопах с различной антропогенной нагрузкой. Установлено, что наиболее устойчивыми признаками являются: ширина половинки листа, расстояние между основаниями первой и второй жилок первого порядка, угол между центральной и первой жилкой первого порядка. Рассмотрена возможность изменения стандартной методики вследствие того, что совокупности трех перечисленных признаков достаточно для расчета суммарного показателя флуктуирующей асимметрии листьев.

Ключевые слова: флуктуирующая асимметрия, биоиндикация, фенотипические отклонения, уровень изменчивости, коэффициент вариации, липа мелколистная.

I. Zykov¹, L. Fedorova¹, S. Baranov²¹Moscow State Regional Institute of Humanities, Orekhovo-Zuevo²Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs**ASSESSMENT OF THE BIOLOGICAL VALUE OF THE LEVEL
OF VARIABILITY OF THE PARAMETERS OF LEAF BLADES
OF SMALL-LEAVED LINDEN (TILIA CORDATA MILL.) IN THE CITY
OF OREKHOVO-ZUYEVO AND OREKHOVO-ZUYEVO REGION**

Abstract. The problem of the variability of five biometric characteristics of linden (*Tilia cordata* Mill.) leaves is considered. We have estimated the developmental stability of standard parameters in habitats with different anthropogenic loads. It is found that the most stable features are the half-width of the leaf, distance between the bases of the first and second ribs of the first order, and angle between the central and first vein of the first order. We consider the possibility of changing the standard technique due to the fact that the set of these three parameters is sufficient to calculate the overall index of fluctuating asymmetry of leaves.

Key words: fluctuating asymmetry, bioindication, phenodeviants, level of variability, coefficient of variation, small-leaved linden.

Оценка качества среды урбанизированных территорий является важной

© Зыков И.Е., Федорова Л.В., Баранов С.Г., 2015.

задачей биоиндикационных исследований. Для биоиндикации в последнее время широко используется показатель флуктуирующей асимметрии

листовых пластинок. Флуктуирующая асимметрия как незначительные не-направленные отклонения от строгой билатеральной симметрии в пределах нормы реакции организма является следствием несовершенства онтогенетических процессов [1]. Целью нашего исследования являлось изучение уровня изменчивости биоиндикационных параметров листа липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) и возможности его использования для оценки состояния окружающей среды г. Орехово-Зуево и Орехово-Зуевского района. Липа мелколистная была выбрана объектом исследования как один из наиболее распространенных видов урбанизированных ландшафтов, устойчивых к действию среды обитания [4].

Материалы для выявления степени флуктуирующей асимметрии листьев липы мелколистной были собраны в

пяти точках города Орехово-Зуево и Орехово-Зуевского района в 2008 г. и обработаны по стандартной методике [2]. С одного листа снимали показатели по пяти билатеральным признакам с левой и правой стороны листовой пластинки: 1-й признак – ширина половинки листа; 2-й – расстояние между основаниями первой жилки первого порядка и второй жилки второго порядка; 3-й – расстояние между основаниями второй и третьей жилок второго порядка; 4-й – расстояние между основаниями первой и второй жилок первого порядка; 5-й – угол между центральной и первой жилкой первого порядка. Для каждой точки расчетным путем получены результаты биоиндикации состояния окружающей среды по показателю флуктуирующей асимметрии (табл. 1) листьев липы мелколистной.

Таблица 1

Показатель флуктуирующей асимметрии листьев липы мелколистной г. Орехово-Зуево и Орехово-Зуевского района в 2008 г.

| № п/п | Точка исследования | Показатель флуктуирующей асимметрии |
|-------|---|-------------------------------------|
| 1 | Орехово-Зуевский район, д. Давыдово, насаждения около Администрации сельского поселения | 0,0644 |
| 2 | Орехово-Зуевский район, г. Ликино-Дулево, насаждения около детского сада «Сказка» | 0,0703 |
| 3 | г. Орехово-Зуево, пришкольный участок МОУ «Гимназия № 14» | 0,0472 |
| 4 | г. Орехово-Зуево, пришкольный участок МОУ СОШ № 12 с УИОП | 0,0532 |
| 5 | г. Орехово-Зуево, насаждения вдоль автодороги по ул. Козлова, напротив Управления образования | 0,0573 |

