
БИОИНДИКАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТАБИЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ *POPULUS TREMULA* В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

А.С. Кузнецова, Е.В. Сотникова

Институт химического машиностроения им. Л.А. Костандова
Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)
ул. Б. Семеновская, д. 38, Москва, Россия, 107023

Исследованы изменения стабильности развития листьев *Populus tremula* вблизи крупных автомагистралей г. Москвы. Проведена оценка величины флуктуирующей асимметрии листовой пластинки. Выявлены морфометрические различия листовых пластинок *Populus tremula* при различных уровнях антропогенного воздействия.

Ключевые слова: асимметрия, транспортные потоки, *Populus tremula*, антропогенное воздействие

Вредные выбросы автомобильного транспорта и промышленных предприятий, превышающие нормативы, уничтожают растительность на отдельных территориях и в масштабе целых районов.

Древесные растения в крупных промышленных городах выполняют защитные и средообразующие функции, испытывая при этом постоянное техногенное воздействие. В связи с этим все большее значение приобретает проблема изучения стабильности развития древесных растений в урбанизированной среде.

Применение в качестве индикаторов состояния городской среды древесных растений целесообразно не только в связи с простотой проведения исследований, но и привязанностью в течение всей своей жизни к конкретной территории и подвержены характерному для этой территории влиянию почв и воздушной среды.

Оценка состояния организмов (популяций) по стабильности развития, характеризующаяся уровнем флуктуирующей асимметрии морфологических структур, в настоящее время является одним из перспективных подходов, применяемых для интегральной оценки состояния урбанизированной среды [1].

При различных факторах воздействия среды в листьях происходят морфологические изменения (смещение асимметрии, уменьшение площади листовой пластины). Листовой аппарат является наиболее чувствительным органом, который может адекватно отразить уровень воздействия окружающей среды на растительный организм [9].

Методика основана на теории стабильности развития (морфогенетического гомеостаза), разработанной российскими учеными (А.В. Яблоков, В.М. Захаров и др.). Теория доказывает, что стрессирующие воздействия различного типа вызывают в живых организмах изменения стабильности развития, которые могут быть оценены по нарушению морфогенетических процессов [2].

В качестве меры стабильности развития билатеральных морфологических структур растений широко применяется флуктуирующая асимметрия, под кото-

рой понимают случайные незначительные отклонения от симметричного состояния [8]. Флуктуирующая асимметрия, имеющая ненаследственный характер, наблюдается и на фоне наследственных типов асимметрии, таких как антисимметрия и направленная асимметрия [3]. Величина флуктуирующей асимметрии возрастает при действии любых средовых стресс-факторов [8]. Это позволяет использовать флуктуирующую асимметрию листа различных видов древесных растений для оценки уровня загрязнения природной среды.

Актуальность исследования заключается в накоплении данных для проведения экологического мониторинга состояния городской среды и обоснованности применения в качестве индикаторов загрязнения окружающей среды не только хвойных растений и березы, но и других видов растительности, наиболее распространенных или характерных для конкретного участка наблюдения.

Целью работы является оценка качества среды придорожных территорий по показателям нарушения стабильности развития высших растений на примере *Populus tremula*.

Материалы и методы исследования

В данной работе рассматривали возможность использования в оценке стабильности развития по показателям флуктуирующей асимметрии листовой пластины *Populus tremula* в связи с ее высокой газоустойчивостью и широким распространением на территории России.

Осина (*Populus tremula*) — вид лиственных деревьев из рода «тополь» семейства «ивовые», крупное дерево до 35 м высотой и 1 м в диаметре, листья ее округлые, кожистые, городчатые (округло-зубчатые), сидящие на длинных сплюснутых с боков черешках. Осину используют для озеленения населенных пунктов как быстрорастущее и ветроустойчивое дерево. Осина широко распространена в районах с умеренным и холодным климатом Европы и Азии [6]. На территории России встречается повсеместно, от Северного полярного круга до границ лесостепной зоны [5. С. 21].

Осина более устойчива к дымовым газам, чем хвойные породы. Установлено, что в Московской области под влиянием промышленных газов у осины уменьшаются листья, на них появляются темно-коричневые пятна, снижается прирост в высоту на 30—50% [10].

Сбор образцов листьев осуществлялся в августе-сентябре 2014 г. Результаты визуальных наблюдений показали, что состояние лиственного покрова осины вдоль автомагистралей неудовлетворительное: наблюдается раннее пожелтение и высыхание листовой пластины, точечный и краевой некроз листовых пластинок, листья покрыты пылью и частицами сажи, которые являются следствием выбросов автомобильного транспорта.

