

УДК 591.5;364.122.5;502.3

Гуртяк А.А.

Югорский государственный университет (г. Ханты-Мансийск)

**К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
КОЭФФИЦИЕНТА ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ**

A. Gurtyak

Ugra State University, Khanty-Mansiysk

**ON ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF URBAN AREAS USING
THE FLUCTUATING ASYMMETRY COEFFICIENT**

Аннотация. Изучена пространственно-временная динамика коэффициента флуктуирующей асимметрии. Обозначены причины её динамики. Оценено влияние метеорологических характеристик климата и химического загрязнения компонентов окружающей среды на коэффициент флуктуирующей асимметрии. Разработан и апробирован новый способ оценки состояния природных систем на основе модифицированного коэффициента флуктуирующей асимметрии. Представлен вариант оценочной шкалы условий среды, разработанный на основе модифицированного коэффициента флуктуирующей асимметрии. Данная модификация методики позволяет сократить трудовые и временные затраты.

Ключевые слова: биоиндикация, флуктуирующая асимметрия, береза повислая (*Betula pendula R.*).

Abstract. The spatiotemporal dynamics of the fluctuating asymmetry coefficient is studied. The reasons of its dynamics are explained. The influence of the climate's meteorological characteristics and chemical pollution of environmental components on the fluctuating asymmetry coefficient is estimated. A new method of estimation of the conditions of natural systems on the basis of the fluctuating asymmetry modified coefficient is developed and tested. The variant of an estimated scale of conditions of the environment, developed on the basis of the modified coefficient of fluctuating asymmetry, is presented. The improvement of this technique allows one to reduce time and labor costs.

Key words: bioindication, fluctuating asymmetry, *Betula pendula Roth.*

Изменения природной среды под влиянием урбанизации и хозяйственной деятельности человека усиливаются, вследствие чего возникает необходимость оперативной оценки негативных изменений состояния окружающей природной среды. В настоящее время такая оценка особенно актуальна для городских территорий. Согласно данным «НПЦ Мониторинг» [5, с. 10] за 2010 г. состояние окружающей среды в Ханты-Мансийске остаётся удовлетворительным. Однако полученные результаты основываются на сравнении узкого круга поллютантов с нормативами предельно допустимой концентрации (ПДК) вредных веществ. Благодаря проведению комплексных экологических исследований можно получить более объективные результаты, проведя не только оценку загрязнения компонентов в отдельности, но и экологическое состояние природной среды в целом.

Целью данной работы является разработка модифицированной методики экологической оценки урбанизированных территорий на примере г. Ханты-Мансийск с использованием берёзы повислой (*Betula pendula R.*) в качестве биоиндикатора техногенных воздействий. Для определения состояния экосистем города, прежде всего, используется мониторинг зеленых насаждений. В работах [3; 4 и др.] была обоснована возможность использования асимметричности листа в качестве неспецифического показателя отклонения от нормы развития растения, связанного с влиянием различных стрессовых факторов, в том числе загрязнения

окружающей среды. Степень несимметричности листа выражается в виде коэффициента флуктуирующей асимметрии (ФА). Высокий показатель асимметрии указывает на неблагоприятные условия произрастания тест-объекта, а низкий – указывает, что условия среды близки к нормальным [3].

В работах [1, с. 38-43; 2, с. 200] показаны основные результаты проведения оценки состояния окружающей среды Ханты-Мансийска с использованием коэффициента ФА. В 2011 г. работы были продолжены. Оценка проведена на основе большого числа точек отбора проб, расположенных на территории города (124 шт.) и за его пределами (6 шт.). Общее количество обследованных листьев с 2003 г. по настоящее время составляет около 20 000 единиц, а деревьев – около 350. Обнаружено, что наиболее негативное антропогенное влияние приходится на объекты, расположенные в пределах города. По результатам биомониторинга общая экологическая обстановка г. Ханты-Мансийск в 2011 г. характеризуется средними отклонениями от нормы (среднее значение коэффициента ФА = 0,04765, при выборке 1600, стандартном отклонении 0,027 и доверительном интервале 0,0013). Все исследуемые территории за пределами городской черты характеризуются благоприятными условиями среды, за исключением восточных и северо-восточных территорий, что связано, по-видимому, с тем, что западные и юго-западные ветра, по данным метеорологических наблюдений, являются преобладающими.

