

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК ПАРКОВЫХ ЗОН МОСКВЫ МЕТОДОМ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ ЛИСТЬЕВ

ASSESSMENT OF AIR POLLUTION BY THE EXAMPLE OF MODEL SITES OF MOSCOW PARK ZONES BY THE METHOD OF FLUCTUATING LEAF ASYMMETRY

**M. Lomkov
A. Konovalov
V. Alpatov**

Summary. This paper presents an analytical comparison of the results of assessing the degree of air pollution of model sites of Moscow parks (Tsaritsyno Park, UAO and Lianozovsky Landscape Reserve, SVAO) by the method of fluctuating asymmetry. Black alder (*Alnus glutinosa*) was chosen as the model object of the study. The collection of leaves for analysis was carried out in september. A total of 525 (UAO) and 675 (SVAO) leaves were analyzed. According to the results of the study, based on measurements of individual parameters of the leaf blade, the dependence of the fluctuating asymmetry on the distance to the highway was discovered and statistically confirmed.

Keywords: anthropogenic environment, development stability index, fluctuating asymmetry, black alder, bioindication, landscape reserve.

Ломсков Михаил Александрович

К.б.н., доцент, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Москва
lomskovma@mail.ru

Коновалов Александр Михайлович

К.с.-х.н., доцент, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Москва
zoolog82@mail.ru

Алпатов Василий Васильевич

К.б.н., доцент, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии имени им. К.И. Скрябина, Москва
alpatovvv@yandex.ru

Аннотация. В данной работе представлено аналитическое сравнение результатов оценки степени загрязнения воздуха модельных площадок парков Москвы (парк Царицыно, ЮАО и Лянозовский ландшафтный заказник, СВАО) методом флуктуирующей асимметрии. Моделью объектов исследования была выбрана ольха чёрная (*Alnus glutinosa*). Сбор листьев для анализа проводили в сентябре. Всего было проанализировано 525 (ЮАО) и 675 (СВАО) листьев. По результатам исследования, на основании промеров отдельных параметров листовой пластинки была обнаружена и статистически подтверждена зависимость величины флуктуирующей асимметрии от расстояния до автомобильной дороги.

Ключевые слова: антропогенная среда, индекс стабильности развития, флуктуирующая асимметрия, ольха черная, биоиндикация, ландшафтный заказник.

К настоящему времени, количество людей на современной планете по расчетам большинства ученых значительно превышает все экологически допустимые пределы и формирует глобальный по своим масштабам, антропогенный пресс, беспрецедентно воздействующий на биосферу.

Изменяя окружающую среду, человек нарушает устойчивое состояние природных систем, т.к., зачастую, при осуществлении какой-либо хозяйственной деятельности не учитывает основные экологические закономерности функционирования биосферы. Нерациональное размещение производственных помещений,

несовершенство технологий производств и очистки выбросов, рост численности автомобильного транспорта создают опасные для здоровья населения уровни загрязнения атмосферного воздуха, особенно в крупных городах, в частности, в Москве. Данное обстоятельство отрицательно влияет на состоянии окружающей среды, ведь происходит загрязнение важнейшей составляющей наземно-воздушной среды обитания организмов.

Использование такого метода биоиндикации, как флуктуирующая асимметрия позволяет оценить качество воздуха, анализируя изменения параметров двусторонней симметрии листовой пластинки. Значитель-

