

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 504.064.36:630*176.321.3

В. П. Иванов, С. И. Марченко, Н. В. Акименков

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АСИММЕТРИИ ПЛОЩАДЕЙ ЛИСТОВЫХ ПЛАСТИНОК *BETULA PENDULA* В КАЧЕСТВЕ ИНДИКАТОРА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Предложена методика определения экологического состояния природных экосистем по величине асимметрии площадей половинок листьев березы повислой. Апробация методики осуществлялась на различных объектах Брянской и Орловской областей.

Ключевые слова: асимметрия, флуктуирующая асимметрия, загрязнение среды, методика биоиндикации, качество среды.

Введение. Динамичные тенденции изменения состояния биоты в XXI веке переводят в разряд наиболее актуальных задач поиск новых методологических подходов ее качественной оценки. Асимметрия в биологии сравнительно недавно стала объектом изучения. У многих древесных пород наблюдается асимметрия листовых пластинок (липа, береза, дуб, вяз и др.), которая, вероятно, «закреплена» генетически, и наглядно проявляется в фенотипе. Изучение асимметрии листьев березы повислой на территории Брянской и Орловской областей выявило их флуктуацию в зависимости от условий окружающей природной среды [1, 2]. Известно, что природные экосистемы постоянно испытывают воздействие негативных факторов в условиях возрастающего антропогенеза. С увеличением техногенного стресса возможно и возрастание флуктуирующей асимметрии, что, в свою очередь, может служить индикатором оценки состояния природной среды. Эти явления отмечаются в лесах зеленых зон вокруг городов – из-за фрагментированности территории (густая дорожно-тропиночная сеть, трассы ЛЭП, газо- и нефтепроводы), ежегодного роста количества отдыхающих (замусоривание леса бытовыми отходами, пожаров при разведении костров в опасный период) и многих других причин, связанных с деятельностью человека. Продолжает увеличиваться пресинг на окружающую природную среду и леса в районе г. Брянска [3].

Встает вопрос о характере воздействия факторов загрязнения: через атмосферу или почву? Проведенные исследования [1, 4] показали предварительное превалирующее

влияние на флуктуирующую асимметрию листьев березы повислой почвенных загрязнителей. Фенотипическая изменчивость под воздействием техногенных загрязнений требует тщательного разностороннего изучения в различных лесотипологических и антропогенных условиях.

Целью работы является апробация новых методик биоиндикации при оценке экологического состояния природных экосистем для мониторинговых исследований, альтернативных применяющимся в настоящее время.

Одним из наиболее перспективных методов биоиндикации качества природной среды является оценка стабильности развития березы повислой, рассчитанной по величине флуктуирующей асимметрии (ФА) листовых пластинок [5]. Выявлены корреляции этого показателя с разнообразными антропогенными воздействиями, в т.ч. химическими, радиоактивными загрязнениями и проч. [2, 6–10]. Методика апробирована нами в мониторинговых исследованиях [1].

Традиционно при определении величины ФА листовых пластинок используется система промеров некоторых их параметров: ширина половины листа (по линии перегиба, образовавшейся после совмещения верхушки и основания листа), длина второй от основания листа жилки второго порядка, расстояние между концами первой и второй от основания листа жилок второго порядка, расстояние между основаниями этих жилок, угол прикрепления второй от основания листа жилки второго порядка. Суммарно эти показатели характеризуют геометрию листа. Применение данной методики на практике, даже с использованием прогрессивных алгоритмов и автоматизации вычислений довольно сложно и кропотливо [11]. Поэтому изучение явления асимметрии площадей половинок листа в качестве возможной альтернативы ФА представляет практический интерес.

