

9. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). – СПб.: Мир и семья, 1995. – 992 с.
10. Игнатов М.С., Игнатова Е.А. Флора мхов средней части европейской России. – М., 2003. – Т. 1. – 608 с.
11. Игнатов М.С., Игнатова Е.А. Флора мхов средней части европейской России. – М., 2004. – Т. 2. – 352 с.
12. Konstantinova N.A., Potemkin A.D., Schljakov R.N. Check-list of the hepaticae and anthocerotae of the former USSR // *Arctoa*. – 1992. – Vol. 1. – P. 87–127.
13. Вомперский С.Э. Микрорельеф поверхности заболоченных и болотных почв и его лесоводственное значение // Влияние избыточного увлажнения почв на продуктивность лесов. – М.: Наука, 1966. – С. 96–111.



УДК 574 (571.61)

С.Е. Низкий, А.А. Сергеева

ФЛУКТУИРУЮЩАЯ АСИММЕТРИЯ ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ ПЛОСКОЛИСТНОЙ (*BETULA PLATYPHYLLA* SUKACZ.) КАК КРИТЕРИЙ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Исследования авторов, проведенные в садово-парковых объектах города, испытывающих разную степень антропогенной нагрузки, показали, что в качестве данных биоиндикационной оценки состояния окружающей среды может быть применен метод учета показателей флуктуирующей асимметрии листовых пластин березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukacz.). При этом необходим учет значений интегрального алгоритма нормированной разности и степени варьирования этого показателя.

Ключевые слова: флуктуирующая асимметрия, береза плосколистная (*Betula platyphylla* Sukacz.), листовая пластина, сквер, парк, качество среды, алгоритм нормированной разности, степень варьирования, среднее квадратическое отклонение.

S.E. Nizkii, A.A. Sergeeva

THE FLUCTUATING ASYMMETRY OF THE FLAT-LEAVED BIRCH LEAVES (*BETULA PLATYPHYLLA* SUKACZ.) AS THE ENVIRONMENT QUALITATIVE CRITERION

The authors' research conducted in the landscape gardening city facilities experiencing the anthropogenous loading different degree showed that the indicator recording method of the fluctuating asymmetry of the flat-leaved birch (*Betula platyphylla* Sukacz.) leaves can be applied as the data of the environment condition bio-indicative assessment. The record of the integrated algorithm values of the rated difference and the variation degree of this indicator is necessary.

Key words: fluctuating asymmetry, flat-leaved birch (*Betula platyphylla* Sukacz.), leaf plate, square, park, environment quality, algorithm of the rated difference, variation degree, average quadratic deviation.

Введение. Одним из перспективных подходов для интегральной характеристики качества среды является оценка состояния живых организмов по стабильности развития, которая характеризуется уровнем флуктуирующей асимметрии (ФА) [5, 6, 7]. Этот показатель представляет собой незначительные различия между правой и левой сторонами различных морфологических структур и является результатом ошибок в ходе индивидуального развития организма. При нормальном состоянии окружающей среды их уровень минимален, при возрастающем воздействии он увеличивается, что соответственно приводит и к повышению асимметрии. Лист растения является высокопластичным органом, и характер изменчивости его морфологической структуры может служить индикатором загрязнения внешней среды. С увеличением степени антропогенной нагрузки форма

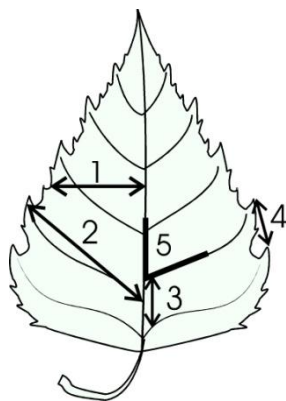
листовой пластинки резко изменяется. О характере этих изменений можно судить по нарушению стабильности развития и величине показателя асимметрии [2]. Нашими исследованиями [4] установлено, что различия левой и правой половин листовой пластины березы зависят от места произрастания. У деревьев, произрастающих в естественном лесу, этот показатель значительно более стабилен, чем в городских условиях. Предложено для оценки уровня антропогенной нагрузки использовать степень вариабельности разности (среднее квадратическое отклонение) площадей правой и левой половин листовой пластины берез. В литературе имеются и другие оценочные показатели флуктуирующей асимметрии, например, по использованию алгоритма нормированной разности [1].

Цель исследований. Изучение возможности использования разных показателей флуктуирующей асимметрии листовых пластин березы для оценки уровня антропогенной нагрузки на окружающую среду.

Объекты и методы исследований. Исследования проводились на территории города Благовещенска. Город расположен на юге Дальневосточного региона России в месте слияния двух крупных рек (Амур и Зея). По европейским меркам город считается крупным населенным пунктом. На его территории выбраны три объекта садово-парковой зоны, отличающиеся уровнем антропогенного воздействия (интенсивностью движения транспорта по прилегающим к этим объектам улиц, наличием предприятий промышленности и т.д.). Первый объект, который на себе испытывает низкую антропогенную нагрузку, представляет из себя парк, расположенный в том месте города, где река Зея впадает в Амур. Этот парк окружен с двух сторон набережными и находится вдалеке от уличных магистралей. Вторым объектом – это парк культуры, который примыкает только к одной улице с интенсивным движением транспорта и находится на набережной реки Амур. Антропогенное воздействие на этот объект можно оценить как среднее. Третий объект – это сквер в центре города, который со всех сторон окружен городской застройкой и проезжими частями трех улиц с интенсивным движением транспорта. Степень антропогенного воздействия здесь можно оценить как сильную.