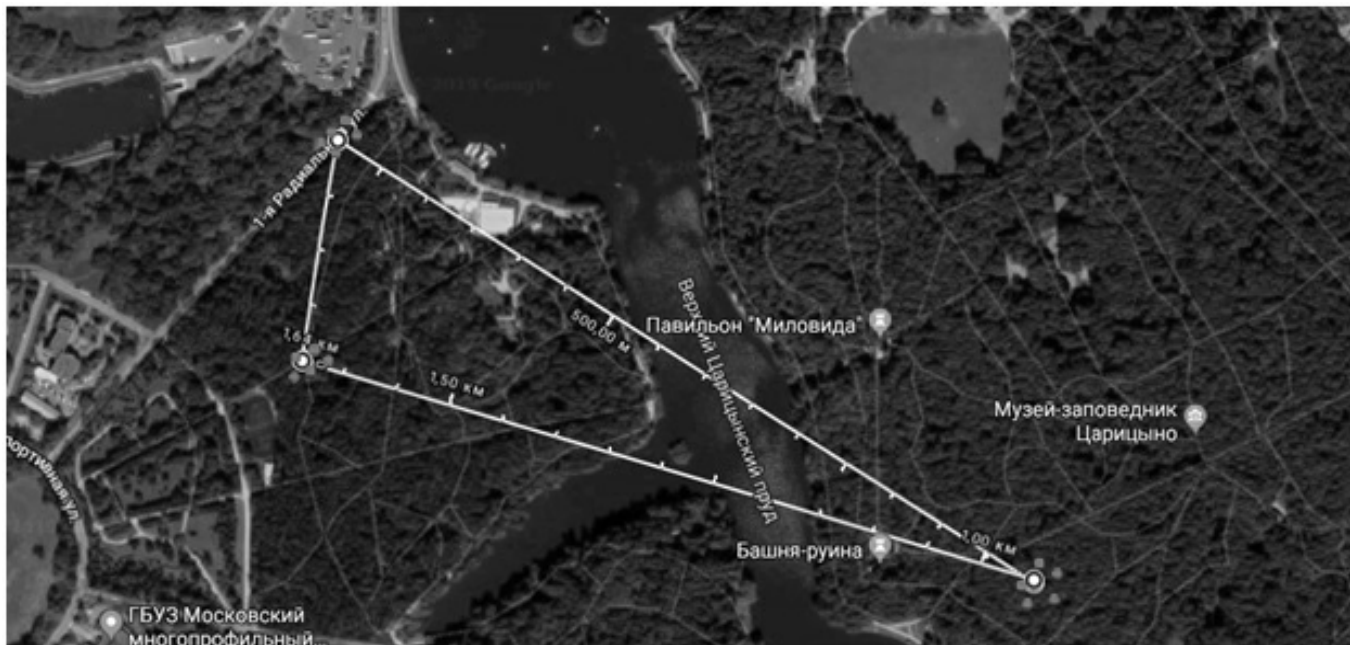


Рис. 1. Карта расположения точек сбора материала в парке Царицыно

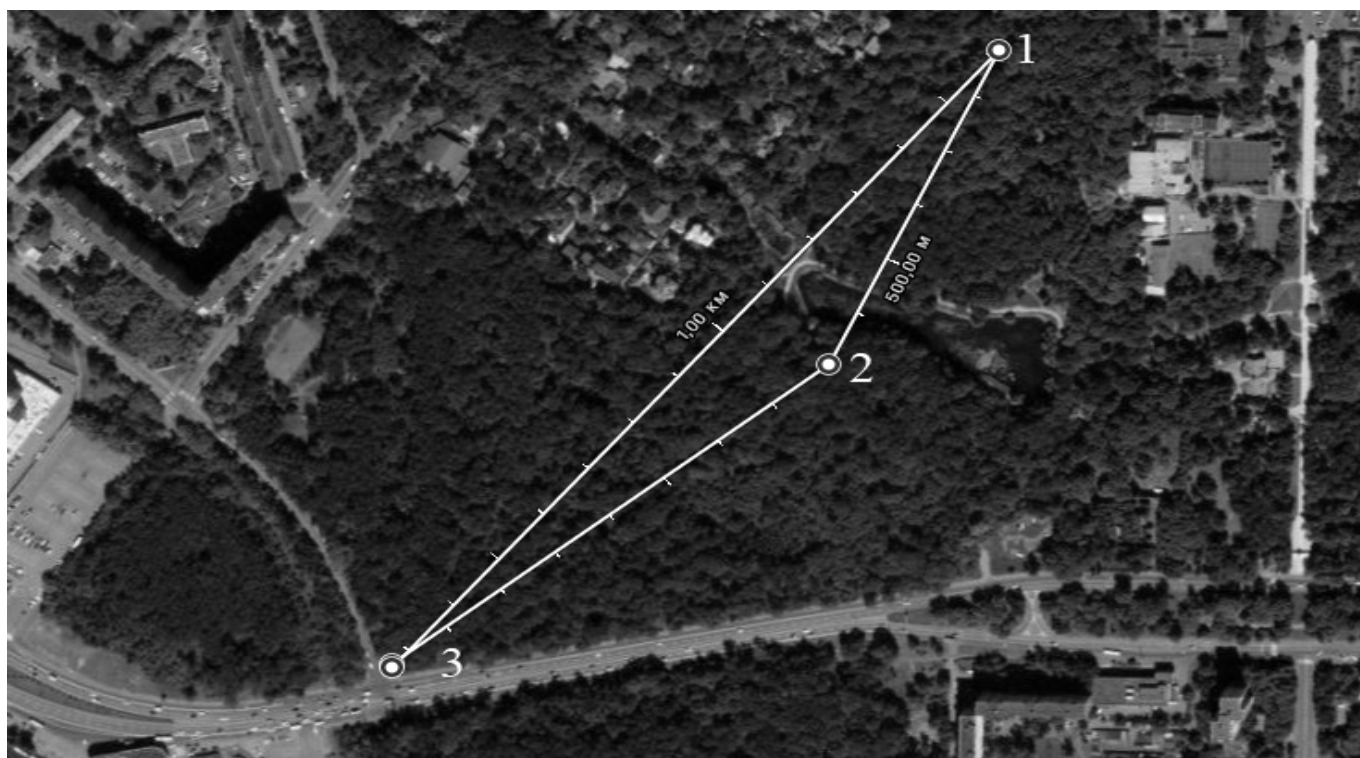


Рис. 2. Карта расположения точек сбора материала в Лианозовском ландшафтном заказнике

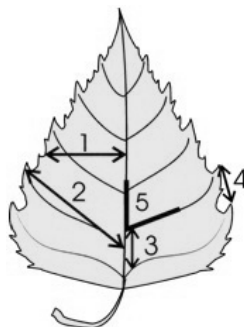


Рис. 3. Схема измерения листа

ные отклонения от симметричности свидетельствуют о загрязнении воздуха в месте проводимого исследования.

Цель работы

Оценить состояние воздуха на модельных участках парков Москвы (парк Царицыно, ЮАО и Лианозовский ландшафтный заказник, СВАО) с помощью измерения флуктуирующей асимметрии листьев ольхи чёрной (*Alnus glutinosa*).

На основании указанной выше цели были сформулированы и успешно решены следующие задачи исследования:

- ◆ Изучить топографию модельных участков парковых территорий (парк Царицыно, ЮАО и Лианозовский ландшафтный заказник, СВАО) и выбрать для каждого участка 3 точки (площадки) для сбора материала;
- ◆ Провести промеры собранного материала (листьев модельного вида деревьев);
- ◆ Провести статистическую обработку полученных результатов и проанализировать их.

Материалы и методы исследования

Сбор листьев для анализа проводили в сентябре в парке Царицыно и в Лианозовском ландшафтном заказнике. Было проанализировано 525 и 675 листьев, соответственно с каждого модельного участка [3,4].

На каждом участке было выбрано 3 разных точки, на каждой из которых листья собирали с 5 деревьев. Точки были выбраны исходя из расположения тропинок и автомобильных дорог, что представлено на рисунках 1 и 2.

Контрольная точка (первая точка) была выбрана в глубине каждого модельного участка, где влияние деятельности людей или автотранспорта на деревья

сравнительно минимально. Вторая (1-я опытная) — это точка вблизи тропинки, которую используют пешеходы и велосипедисты, автомобильная дорога находится на некотором расстоянии. Третья точка (2-я опытная) расположена непосредственно у автомобильной дороги: ЮАО — 1-я Радиальная улица, СВАО — Череповецкая улица.

Все образцы листьев были собраны со здоровых деревьев и целостных веток нижней части кроны на расстоянии примерно 150–180 см от земли. Ветки выбирали в случайном порядке и со всех направлений (условно с севера, востока, юга, запада). Листья с каждого дерева собирали в отдельный пакет с биркой, на которой фиксировали информацию о точке сбора и порядковом номере дерева.