Согласно полученным результатам наименьшее значение показателя флуктуирующей асимметрии листьев липы мелколистной наблюдается в г. Орехово-Зуево на пришкольном участке МОУ

«Гимназия № 14» (точка № 3). Удаленность данного местообитания от промышленных предприятий и автодорог, близость мало нарушенных приречных биотопов р. Клязьмы, по-видимому, де-

лают эту территорию одной из наименее загрязненных в черте города. Фоновому состоянию окружающей среды соответствует и показатель асимметричности в точке № 4. В этом микрорайоне города находится химический завод по выпуску изделий из фенолформальдегидных смол. Однако расположение данной территории на окраине города, недалеко от луговых и приречных биоценозов, а также приоритетное направление ветров, сносящих большую часть выбросов завода в сторону от пробной площадки, частично нивелирует их воздействие на биоту. Средний уровень загрязнения окружающей среды регистрируется в точке № 5. Очевидно, что наибольшее влияние на среду обитания здесь оказывает автомобильный транспорт, однако интенсивность его движения невелика и отсутствие потока большегрузных автомобилей незначительно нарушает экологическую обстановку. Сильное (точка № 1) и критическое (точка № 2) загрязнение окружающей среды наблюдается в Орехово-Зуевском районе, на территориях, где сосредоточены такие промышленные предприятия, как завод по производству шин «Мишлен» и производство пластмассовых изделий «Импульс Пласт» (д. Давыдово), АОЗТ «Дулевский фарфор» и АООТ «Ликинский автобусный завод» (г. Ликино-Дулево).

Полученные результаты могут быть верифицированы путем их сопоставления между собой, а также по прямым и косвенным характеристикам местобитаний. Они, безусловно, зависят от выбора признаков объекта биоиндикации. Метод флуктуирующей асимметрии основан на выявлении эффективности гомеостаза развития, который может быть оценен с морфологической, генетической, физиологической,

биохимической и иммунологической точек зрения [3]. При оценке морфологических изменений как следствия нарушения гомеостаза основным является морфогенетический подход. Он характеризует стабильность развития, процессы, снижающие фенотипическое разнообразие как следствие нарушений онтогенеза. Это приводит к отклонению разнообразных морфологических признаков, которые оцениваются по величине флуктуирующей асимметрии.

Наряду с флуктуирующей асимметрией наиболее часто применяется оценка частоты существенных морфологических отклонений (фенотипических вариантов). При этом могут быть использованы разные методики, дающие представление об уровне изменчивости признаков. Нами использована методика С.А. Мамаева, разработанная для определения изменчивости признаков у древесных растений [5-6]. Анализ биоиндикационной ценности параметров листа для выявления показателя флуктуирующей асимметрии позволил сделать предположение о возможности изменения стандартной методики. Наиболее стабильные параметры листовой пластинки с низким уровнем изменчивости должны быть сохранены, а признаки с высоким коэффициентом вариации, возможно, не следует учитывать вообще, попытаться заменить их на более надежные альтернативные признаки или использовать в качестве дополнительных. Для определения уровня изменчивости был вычислен коэффициент вариации для каждого признака левой и правой половины листа в отдельности для каждой точки сбора листьев в г. Орехово-Зуево и Орехово-Зуевском районе (см. табл. 2-5).