Объектом исследований явилась территория Опытного лесничества Брянской государственной инженерно-технологической академии (БГИТА), расположенная в восточном направлении от г. Брянска. Лесной массив разрезают крупные автодороги (Москва–Украина, Брянск–Орел); железнодорожная ветка (Брянск–Орел); ЛЭП 35-110 Кв; нефтепродуктопроводы. Выполненные нами ранее работы позволили оценить экологическое состояние природных экосистем на данной территории. В 2006 г. в конце июня – начале июля в соответствии с методическими рекомендациями [8] в 11 пунктах на территории Опытного лесничества были собраны листья березы повислой. Повторно отбор проб выполнялся в июне – июле 2007 г. (пункты 3, 4, 7, 8) и в июле 2008 г. (пункт 3). Всего со 164 деревьев (10 деревьев в каждом пункте) собрано 2292 листа, пригодных для определения морфометрических признаков листовых пластинок. Выполнено 164 серии фиксации (сканирования) полевых материалов, составивших графическую базу данных (рис. 1).

Обработка выполнена с использованием компьютера [11]. Проведено 22920 измерений пластических признаков листовых пластинок (при помощи дигитайзера сняты координаты 25212 контрольных точек). Проведена статистическая обработка 180 рядов данных. Средствами Adobe Photoshop CS3 Extended определены 4584 площади половинок собранных листьев (в мм²).

В результате обработки данных (с использованием программы Surfer[®] 8, метод Polynomial Regression) проявилась общая тенденция улучшения показателей стабильности развития березы повислой в направлении с юго-запада на северо-восток, одновременно с удалением от г. Брянска. Выявлены неоднородности состояния экосистем на территории Опытного лесничества БГИТА: пункты хорошего (низкие значения величины флуктуирующей асимметрии), удовлетворительного, предкризисного и кризисного состояния природных экосистем (высокие значения величины флуктуирующей асимметрии) [4].

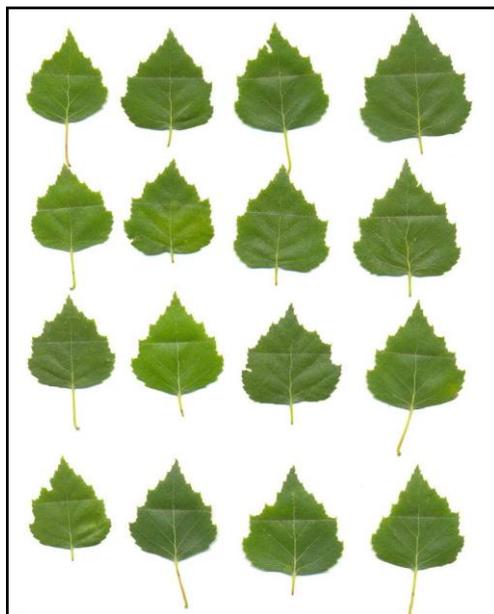


Рис. 1. Фрагмент графической базы данных

При визуальном анализе собранного экспериментального материала довольно часто наблюдались заметные различия площадей половинок листьев (рис. 2).