Для анализа подбирали деревья среднего возраста, который определяли по стволу, измеряя его диаметр на высоте примерно 1,3 м, где ствол уже имеет округлую форму у большинства древесных пород. [5]

У листьев были измерены и в дальнейшем проанализированы следующие параметры (см. рисунок 3):

1. Ширина левой и правой сторон 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 жилок;
5. Угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка.

Вычисления проводили с использованием линейки и транспортира с точностью до 0,5 мм.

Следующим этапом исследования после сбора материала было вычисление статистических параметров каждого признака по методике Д.Б. Гелашвили и соавторов [1]. Изменчивость морфометрических параметров изучена на уровне признаков левой и правой

Таблица 1. Результаты промеров листьев с контрольной точки

Дерево Признак	Модельные участки	Точка 1 (контроль)				
		1	2	3	4	5
Признак 1	ЮАО	6,88±0,20	7,48±0,40	7,44±0,30	6,97±0,10	6,55±0,50
	СВАО	4,27±0,09	2,94±0,097	2,96±0,06	3,33±0,09	3,11±0,08
Признак 2	ЮАО	5,80±0,10	5,60±0,10	6,00±0,30	5,80±0,20	5,30±0,40
	СВАО	5,47±0,13	4,49±0,47	4,96±0,52	4,70±0,12	4,11±0,10
Признак 3	ЮАО	0,74±0,04	0,59±0,11	0,61±0,09	0,70±0,08	0,86±0,16
	СВАО	0,72±0,03	0,57±0,03	0,73±0,02	0,79±0,03	0,68±0,02
Признак 4	ЮАО	3,68±0,22	3,69±0,23	3,58±0,12	3,04±0,42	3,29±0,17
	СВАО	3,18±0,10	2,57±0,08	3,06±0,08	3,32±0,40	2,92±0,07
Признак 5	ЮАО	46,40±3,40	46,70±3,70	43,40±0,40	40,10±3,10	38,50±4,50
	СВАО	46,23±0,55	41,28±0,57	42,64±0,46	43,71±1,14	42,66±0,68

Таблица 2. Результаты промеров листьев с 1-й опытной точки

Дерево Признак	Модельные участки	Точка 2 (1-я опытная)				
		1	2	3	4	5
Признак 1	ЮАО	7,54±0,14	7,64±0,24	6,74±0,66	8,19±0,79	6,68±0,72
	СВАО	3,38±0,08	2,84±0,08	3,20±0,11	2,51±0,078	2,87±0,07
Признак 2	ЮАО	6,10±0,07	5,80±0,30	6,30±0,20	6,50±0,40	5,80±0,30
	СВАО	4,86±0,13	4,30±0,11**	3,93±0,18	4,00±0,14	3,52±0,09
Признак 3	ЮАО	0,64±0,04	0,89±0,25	0,60±0,04	0,47±0,17	0,58±0,06
	СВАО	0,96±0,03	0,74±0,03	0,76±0,08	0,95±0,07	0,76±0,02
Признак 4	ЮАО	3,88±0,02	3,94±0,04	3,64±0,26	4,13±0,23*	3,73±0,17
	СВАО	3,00±0,12	2,06±0,09	2,39±0,076	2,95±0,12	2,68±0,07
Признак 5	ЮАО	46,70±5,50	44,30±3,10	40,40±0,80	36,30±4,90	38,20±3,00
	СВАО	38,51±0,94	42,40±0,50	43,94±0,73	38,11±0,49**	44,00±0,55