Для оценки динамики изучаемого показателя во времени составлена таблица средних

значений коэффициента ФА г. Ханты-Мансийска без учёта загородных территорий (табл. 1), из которой видно, что уровень коэффициента ФА в целом снижается. Ввиду отсутствия в городе промышленных предприятий основное влияние на состояние среды города оказывает автотранспорт, что подтверждают химические анализы компонентов среды, опубликованные в работах [1, с. 415; 2, с. 200]. По-видимому, переход на экологически более чистые автомобили с современными системами контроля работы двигателя в связи с ужесточением требований к выхлопным газам в России и мире, а также постепенная замена российских автомобилей импортными привели к улучшению среды в рассматриваемом регионе.

Использованная в работе методика по определению коэффициента ФА [3] требует значительных затрат времени, особенно в случаях, когда необходимо подвергнуть обработке большой объём собранного материала. В связи с этим разработана и апробирована модификация методики, позволяющая сократить трудовые и временные затраты. Определение величины площади левой и правой половинки листа, а затем их попарное сравнение может стать новым признаком коэффициента ФА. Для этого произведена его оценка на соответствие закону нормального распределения. Как показал анализ с применением критерия Колмогорова-Смирнова (оценка характера распределения R-L изучаемого признака), значения выборок соответствуют закону нормального распределения. Таким образом, мы косвенно подтверждаем отсутствие проявления направленной асим-

Таблица 1

Средние значения коэффициента ФА для территории Ханты-Мансийска и доверительный интервал коэффициента ФА

Год	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	сред.
ФА	0,056	0,052	0,051	0,052	0,054	0,049	0,048	0,048	0,048	0,051
Доверит. интервал	0,006	0,006	0,002	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,004	0,005
Балл	V	IV	IV	IV	V	III	III	III	III	IV

метрии у изучаемого признака. Также проведён анализ на наличие корреляционной связи между абсолютными значениями асимметрии (R-L) и средними значениями признака (R+L)/2. Анализ проводился для всех групп листьев, было задействовано 10 000 абсолютных и 5000 средних значений. Корреляция между значениями (R-L) и (R+L)/2 не наблюдается, что позволяет говорить об отсутствии влияния размера (величины) признака на ФА листовых параметров ($r = 0,04$; $p < 0,05$).

Была также определена технология, позволяющая измерить площади фигур сложной конфигурации листовых пластинок, состоящая из трёх этапов. На первом этапе листья сканируются. Далее полученные изображения подготавливаются в редакторе изображений (например, Adobe Photoshop) для классификации: затирается черешок листа и по главной жилке разрезается на левую и правую половинки. На втором этапе в среде **Erdas Imagine v.9.2 изображение классифицируется**. Таким образом, разграничивается листовая пластинка и окружающий фон. На последнем этапе изображение конвертируется из растрового в векторный формат, и в среде ArcMap v.9.2 **из таблицы атрибутов выносятся** данные величин отсканированных объектов. На их основе рассчитывается коэффициент асимметрии для данного промера.

В процессе анализа данных обнаружено, что значения промеров на левой и правой сторонах листа тесно коррелируют ($r = 0,92$ при $n = 8000$). В то же время значения разных промеров, а также величины их ФА, яв-

ляются не скоррелированными между собой. Самые низкие коэффициенты найдены для третьего ($r = 0,03$) и пятого ($r = 0,11$) промеров из классической методики, что говорит об отсутствии связи с площадным промером. Наибольшие коэффициенты получены для второго ($r = 0,49$) и четвёртого ($r = 0,39$) промеров. Площадной промер не в полной мере характеризует асимметричность листа, т.к. не учитывает отклонения от нормы в центре листовой пластинки. Использование на практике только одного площадного признака для оценки условий среды является недостаточным. К тому же при работе с одним признаком увеличивается элемент ошибки. Поэтому к площадному признаку необходимо добавить третий и пятый промеры из методики Захарова [3]. В результате количество промеров снижается с пяти до трёх.

