DOI: 10.58168/MInBiFoA2026_91-96

УДК 630*551.4

# МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФЕНОТИПИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ И СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ

# METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE SELECTION OF MORPHOMETRIC PARAMETERS FOR THE ASSESSMENT OF PHENOTYPIC VARIABILITY AND ENVIRONMENTAL CONDITIONS

**Кулаков Е.Е.,** кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела биологического разнообразия, рационального лесопользования и лесовыращивания ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии», Воронеж, Россия

**Kulakov E.E.,** Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher at the Department of Biological Diversity, Rational Forest Management and Forest Planting of the Federal State Budgetary Institution "All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology", Voronezh, Russia

**Крюкова С.А.,** кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии», Воронеж, Россия

**Kryukova S.A.,** Candidate of Agricultural Sciences, Researcher at the Department of Breeding and Seed Production of the Federal State Budgetary Institution "All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology", Voronezh, Russia

**Аннотация:**

Выбор морфометрических показателей, описывающих популяции и их фенотипическое разнообразие, является одной из ключевых задач при исследовании древесных пород. Применению морфометрических исследований препятствуют методические сложности, связанные с выделением информативных признаков и отсутствием единой системы их обозначения, что затрудняет сопоставление результатов различных авторов. В работе обобщены подходы к оценке листовой пластинки дуба, рассмотрены методы анализа флуктуирующей асимметрии, способы определения площади листьев и регрессионные модели, а также морфологические критерии внутривидовой и межвидовой дифференциации. Показано, что при больших объёмах материала наиболее целесообразно использование относительно простых, но калиброванных моделей, основанных на линейных размерах листьев и их производных индексов.

© Кулаков Е. Е., Крюкова С. А., 2026

**Abstract:**

The selection of morphometric indicators describing populations and their phenotypic diversity is one of the key tasks in the study of tree species. The use of morphometric studies is hindered by methodological difficulties associated with the identification of informative features and the lack of a unified system for their designation, which makes it difficult to compare the results of different authors. The paper summarizes approaches to the assessment of oak leaf blades, discusses methods for analyzing fluctuating asymmetry, methods for determining leaf area and regression models, as well as morphological criteria for intraspecific and interspecific differentiation. It is shown that for large volumes of material, it is most advisable to use relatively simple but calibrated models based on linear leaf sizes and their derived indices.

**Ключевые слова:** морфометрия, листья дуба, флуктуирующая асимметрия, площадь листа, аллометрия, фенотипическая изменчивость.

**Keywords:** morphometry, oak leaves, fluctuating asymmetry, leaf area, allometry, phenotypic variability.

## Введение

Морфометрический анализ листьев древесных пород широко используется для оценки фенотипической структуры популяций, реакции насаждений на антропогенные нагрузки и уточнения внутривидовой и межвидовой дифференциации. При этом принципиальное значение имеет выбор показателей, по которым описываются отдельные особи и их группировки, так как именно от набора признаков зависит возможность сопоставления и интерпретации. В современной литературе отмечается, что даже для идентичных характеристик листа используются различные системы обозначений и единицы измерения, что препятствует стандартизации экспериментального материала.

**Цель исследования** — обобщить и сравнить методические подходы к выбору морфометрических признаков листовых пластин дуба для оценки фенотипической изменчивости и экологических условий, а также выделить наиболее информативные и удобные для практического применения показатели.

**Материалы и методы исследования.** В основе работы лежит обзор опыта по оценке листовых пластинок методами морфометрии: оценка линейных размеров листовой пластинки, производных индексов, площади листа, моделей регрессии и показателей флуктуирующей асимметрии.