Для оценки последствий антропогенного воздействия выбрано три учетные площадки [11], где регулярны крупные транспортные пробки и скорость движения транспорта не превышает 10 км/ч на участке не менее 1 км, и одна учетная площадка в зоне района исследования с низкой степенью антропогенной нагрузки (парковая зона, на значительном удалении от крупных автомагистралей).

Учетная площадка 1 — Шоссе Энтузиастов — движение транспорта интенсивное (трехполосное в обе стороны), расположены несколько остановок городского транспорта, станция метро, регулярно возникают крупные транспортные пробки протяженностью 3—5 км по направлению в центр города расположен крупный лесопарк (Измайловский парк), средняя скорость в часы пик не превышает 5—10 км/ч.

Учетная площадка 2 — Люблинская улица до пересечения с Волгоградским проспектом — интенсивное движение автотранспорта (двухполосное в обе стороны, местами с расширениями до трех полос), крупный транспортно-пересадочный узел (метро, наземный транспорт, пригородные электропоезда), крупные транспортные пробки протяженностью до 1,5 км, средняя скорость в часы пик не превышает 3—5 км/ч.

Учетная площадка 3 — Рязанский проспект — движение транспорта интенсивное (трехполосное в обе стороны), расположены несколько остановок городского транспорта, станция метро, регулярно возникают крупные транспортные пробки протяженностью 2—4 км, средняя скорость в часы пик не превышает 7—10 км/ч.

Учетная площадка 4 — Измайловский парк г. Москвы, зона для оценки условного фонового уровня. Расстояние до автомагистрали не менее 50—100 м.

В качестве контрольных были выбраны листья осины (*Populus tremula*) из насаждений с фоновым уровнем загрязнения, характерным для района исследования (в отдалении от автомагистралей на территории Измайловского парка г. Москвы).

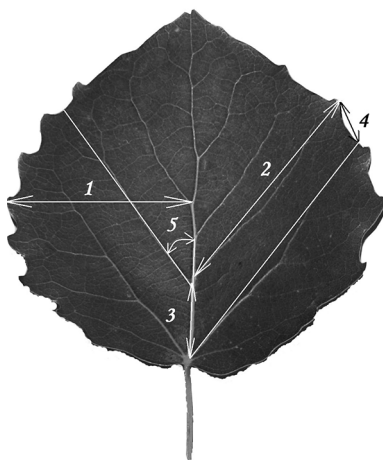


Рис. Параметры промеров листьев *Populus tremula*:
1 — ширина половинки листа; 2 — длина второй жилки от основания листа; 3 — расстояние между основаниями первой и второй жилок; 4 — расстояние между концами этих жилок; 5 — угол между главной и второй от основания жилками

Сбор материала проводился в стандартных погодных условиях (ясно, безветренно) в количестве 10 шт. с 10 близкорастущих условно одновозрастных деревьев. С листьев снимали показатели по пяти билатеральным признакам, с левой и правой стороны, в соответствии с методикой В.М. Захарова [4]: ширина половины листа; длина жилки второго порядка; расстояние между основаниями пер-

вой и второй жилки; расстояние между концами первой и второй жилки; угол между главной и второй от основания листа жилки второго порядка (рис.).

Результаты исследования

Анализ флуктуирующей асимметрии по каждому признаку проводился путем определения дисперсии асимметрии — относительной величины различия в промерах слева и справа, отнесенного к их сумме.

Величину флуктуирующей асимметрии всех признаков оценивали интегральным показателем — средним относительным различием между сторонами на признак. В придорожной зоне в листьях осины обыкновенной флуктуирующая асимметрия листовой пластинки варьируется от 0,067 до 0,079 и характеризует нестабильность развития осины в условиях воздействия автотранспорта. В контрольной точке в Измайловском лесопарке г. Москвы флуктуирующая асимметрия в среднем составляет 0,047 — условная норма для данного района (табл. 1).