Таблица 2

**Коэффициент вариации признаков листа липы мелколистной
в точке 1 (Орехово-Зуевский р-н, д. Давыдово, насаждения около
Администрации сельского поселения)**

| Метрические признаки | Ширина половины листа, мм | | Расстояние между основаниями 1-й жилки 1-го порядка и 2-й жилки 2-го порядка, мм | | Расстояние между основаниями 2-й и 3-й жилок 2-го порядка, мм | | Расстояние между основаниями 1-й и 2-й жилок 1-го порядка, мм | | Угол между центральной и 1-й жилкой 1-го порядка, градусы | |
|---------------------------------|---------------------------|----------------|--|----------------|---|----------------|---|----------------|---|----------------|
| | Л | П | Л | П | Л | П | Л | П | Л | П |
| Минимум - максимум | 24-52 | 28-50 | 04-30 | 03-29 | 07-24 | 05-31 | 10-30 | 10-30 | 27-57 | 25-49 |
| Среднее значение признака | 36,25 ±0,56 | 36,85 ±0,40 | 18,09 ±0,52 | 17,22 ±0,52 | 13,10 ±0,34 | 13,29 ±0,52 | 19,99 ±0,40 | 20,03 ±0,40 | 37,47 ±0,60 | 36,01 ±0,48 |
| Среднее квадратичное отклонение | 5,58 | 4,39 | 5,18 | 5,18 | 3,39 | 5,18 | 3,99 | 3,99 | 5,98 | 4,79 |
| Коэффициент вариации, % | 15 | 12 | 29 | 30 | 26 | 39 | 20 | 20 | 16 | 13 |
| Уровень изменчивости, баллы | II | II | IV | IV | IV | V | III | III | III | II |

Таблица 3

**Коэффициент вариации признаков листа липы мелколистной
в точке 2 (Орехово-Зуевский район, г. Ликино-Дулево,
насаждения около детского сада «Сказка»)**

| Метрические признаки | Ширина половины листа, мм | | Расстояние между основаниями 1-й жилки 1-го порядка и 2-й жилки 2-го порядка, мм | | Расстояние между основаниями 2-й и 3-й жилок 2-го порядка, мм | | Расстояние между основаниями 1-й и 2-й жилок 1-го порядка, мм | | Угол между центральной и 1-й жилкой 1-го порядка, градусы | |
|---------------------------------|---------------------------|----------------|--|----------------|---|----------------|---|----------------|---|----------------|
| | Л | П | Л | П | Л | П | Л | П | Л | П |
| Минимум-максимум | 20-50 | 25-45 | 9-29 | 9-23 | 7-23 | 7-24 | 13-37 | 7-35 | 14-63 | 9-58 |
| Среднее значение признака | 33,95 ±0,60 | 34,17± 0,40 | 16,46± 0,40 | 16,70± 0,28 | 12,22± 0,32 | 12,59± 0,34 | 19,65± 0,48 | 19,31± 0,56 | 40,26± 0,97 | 40,28± 0,97 |
| Среднее квадратичное отклонение | 5,98 | 3,99 | 3,99 | 2,79 | 3,19 | 3,39 | 4,78 | 5,58 | 9,77 | 9,77 |
| Коэффициент вариации, % | 18 | 12 | 24 | 17 | 26 | 27 | 24 | 29 | 24 | 24 |
| Уровень изменчивости, баллы | III | II | III | III | IV | IV | III | IV | III | III |

Таблица 4

**Коэффициент вариации признаков листа липы мелколистной в точке 3
(г. Орехово-Зуево пришкольный участок МОУ «Гимназия № 14»)**