* — P < 0,05; ** — P < 0,01

Таблица 3. Результаты промеров листьев со 2-й опытной точки

Дерево Признак	Модельные участки	Точка 3 (2-я опытная)				
		1	2	3	4	5
Признак 1	ЮАО	8,23±0,06	7,42±1,50	7,89±0,30	8,60±0,40	9,03±0,80**
	СВАО	2,75±0,08**	2,74±0,09	3,23±0,1	2,77±0,07	2,77±0,09
Признак 2	ЮАО	6,57±0,03	6,60±0,07	6,92±0,32**	6,70±0,10	6,40±0,20
	СВАО	3,03±0,07	3,06±0,13**	3,73±0,12	3,65±0,35	3,25±0,12
Признак 3	ЮАО	0,88±0,05	0,94±0,10	0,78±0,070	0,84±0,01	0,79±0,06
	СВАО	0,52±0,02	0,57±0,03	0,79±0,03	0,744±0,02	0,74±0,02
Признак 4	ЮАО	2,18±0,80	3,06±0,16	3,18±0,28	4,05±1,15	2,07±0,90
	СВАО	2,12±0,07	2,13±0,07	2,29±0,08	2,30±0,05	2,44±0,08
Признак 5	ЮАО	62,30±2,30	61,80±1,80	60,90±0,90	58,50±1,50	56,60±3,40
	СВАО	55,31±0,91	51,80±0,75	51,52±0,84	50,20±0,59	48,93±0,56

** — P < 0,01

Таблица 4. Индекс стабильности развития признаков

Площадки	Модельные участки	1 признак	2 признак	3 признак	4 признак	5 признак
1 точка	ЮАО	0,00014	0,00018	0,00021	0,00020	0,00054
	СВАО	0,00672	-0,02245	-0,00908	-0,00451	0,00762
2 точка	ЮАО	-0,00154	-0,00198	0,00202	0,00234	0,00211
	СВАО	0,00992	-0,00093	-0,07828	0,00864	-0,02325
3 точка	ЮАО	-0,00243	-0,00249	-0,00275	-0,00263	-0,00258
	СВАО	0,02848	-0,00088	-0,13920	-0,00117	0,01265

сторон листа. При определении закономерностей внутривидовой изменчивости была использована методика, предложенная С.А. Мамаевым [2]. Для каждого листа вычисляли относительные величины асимметрии (А) каждого промера при помощи следующих формул:

$$A = \frac{(L - R)}{(L + R)}$$

где L — параметр слева, R — параметр справа.

Интегральным показателем для оценки флуктуирующей асимметрии служила величина среднего относительного различия между сторонами на признак. С помощью вышеперечисленных методик, были выполнены расчеты индекса стабильности развития признаков.

По окончании вычислений величин асимметрии каждого промера определяли показатель асимметрии для каждого листа. Для этого суммировали значения относительных величин асимметрии по каждому признаку и делили на число признаков (n).

На заключительном этапе был вычислен интегральный показатель стабильности развития — величина среднего относительного различия между сторонами на признак. Для этого определили среднюю арифметическую всех величин асимметрии для каждого листа. Это значение округляли до 5 знаков после запятой. Все статистические расчеты проводили при помощи программы Microsoft Excel 2016.

Результаты исследований

Результаты промеров листьев, собранных на трех опытных площадках, представлены в таблицах 1–3. Средние значения приведены как $\bar{X} \pm$ ошибка среднего значения. Параметры признаков листьев описаны в материалах и методах (нумерация соответствует).

Модельные участки парк Царицыно и Лианозовский ландшафтный заказник в таблицах 1–4 указаны по округам: ЮАО и СВАО

Сравнивая средние величины результатов промеров, полученных на опытных площадках модельного участка парк Царицыно, со значениями промеров на контрольной точке, необходимо отметить, что по 4 признакам из 5 максимальные значения были получены на 2 опытной площадке, расположенной непосредственно с проезжей частью.

Так, средние значения 1-го признака ($6,55 \pm 0,50$; $n = 7$), полученные на контрольной точке достоверно отличаются от значений аналогичного признака исследуемого дерева со 2-й опытной площадки ($9,03 \pm 0,80$; $n = 7$) при $P < 0,01$. Также, например, если сравнивать значения с контрольной точки и опытной точки, находящейся рядом с автомобильной дорогой, достоверные различия (при $P < 0,01$) были обнаружены для 2-го признака ($5,30 \pm 0,40$ и $6,92 \pm 0,32$, $n = 7$).

Достоверные различия после анализа отдельных признаков были выявлены и при сравнении контрольной точки с 1-й опытной. Так, в частности значения признака 4 с контрольной точки ($3,04 \pm 0,42$, $n = 7$) достоверно отличаются от значений этого же признака с 1-й опытной площадки ($4,13 \pm 0,23$, $n = 7$) при $P < 0,05$.