Таблица 1

Величина флуктуирующей асимметрии листовых пластинок осины

№	Величина интегральных показателей, мм	Место исследования			
		Измайловский парк	Люблинская улица	Шоссе Энтузиастов	Рязанский проспект
1.	Ширина половинок	0,010	0,034	0,039	0,028
2.	Длина жилки 2-го порядка	0,028	0,040	0,034	0,036
3.	Расстояние между основаниями 1-й и 2-й жилки	0,103	0,156	0,134	0,110
4.	Расстояние между концами 1-й и 2-й жилки	0,075	0,113	0,112	0,116
5.	Угол между главной и 2-й от основания листа жилками 2-го порядка	0,031	0,050	0,049	0,045
Величина флуктуирующей асимметрии выборки		0,047	0,079	0,074	0,067

Данные полученные с растений вблизи автомагистралей свидетельствуют, что растения находятся в сильно угнетенном состоянии (величина флуктуирующей асимметрии $> 0,067$) и под действием антропогенного загрязнения у осины изменяются внутренние и внешние функции и признаки. Чем выше уровень загрязнения окружающей среды района произрастания исследуемых объектов, тем выше флуктуирующая асимметрия листовой пластинки осины.

Статистическая значимость различий между выборками по величине среднего относительного различия между сторонами на признак определялась по t -критерию Стьюдента при 5%-м уровне значимости (вероятность ошибочной оценки $P = 0,05$) (табл. 2).

Таблица 2

Сравнение листовых пластин *Populus tremula* контрольного и исследуемых участков

Объект исследования	Флуктуирующая асимметрия	Стандартное отклонение	Дисперсия	t
Измайловский парк	0,047	0,005	0,000025	—
Люблинская улица	0,079	0,012	0,000145	0,34
Рязанский проспект	0,067	0,010	0,000101	0,19
Шоссе Энтузиастов	0,074	0,011	0,000131	0,37

Сравнение листовых пластинок деревьев контрольного и исследуемых участков показало большие различия по морфологической изменчивости. Они выражаются в значительно больших значениях дисперсии флуктуирующей асимметрии и общей фенотипической изменчивости у деревьев, произрастающих на придорожных территориях, что является результатом снижения уровня стабильности их развития.

Выводы

На показатель флуктуирующей асимметрии в урбанизированной среде оказывает влияние насыщенность транспортной нагрузки, расстояние от источника загрязнения, открытость и защищенность участка, а также уровень качества дорожного покрытия.

Общее санитарное состояние зеленых насаждений в исследуемом районе является неудовлетворительным, а вблизи крупных автомагистралей сильно угнетенным.

Осина обыкновенная может использоваться как индикатор загрязнения городской среды автотранспортом.

Экспериментально установили, что в придорожной полосе флуктуирующая асимметрия листовой пластинки осины обыкновенной варьируется от 0,067 до 0,079 и характеризует нестабильность развития осины в условиях воздействия автотранспорта. В контрольной точке в Измайловском лесопарке г. Москвы флуктуирующая асимметрия в среднем составляет 0,47.

Появление на листьях растений некротических пятен также свидетельствует о загрязнении территорий.

Высокий уровень флуктуирующей асимметрии у деревьев, произрастающих вдоль автотрасс по сравнению с контрольными, свидетельствует о снижении уровня стабильности их развития и ухудшении качества среды обитания.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие / О.П. Мелехова, Е.И. Егорова, Т.И. Евсеева и др. / под ред. О.П. Мелеховой и Е.И. Егоровой. М.: Академия, 2007. 288 с.
- [2] Боголюбов А.С. Оценка экологического состояния леса по асимметрии листьев: учеб. пособие. «Экосистема», 2002. 10 с.
- [3] Захаров В.М. Асимметрия животных. М.: Наука, 1987. 216 с.
- [4] Захаров В.М., Чубинишвили А.Т., Дмитриев С.Г., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Крысанов Е.Ю., Кряжева Н.Г., Пронин А.В., Чистякова Е.К. Здоровье среды: практика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 320 с.
- [5] Лиственные древесные породы: метод. указания. В 2-х ч. Ч. 1 / сост. М.В. Коломинова. Ухта : УГТУ, 2014. 71 с.
- [6] Малый энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона (МЭСБЕ). В 4 т. СПб., 1907—1909.
- [7] Чистякова Е.К., Кряжева Н.Г., Захаров В.М. Стабильность развития // Последствия Чернобыльской катастрофы: здоровье среды / под ред. В.М. Захарова и Е.Ю. Крысанова. М.: Центр Экологической политики России, 1996. С. 170.
- [8] Захаров В.М., Жданова Н.П., Кирик Е.Ф. и др. Онтогенез и популяция: оценка стабильности развития в природных популяциях // Онтогенез. 2001. Т. 32. № 6. С. 40—421.