**Результаты исследования.** Флуктуирующая асимметрия листьев рассматривается как индикатор нарушения стабильности развития растений под действием климатических факторов. Основная суть исследований сводится к измерению признаков на левой и правой половинах листовой пластинки и расчёте интегрального показателя стабильности развития, интерпретируемого по шкале от условно нормального до критического состояния среды. Ряд исследований показал, что величина ФА листьев дуба может служить индикатором отклонения развития от нормы, а наиболее чувствительными признаками являются ширина листа и расстояние от выемок лопастей до средней жилки [1,2,3].

Площадь листовой пластинки является одним из базовых морфометрических показателей, который тесно связан с фотосинтетическим потенциалом. Для её оценки применяются планиметрические методы, метод высечек, линейные промеры и геометрические или регрессионные модели. Метод высечек, предусматривающий вырезание дисков стандартной площади и сопоставление их массы с массой листа, не требует сложного оборудования, но обладает ограниченной точностью из–за неоднородной толщины листовой пластинки. Более универсальными являются методы линейных промеров, при которых на выборке листьев измеряют длину и максимальную ширину. Дополнительно используются модели, основанные на вписывание контура листа в простые геометрические фигуры с последующим применением формул расчета площади. Точность в этом случае зависит от степени соответствия фактической формы выбранной фигуры.

Использование конверсионных коэффициентов, связывающих планиметрически измеренную площадь листа и площадь прямоугольника, построенного по длине и ширине листовой пластинки. Значения такого коэффициента приводятся в литературе для ряда видов дуба и демонстрируют как межвидовые различия, так и внутривидовой полиморфизм в зависимости от географических и экологических условий [4,5]. Для формализации качественных характеристик формы используют различные индексы: индекс

листовой пластинки (отношение длины к ширине), индекс листа (отношение длины пластинки к длине черешка), индекс вытянутости верхушки и индексы формы, позволяющие отнести лист к округлому, яйцевидному или треугольному типу. Такие показатели удобны для популяционных исследований [4].

Регрессионные модели позволяют более гибко описывать зависимость площадь листьев от линейных размеров и их производных. Используются как простые линейные зависимости от длины или ширины, так и модели, основанные на произведении этих величин, их квадратах и полиномиальных уравнениях второй и третьей степени [6].

Аллометрические связи между площадью листвы и диаметром несущих ветвей, площадью поперечного сечения ствола или диаметром дерева в целом позволяют косвенно оценивать листовую поверхность без прямого измерения большого числа листьев [7]. Установлено, что для молодняков надёжно работает связь с площадью поперечного сечения основания ствола, тогда как в приспевающем, спелом и перестойной возрасте лучше описывается зависимость с площадью сечения под кроной. Опыт применения показывает, что усложнение регрессионных моделей лишь умеренно повышает точность по сравнению с простыми аппроксимациями, тогда как трудоёмкость измерений возрастает значительно, что особенно важно при крупных выборках.

Оценка внутрипопуляционной и межпопуляционной зависимости с применением морфометрических признаки листьев дуба демонстрирует высокую фенотипическую пластичность, обусловленную как генетическими особенностями, так и условиями окружающей среды. Для межвидовой дифференциации информативны такие показатели как длина черешка, угол жилкования, степень опушённости, форма и глубина пазух, контур листовой пластинки [8,9]. Применение контурного анализа, прокрустовых расстояний, анализа главных компонент и дисперсионных методов подтверждает различия

в форме листа между видами и позволяет количественно описать зоны их перекрывания и гибридные формы.

Набор информативных признаков, характеризующий внутрипопуляционную изменчивость, может различаться, поэтому выбор показателей должен быть связан с целью исследования — мониторинг, популяционная диагностика или таксономическое разделение. При выборе морфометрических показателей необходимо сочетать информативность признака и доступность точных измерений. Аллометрические связи и интегральные показатели, такие как конверсионный коэффициент между площадью листа и площадью описывающего его прямоугольника, позволяют сократить число измеряемых характеристик без существенной потери точности.