| Метрические признаки | Ширина по- ловины листа, мм | | Расстояние между основаниями 1-й жилки 1-го поряд- ка и 2-й жилки 2-го порядка, мм | | Расстояние между основа- ниями 2-й и 3-й жилок 2-го по- рядка, мм | | Расстояние между основаниями 1-й и 2-й жилок 1-го порядка, мм | | Угол между центральной и 1-й жилкой 1-го порядка, градусы | |
|---|-----------------------------------|----------------|--|----------------|--|----------------|--|----------------|---|----------------|
| | Л | П | Л | П | Л | П | Л | П | Л | П |
| Минимум- максимум | 21-50 | 25-49 | 10-37 | 10-29 | 9-18 | 9-20 | 10-27 | 9-32 | 25-51 | 30-55 |
| Среднее значе- ние признака | 35,94± 0,57 | 36,20± 0,47 | 19,70± 0,53 | 19,86± 0,37 | 12,86± 0,17 | 13,07± 0,21 | 18,36± 0,33 | 18,31± 0,45 | 35,52± 0,52 | 40,28± 0,49 |
| Среднее ква- дратичное отклонение | 5,78 | 4,79 | 5,38 | 3,79 | 1,80 | 2,20 | 3,39 | 4,39 | 5,18 | 4,98 |
| Коэффициент вариации, % | 16 | 13 | 27 | 19 | 14 | 16 | 18 | 25 | 15 | 12 |
| Уровень из- менчивости, баллы | III | II | IV | II | II | III | III | III | II | II |

Таблица 5

**Коэффициент вариации признаков листа липы мелколистной в точке 4
(г. Орехово-Зуево, пришкольный участок МОУ СОШ № 12 с УИОП)**

| Метрические признаки | Ширина по- ловины листа, мм | | Расстояние между основаниями 1-й жилки 1-го по- рядка и 2-й жилки 2-го порядка, мм | | Расстояние между основа- ниями 2-й и 3-й жилок 2-го по- рядка, мм | | Расстояние между основаниями 1-й и 2-й жилок 1-го порядка, мм | | Угол между цен- тральной и 1-й жилкой 1-го по- рядка, градусы | |
|---|-----------------------------------|---------------|--|---------------|--|---------------|--|---------------|--|---------------|
| | Л | П | Л | П | Л | П | Л | П | Л | П |
| Минимум- максимум | 28-52 | 30-54 | 7-34 | 9-48 | 9-31 | 11-20 | 13-46 | 15-48 | 29-49 | 26-49 |
| Среднее значе- ние при- знака | 42,6± 0,48 | 43,2± 0,48 | 23,5± 0,54 | 23,8± 0,78 | 16,5± 0,44 | 16,2± 0,18 | 24,5± 0,66 | 25,4± 0,66 | 37,81± 0,40 | 37,9± 0,46 |
| Среднее ква- дратичное отклонение | 4,78 | 4,79 | 5,39 | 7,78 | 4,39 | 1,80 | 6,58 | 6,58 | 3,99 | 4,59 |
| Коэффициент вариации, % | 11 | 11 | 22 | 33 | 27 | 11 | 27 | 26 | 11 | 12 |
| Уровень из- менчивости, баллы | II | II | III | IV | IV | II | IV | IV | II | II |

Изучая изменчивость признаков в отдельности, можно ввести такой показатель, как совокупный уровень изменчивости, который будет складываться из изменчивости каждого признака. Он может быть вычислен для каждой из сторон листа (см. табл. 6-7). Совокупный уровень изменчиво-

сти левой и правой половины листа по всем пяти параметрам листовой пластинки в точках 1 и 2 одинаков (равен 16 слева и справа соответственно), что, по-видимому, свидетельствует о направленной изменчивости, тогда как в точке 3 (15 слева и 12 справа) и 4 (15 слева и 14 справа) его отклонения могут являться следствием проявления направленной асимметрии.

При сравнении уровня изменчивости показателей листа липы мелколистной оказалось, что коэффициент вариации второго и третьего признаков (расстояние между основаниями первой жилки первого порядка и второй жилки второго порядка и расстояние между основаниями второй и третьей жилок второго порядка) в точках 1-4 повышен (IV балла), а иногда (третий параметр, правая сторона листовой пластинки, д. Давыдово) – просто высокий (39 %). Четвертый параметр (расстояние между основаниями первой и второй жилок первого порядка) оказался более стабильным. Его значения соответствуют среднему, а в некоторых случаях – повышенному уровню изменчивости. Этот параметр связан с гистогенезом тканей листа, а именно с