- [9] Корнилина В.В. Влияние *Phellinus tremulae* (Bond et Borissov) на величину флуктуирующей асимметрии листовой пластины осины // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 1 (часть 1). С. 37—40.
- [10] Смилга Я.Я. Осина. Вильнюс: Изд-во Зинатне, 1986. 230 с.
- [11] Современная наука: теоретический и практический взгляд // сборник ст. Международной научно-практической конференции (25 февраля 2015 г., г. Уфа). В 2 ч. Ч. 1. Уфа: Аэтерна, 2015. 218 с.

BIOINDICATIVE INDICATORS OF STABILITY OF *POPULUS TREMULA* LEAF BLADES UNDER THE IMPACT OF TRAFFIC FLOW

A.S. Kuznetsova, E.V. Sotnikova

Moscow state university of mechanical engineering (MAMI)
Bolshaya Semenovskaya str., 38, Moscow, Russia, 107023

Reserched changes in stability of *Populus tremula* at different levels of exposure of vehicle emissions. Revealed morphometric differences of the leaf blades *Populus tremula* at different levels of anthropogenic impact.

Key words: asymmetry, traffic flows, *Populus tremula*, anthropogenous influence

REFERENCES

- [1] Biologicheskii kontrol okruzhayushchey sredy: bioindikatsiya i biotestirovanie: ucheb. posobie dlya stud.vyssh.ucheb. zavedeniy [Biological control of the environment: bioindication and biological testing: textbook for students in higher education] / O.P. Melekhova, Ye.I. Yegorova, T.I. Yevseeva and others; ed. by O.P. Melekhovoy and Ye.I. Yegorovoy. M.: Izdatelskiy tsentr [Publishing house] «Akademiya», 2007. 288 p.
- [2] Bogolyubov A.S. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya lesa po asimmetrii listev. Ucheb. posobie. [Assessment of the ecological condition of the forest on the leaves asymmetries. Textbook allowance]. «Ekosistema» [Ecosystem], 2002. 10 p.
- [3] Zakharov V.M. Asimmetriya zhitovnykh [The asymmetry of animals]. M.: Nauka [Science], 1987. 216 p.
- [4] Zakharov V.M., Chubinishvili A.T., Dmitriev S.G., Baranov A.S., Borisov V.I., Valetskiy A.V., Krysanov Ye.Yu., Kryazheva N.G., Pronin A.V., Chistyakova Ye.K. Zdorove sredy: praktika otsenki [Environmental Health: Practice evaluation]. M.: Tsentr ekologicheskoy politiki Rossii [Center of Russian Environmental Policy], 2000. 320 p.
- [5] Listvennyye drevesnye porody: metod. ukazaniya [Deciduous timbers: method. instructions]. In 2 parts. Part. 1 / auth. M.V. Kolominova. Ukhta: UGTU, 2014. 71 p.
- [6] Malyy entsiklopedicheskiy slovar Brokgauza i Yefrona (MESBYe). V 4 tomakh [Small Encyclopedic Dictionary of Brockhaus and Efron (MESBE). At 4 vol.]. SPb., 1907—1909.
- [7] Chistyakova Ye.K., Kryazheva N.G., Zakharov V.M. Stabilnost razvitiya. Posledstviya Chernobylskoy katastrofy: zdorove sredy [The consequences of the Chernobyl disaster: environmental health]. Pod red. [Ed. by] V.M. Zakharova and Ye.Yu. Krysanova. M.: Tsentr Ekologicheskoy politiki Rossii [Center of Russian Environmental Policy], 1996. P. 170.

- [8] Zakharov V.M., Zhdanova N.P., Kirik Ye.F. i dr. Ontogenez i populyatsiya: otsenka stabilnosti razvitiya v prirodnykh populyatsiyakh [Ontogenesis and population: Estimation of stability in natural populations]. *Ontogenez*. 2001. V. 32. No. 6. Pp. 40—421.
- [9] Kornilina V.V. Vliyanie *Phellinus tremulae* (Bond et Borissov) na velichinu fluktuiruyushchey asimmetrii listovoy plastiny osiny. *Fundamentalnye issledovaniya* [Effect of *Phellinus tremulae* (Bond et Borissov) on the value of fluctuating asymmetry aspen leaf plate. Fundamental researches]. 2013. No. 1. Vol. 1. Pp. 37—40.
- [10] Smilga Ya. Ya. *Osina*. Vilnyus: Izd-vo Zinatne [Aspen. Vilnyus: Publishing house Zinatne], 1986. 230 p.
- [11] *Sovremennaya nauka: teoreticheskiy i prakticheskiy vzglyad*. Sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Modern science: theoretical and practical view. Collection of articles of the International research and practice conference]. Aeterna. Ufa, 2015. Vol. 1. P. 218.