На основе материалов данной работы разработана и предложена модифицированная балльная шкала (табл. 2). Построение шкалы и вычисление границ баллов проводилось на основе разработанных подходов в рамках работы [6; с. 12-13]. Предлагаемый вариант пятибалльной шкалы позволяет более правильно учитывать фактические градации качества среды на основе изменённого комплекса признаков листовой пластинки. Полученная шкала применялась в подзоне средней тайги и, возможно, будет пригодна на более обширной территории.

Начиная с 2009 г. ежегодно проводится оценка состояния среды г. Ханты-Мансийск с помощью модифицированного коэффи-

Таблица 2

Нормативные и модифицированные величины интервалов пятибалльной шкалы для коэффициента ФА

Балл	Состояние среды	Нормативная величина коэффициента ФА	Модифицированная величина коэффициента ФА
I	Условно нормальное	< 0.040	< 0.025
II	Начальные отклонения от нормы	0.040 - 0.044	0.025 - 0.045
III	Средний уровень отклонений	0.045 - 0.049	0.045 - 0.060
IV	Существенные отклонения	0.050 - 0.054	0.060 - 0.080
V	Критическое состояние	> 0.054	> 0.080

циента ФА (на основе трёх промеров). При сопоставлении балльных оценок разных методик в 70% случаев получены идентичные баллы условий среды, оценённые по средним значениям. При интерпретации полученных коэффициентов ФА (с учётом доверительного интервала) различий между методиками не обнаружено. Также наблюдается высокая корреляционная связь между изучаемыми коэффициентами ($r = 0,85$, при $n = 10\ 000$). По результатам биомониторинга с применением модифицированного коэффициента ФА построены карты, отражающие условия среды на территории г. Ханты-Мансийска. Анализ карт показал, что участки с наиболее благоприятными (I и II балл) и неблагоприятными условиями среды (IV и V балл) находятся в одних и тех же районах города, вне зависимости от применяемого метода оценки. Однако отмечено, что районы в центральной части города с применением классической методики характеризуются критическими условиями среды (V балл), а с применением модифицированного коэффициента ФА характеризуются существенными отклонениями от нормы (IV балл). Оценка состояния среды с применением модифицированного коэффициента ФА более соответствует реальным параметрам растений, полученным в результате визуальной оценки.

Рассматривая новый подход в целом, считаем его достаточно эффективным инструментом в изучении отклонений развития растений. Разработанная модификация методики может быть использована как ин-

струмент морфологического анализа, наряду с другими методами оценки флуктуирующей асимметрии. В виду теоретической и практической значимости необходимо опробовать предлагаемую модификацию методики за границами средней тайги.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гуртяк А.А., Углев В.В. Исследование флуктуирующей асимметрии и её пригодность для мониторинга зелёных насаждений // Наука и современность – 2010: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции: в 2-х частях. Часть 1 / под общ. ред. С.С. Чернова. – Новосибирск, 2010. – С. 38-43.
2. Гуртяк А.А., Углев В.В. Оценка состояния среды городской территории с использованием березы повислой в качестве биоиндикатора. – Известия Томского политехнического университета. Науки о Земле. – 2010. – Т. 317 (№ 1). – С. 200–204.
3. Захаров В.М. Здоровье среды: методика оценки [Оценка состояния природных популяций по стабильности развития: методологическое руководство для заповедников] / В.М. Захаров, А.С. Баранов, В.И. Борисов и др.. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 68 с.
4. Захаров В.М. Здоровье среды: практика оценки / В.М. Захаров, А.Т. Чубинишвили, С.Г. Дмитриев С.Г. и др. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 318 с.
5. Информационный бюллетень «О состоянии окружающей природной среды Ханты-Мансийского автономного округа – Югры в 2010 году». – Ханты-Мансийск: ЗАО «Сибирский издательский дом», 2011. – 119 с.
6. Константинов Е.Л. Особенности флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой как вида биоиндикатора: автореф. дис... канд. биол. наук. – Калуга, 2001. – 21 с.