работой прокамбия. Образовательные ткани часто подвергаются негативному действию среды, что приводит к асинхронной дифференцировке прокамбия в проводящие ткани, а это в свою очередь становится причиной разницы в вычленении первой и второй жилок левой и правой половины листа. Таким образом, четвертый параметр листа, вне зависимости от его уровня изменчивости, желателно учитывать при биоиндикационных исследованиях. По первому параметру листа (ширине половины листовой пластинки) во всех точках отмечен низкий уровень изменчивости. Этот «классический» параметр, по-видимому, может быть использован в качестве самостоятельного для определения показателя флуктуирующей асимметрии. Кроме того, при обработке метрических характеристик отмечается достаточно высокий уровень достоверности результатов. Коэффициент вариации пятого углового параметра, соответствующего низкому и среднему уровням изменчивости, также может быть учтен в биоиндикации при условии минимизации ошибок при первичном измерении этого признака.

Таблица 6

Коэффициент вариации признаков листа липы мелколистной, вычисленный для каждой точки по пяти параметрам, %

| № точки | Ширина половины листа | | Расстояние между основаниями 1-й жилки 1-го порядка и 2-й жилки 2-го порядка | | Расстояние между основаниями 2-й и 3-й жилок 2-го порядка | | Расстояние между основаниями 1-й и 2-й жилок 1-го порядка | | Угол между центральной и 1-й жилкой 1-го порядка | |
|---------|-----------------------|----|--|----|---|----|---|----|--|----|
| | Л. | П. | Л. | П. | Л. | П. | Л. | П. | Л. | П. |
| 1 | 15 | 12 | 29 | 30 | 26 | 39 | 20 | 20 | 16 | 13 |
| 2 | 18 | 12 | 24 | 17 | 26 | 27 | 24 | 29 | 24 | 24 |
| 3 | 16 | 13 | 27 | 19 | 14 | 16 | 18 | 25 | 15 | 12 |
| 4 | 11 | 11 | 22 | 33 | 27 | 11 | 27 | 26 | 11 | 12 |
| 5 | 8 | 8 | 12 | 13 | 11 | 9 | 11 | 8 | 10 | 9 |

Таблица 7

Соответствие коэффициента вариации уровню изменчивости признака [5]

| Коэффициент вариации, % | Уровень изменчивости, баллы |
|-------------------------|-----------------------------|
| ниже 7 | I - очень низкий |
| от 7 до 15 | II - низкий |
| от 16 до 25 | III - средний |
| от 26 до 35 | IV - повышенный |
| от 36 до 50 | V - высокий |
| от 51 и выше | VI - очень высокий |

В результате изучения уровня изменчивости морфологических признаков листовой пластины липы мелколистной можно сделать вывод о том, что наиболее устойчивыми являются первый, четвертый и пятый параметры. Их совокупности, вероятно, будет достаточно для достоверного расчета показателя флуктуирующей асимметрии листьев. Однако это заключение нуждается в проверке на основе изучения более богатого фактического материала.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Захаров В.М. Асимметрия животных (популяционно-феногенетический подход). – М.: Наука, 1987. – 216 с.
2. Захаров В.М., Крысанов Е.Ю., Пронин А.В. Методология оценки здоровья среды // Последствия Чернобыльской катастрофы: здоровье среды. – М.: Центр экологической политики России, 1996. – С. 22-31.
3. Захаров В.М. Здоровье среды: методика оценки / В.М. Захаров, А.С. Баранов, В.И. Борисов и др. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 68 с.
4. Зыков И.Е., Никифоров Н.Д., Федорова Л.В. К оценке стабильности развития липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) в условиях Восточного Подмосковья // Актуальные проблемы биоэкологии: мат. междунар. науч.-практич. конф. – М.: Диона, 2008. – С. 72-74.
5. Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae на Урале). – М.: Наука, 1972. – 284 с.
6. Таршис Л.Г. Морфология и внутривидовая изменчивость цветков и соцветий. – Екатеринбург: УрГПУ, 1997. – 26 с.