Проводя сравнение средних величин результатов промеров, полученных на опытных точках модельного участка Лианозовский ландшафтный заказник, со значениями аналогичных параметров на контрольной площадке следует отметить ряд следующих фактов. Так, например, средние значения признака 1 ($4,27 \pm 0,09$; $n = 5$), полученные на контрольной точке при измерении листьев с первого дерева достоверно отличаются от значения соответствующего признака первого дерева со 2-й опытной площадки ($2,75 \pm 0,08$; $n = 5$), расположенной рядом с автомобильной дорогой при $P < 0,01$.

Также достоверные различия (при $P < 0,01$) были зафиксированы, в частности, при сравнении признаков с контрольной точки и первой опытной. В частности, средние значения промеров признака № 5 у листьев,

собранных с 4-го дерева контрольной площадки ($43,71 \pm 1,14$; $n = 5$), достоверно отличаются от аналогичного признака листьев четвертого дерева с первой опытной точки ($38,11 \pm 0,49$; $n = 5$).

Отмечены достоверные различия и при сравнении средних величин результатов промеров на опытных площадках. Например, после статистического сравнения средних значений признака № 2 второго дерева с 1-й опытной площадки ($4,30 \pm 0,11$; $n = 5$) и аналогичного признака второго дерева с 2-й опытной площадки ($3,06 \pm 0,13$; $n = 5$) также были отмечены достоверные различия при $P < 0,01$.

Результаты расчета индекса стабильности развития приведены в таблице 4.

Заключение

Полученные результаты подтверждают гипотезу о негативном воздействии автотранспорта на локальное состояние окружающей среды. В ходе исследова-

ния были получены данные, иллюстрирующие прямую зависимость величины флуктуирующей асимметрии листовой пластинки от близости расположения автомобильной дороги к опытным площадкам. Было статистически подтверждено, что, чем ближе к дороге расположена опытная точка, тем в большей степени индекс стабильности развития признака отклоняется от показателей, полученных на контрольной точке, расположенной вдали от проезжей части, что, в целом, показывает негативное влияние автомобильного транспорта на окружающую среду.

При этом, следует учитывать, что увеличение количества посаженных деревьев и кустарников, а также их рациональная вырубка должна привести к снижению эффекта воздействия автомобильного транспорта на качество воздуха. Также древесная и кустарниковая растительность будет, несомненно, при увеличении её численности, больше аккумулировать в себе вредные и опасные вещества, поступающие от автомобильного транспорта и предприятий города, тем самым очищая городской воздух.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гелашвили, Д.Б. Структурно-информационные показатели флуктуирующей асимметрии билатерально симметричных организмов / Д.Б. Гелашвили, Е.В. Чупрунов, Д.И. Иудин // *Общая биология*, — 2004в, — С. 377–385.
2. Мамаев, С.А. *Формы внутривидовой изменчивости древесных растений*. — М.: Наука, 1973. — 284 с.
3. Ломсков, М.А. Оценка степени загрязнения воздуха модельных площадок Лианозовского ландшафтного заказника методом флуктуирующей асимметрии листьев / Ломсков М.А., Соловьев И.Д. / *Проблемы зоокультуры и экологии* Вып. 5 Сборник научных трудов — М.: ГАУ «Московский зоопарк»; ЕАРАЗА; СОЗАР, 2021. — С. 162–168.
4. Таратоненкова, М.А. Использование метода флуктуирующей асимметрии для оценки степени загрязнения воздуха модельных площадок парка Царицыно / Таратоненкова М.А., Ломсков М.А. / *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. Научно-практический журнал, № 1, 2020. — С. 42–47.
5. Хикматуллина, Г.Р. Сравнение морфологических признаков листа *Betula pendula* в условиях урбанизированной среды/ Г.Р. Хикматуллина/ *Вестник Удмуртского университета. Серия 6: Биология. Науки о Земле*, № 2, — 2013. — С. 48–56.

© Ломсков Михаил Александрович (lomskovma@mail.ru),

Коновалов Александр Михайлович (zoolog82@mail.ru), Алпатов Василий Васильевич (alpatovv@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»