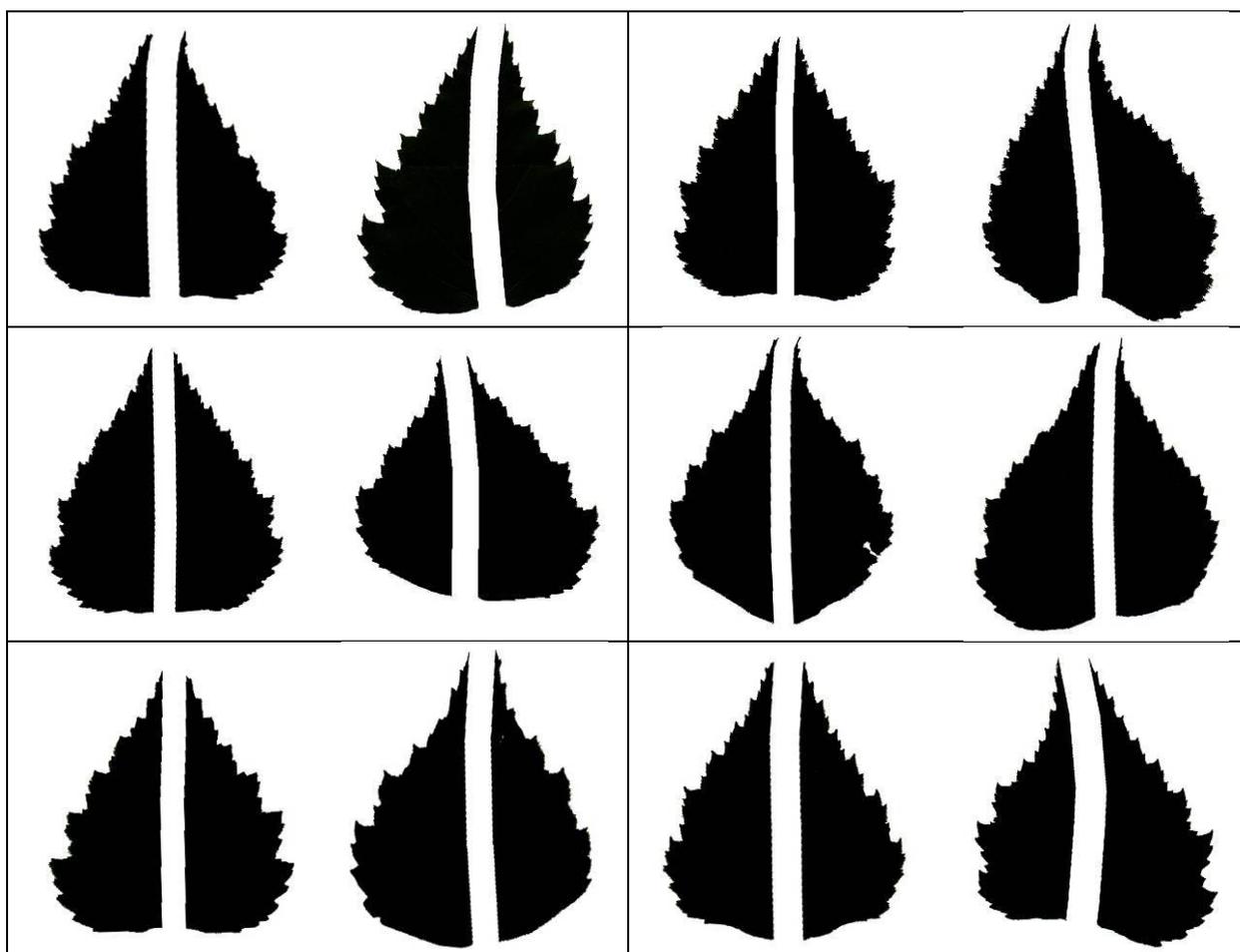


Рис. 2. Элементы графической базы данных из 6 выборок с минимальными и максимальными значениями асимметрии площадей половинок листьев

Проведенная стандартная статистическая обработка (таблица) не выявила существенной разницы между средними величинами площадей половинок листа.

Статистики площадей листьев (мм²) в выборке (N=2292)

Показатель	$\sigma_x \pm m_\sigma$	$M_x \pm m_{Mx}$	$C_x, \%$	$P_x, \%$	min	max
Левая половина	212,3 ± 3,1	622,8 ± 4,4	34,1	0,7	165,3	1687,4
Правая половина	211,5 ± 3,1	621,7 ± 4,4	34,0	0,7	162,2	1971,1
$t_{St}=0,18; t_{95\%}=1,96$						
Весь лист	420,5 ± 6,2	1244,5 ± 8,8	33,8	0,7	327,5	3658,5

Корреляция между признаками (рис. 3) оказалась довольно высокой: $r=0,969 \pm 0,005$; $t_r=187,6$. Близкими оказались и частотные распределения, довольно хорошо описываемые логнормальным распределением

$$f(x) = 1/[x\sigma(2\pi)^{1/2}] * e^{\{-[\log(x)-\mu]^2/2\sigma^2\}}$$

(с параметрами формы и масштаба для площадей левой половинки листа $\mu=6,378$, $\sigma=0,335$ и $\mu=6,377$, $\sigma=0,334$ – для правой половинки листа).