В целом на городской территории наиболее часто произрастают лиственные деревья, представленные четырьмя родами: *Populus*, *Ulmus*, *Aser*, *Betula*. Представители родов *Populus*, *Ulmus* и *Aser* многочисленно представлены в городских насаждениях инорайонными видами (интродуцентами). В зеленых насаждениях города практически отсутствуют местные аборигенные виды этих родов, произрастающие в пригородных лесах. С другой стороны, в городе Благовещенске произрастают два аборигенных вида рода *Betula*. Березы с белой корой (*Betula platyphylla* Sukacz.) и березы с черной корой (*Betula davurica* Pall.). *Betula davurica* обильно представлена в пригородных лесах, но редко встречается на городской территории. *Betula platyphylla* часто встречается как в городских посадках, так и в естественных пригородных лесах [3]. Поэтому в качестве объекта исследований была выбрана береза *Betula platyphylla*, а точнее листья этого дерева.

В каждом из обозначенных выше объектов исследований собирали по 30 листьев с 5 деревьев. На каждом листе измеряли по пять морфологических параметров на левой и правой половинах листовой пластинки (рис.).



Измеряемые параметры на одной из сторон листовой пластинки: 1 – ширина листовой пластинки; 2 – длина второй от основания жилки второго порядка; 3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; 4 – расстояние между концами этих жилок; 5 – угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка

Показатель флуктуирующей асимметрии (А) рассчитывали по уравнению (1), предложенному в одной из работ В.М. Захарова [1]. В этой работе обоснована и балльная шкала (табл. 1) показателя величины флуктуирующей асимметрии соответствующая тому или иному уровню загрязнения окружающей среды.

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

где L_{ij} и R_{ij} значение j-го параметра i-го листа соответственно слева и справа от плоскости симметрии; m – количество анализируемых признаков; n – объем выборки; m=5; n= 150.

Таблица 1

Шкала оценки качества окружающей среды по показателю флуктуирующей асимметрии [1]

Показатель уровня флуктуирующей асимметрии (А)	Балл	Качество среды
< 0,040	I	Нормальное
0,040-0,044	II	Начальные отклонения от нормы
0,045-0,049	III	Средний уровень отклонений от нормы
0,050-0,054	IV	Существенные отклонения от нормы
0,055 и >	V	Критическое состояние

Рассчитывая показатель флуктуирующей асимметрии по уравнению (1), мы также проводили расчет степени варьирования этого показателя с помощью определения среднего квадратического отклонения для каждого объекта исследований. При этом использовали подходы, описанные нами ранее [3].

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты расчетов показателя флуктуирующей асимметрии приведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели величины флуктуирующей асимметрии березы плосколистной на исследуемых участках

Исследуемый объект	Степень антропогенной нагрузки	Показатель флуктуирующей асимметрии (А)	Среднее квадратическое отклонение	Балл оценки состояния объекта
№1	Слабая	0,026	0,011	I (условно нормальное)
№2	Средняя	0,035	0,020	I (условно нормальное)
№3	Сильная	0,061	0,038	V (критическое)

Наибольший показатель флуктуирующей асимметрии листьев березы плосколистной наблюдается в сквере в центре города (объект №3). По предлагаемой В.М. Захаровым [1] шкале (табл. 1)

сквер находится в критическом состоянии. Для него наиболее высоко и значение вариабельности показателя флуктуирующей асимметрии (среднее квадратическое отклонение). Это подтверждает ранее сделанные нами выводы [4] о возможности использования данного показателя для оценки степени антропогенной нагрузки. Для парка, окруженного со всех сторон набережными и находящегося вдалеке от магистральных улиц (объект №1), показатель флуктуирующей асимметрии самый низкий. Состояние среды здесь оценивается как условно нормальное. Условно нормальному состоянию соответствуют и полученные данные по объекту №2, который, по нашим оценкам, испытывает среднюю антропогенную нагрузку. Несмотря на то что этот парк находится в непосредственной близости от магистральной улицы, антропогенное воздействие на растительность в нем нивелируется близким расположением реки Амур.

Заключение. Таким образом, одним из способов биологической индикации состояния окружающей среды, степени загрязнения и уровня антропогенной нагрузки может служить оценка показателя флуктуирующей асимметрии листовых пластин *Betula platyphylla*. При этом при использовании метода В.М. Захарова, который предполагает измерение нескольких морфологических параметров листьев, необходимо учитывать степень варьирования этого показателя.

Литература

1. Здоровье среды: практика оценки / В.М. Захаров [и др.]. – М.: Центр экол. политики России, 2001. – 318 с.
2. Константинов Е.Л. Особенности флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой как биоиндикатора: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Калуга, 2001. – 24 с.
3. Низкий С.Е. Особенности формирования фитоценозов селитебной территории на примере города Благовещенска: монография. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2011. – 166 с.
4. Низкий С.Е., Сергеева А.А. Флуктуирующая ассиметрия листьев березы плосколистной в качестве индикатора экологического состояния селитебной территории // Вестн. КрасГАУ. – 2012. – Вып. 5. – С. 221–223.
5. Реймерс Н.Ф. Природопользование: сл.-справ. – М.: Мысль, 1990. – 637 с.
6. Рябухина М.В., Брежнева И.Н. Мониторинг природной среды методом биоиндикации сосны обыкновенной в зоне антропогенного загрязнения города Оренбурга // Экология урбанизированных территорий. – 2011. – № 3. – С. 80–85.
7. Соколов В.М., Филонов В.П. Методические и теоретические аспекты гигиены окружающей среды // Методология гигиенического регламентирования. – Минск: Белорус. наука, 1999. – С. 68–70.