**Заключение**

Обобщение литературных данных позволяет сделать вывод о том, что для оценки морфометрических показателей листовых пластинок дуба при больших объёмах исходного материала целесообразнее использовать простые регрессионные модели на основе длины и ширины листовой пластинки с использованием конверсионных коэффициентов. Формулы для площади простых геометрических фигур, в которые вписывается контур листа, в сочетании с калиброванными коэффициентами обеспечивают баланс между точностью и трудоёмкостью измерений.

Флуктуирующая асимметрия остаётся перспективным индикатором состояния среды, однако требует тщательного подбора признаков и стандартизации методики измерений. Методически обоснованный выбор морфометрических показателей и их комбинаций создаёт основу для корректной интерпретации фенотипической изменчивости и надёжного использования в лесной селекции, мониторинге состояния насаждений и охране генетических ресурсов.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов М. В. Как не следует изучать флуктуирующую асимметрию // Сибирский лесной журнал. – 2018. – № 4. – С. 81–84.

2. Коротченко И. С., Мучкина Е. Я. Флуктуирующая асимметрия листьев древесных растений в оценке состояния окружающей среды Красноярска. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2017. – 144 с.

3. Определение площади поверхности листьев дуба по их линейным размерам // Лесоведение. –1997. – № 4. – С. 49–55.

4. Уткин А. И., Ермолова Л. С., Замолодчиков Д. Г. Конверсионные коэффициенты для определения площади листовой поверхности насаждений основных лесообразующих пород России // Лесоведение. – 1997. – № 3. – С. 74–78.

5. The condition of Quercus robur L. trees growing in various ecotopes of the Middle Volga region // Samara Journal. –2024. –Vol. 13. – № 3. – P. 31–38. DOI: 10.55355/snv2024133105.

6. Ecological methods of assessing the quality of the environment for fluctuating asymmetry of birch leaves // Scientific Review. Biological Science.

7. Kozlov M. V. Plant studies on fluctuating asymmetry in Russia: mythology and methodology // Russian Journal of Ecology. 2017. Vol. 48, № 1. P. 1–9.

8. A New Era of Morphological Investigations: reviewing methods for three-dimensional, geometric morphometric and functional analyses // Integrative Organismal Biology. 2023. – Vol. 5. – Iss. 1. Article obad008.

9. Palmer A. R., Strobeck C. Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns // Annual Review of Ecology and Systematics. 1986. –Vol. 17. – P. 391–421.

## REFERENCES

1. Kozlov M. V. How not to study fluctuating asymmetry // Siberian Forest Journal. – 2018. – № 4. – P. 81–84.

2. Korotchenko I. S., Muchkina E. Ya. Fluctuating asymmetry of leaves of woody plants in the assessment of the state of the environment of Krasnoyarsk. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2017. – 144 p.

3. Determination of the surface area of oak leaves by their linear dimensions // Lesovedenie. –1997. – №. 4. – Pp. 49–55.

4. Utkin A. I., Ermolova L. S., Zamolodchikov D. G. Conversion coefficients for determining the leaf surface area of the main forest-forming species in Russia // Lesovedenie. – 1997. – № 3. – P. 74–78.

5. The condition of Quercus robur L. trees growing in various ecotopes of the Middle Volga region // Samara Journal. –2024. –Vol. 13. – № 3. – P. 31–38. DOI: 10.55355/snv2024133105.

6. Ecological methods of assessing the quality of the environment for fluctuating asymmetry of birch leaves // Scientific Review. Biological Science.

7. Kozlov M. V. Plant studies on fluctuating asymmetry in Russia: mythology and methodology // Russian Journal of Ecology. 2017. Vol. 48, № 1. P. 1–9.

8. A New Era of Morphological Investigations: reviewing methods for three-dimensional, geometric morphometric and functional analyses // Integrative Organismal Biology. 2023. – Vol. 5. – Iss. 1. Article obad008.

9. Palmer A. R., Strobeck C. Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns // Annual Review of Ecology and Systematics. 1986. –Vol. 17. – P. 391–421.