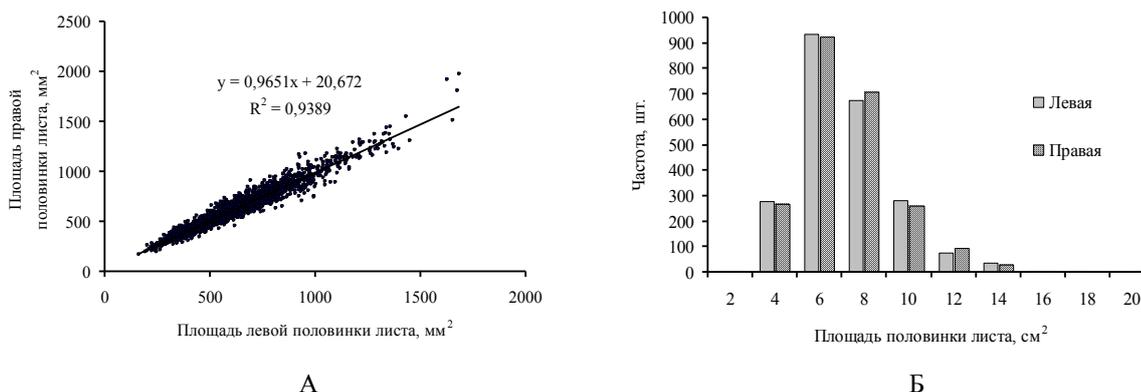


Рис. 3. Корреляция (А) и частотные распределения (Б) площадей половинок листьев в анализируемой совокупности

Величина асимметрии площадей половинок листьев определялась как частное от деления модуля разности площадей левой и правой половинок листа на их сумму (площадь листа). Оказалось, что этот показатель на популяционном уровне коррелирует с показателем стабильности развития березы повислой, рассчитанным по величине ФА листовых пластинок (рис. 4).

Теснота связи может характеризоваться как заметная (по Чеддоку): $r=0,557 \pm 0,222$; $t_r=2,51$. Количества пунктов наблюдений оказалось достаточно для обоснования достоверности выводов – величина преобразованного коэффициента корреляции $z=0,628$ оказалась значимой $t_z=2,26$ – больше критического значения при $p=0,05$ ($t_{кр}=2,14$).

Ранжированные данные (генеральная совокупность) величины асимметрии площадей половинок листьев на уровне органа (лист) имеют сходную тенденцию с величиной ФА (рис. 5). Можно предположить, что эти явления имеют общую природу.

Собранные листья после определения ФА и асимметрии площадей половинок листьев каждой серии образцов высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали и прессовали в таблетки при помощи гидравлического ручного пресса ПРГ-10. Опреде-

ление содержания металлов в листьях проводили в аналитической лаборатории РЦ ГЭ-КиМ по Брянской области на рентгеновском флуоресцентном спектрометре Спектроскан-МАКС-G.

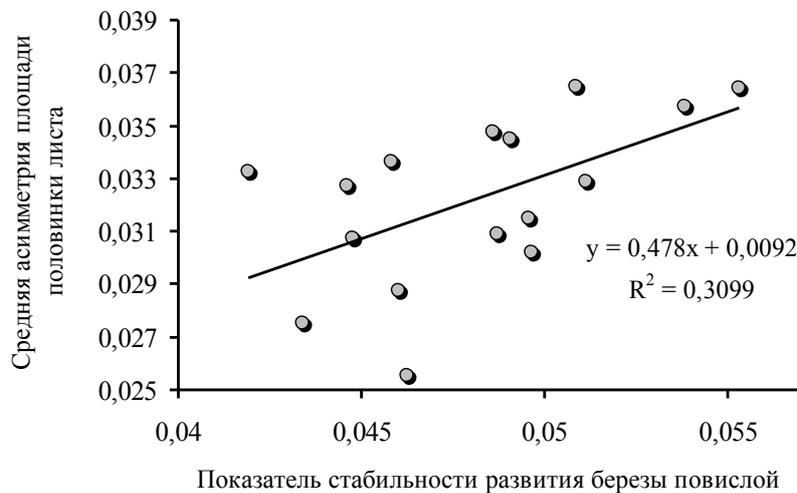


Рис. 4. Корреляция показателей стабильности развития березы повислой и асимметрии площадей половинок листьев

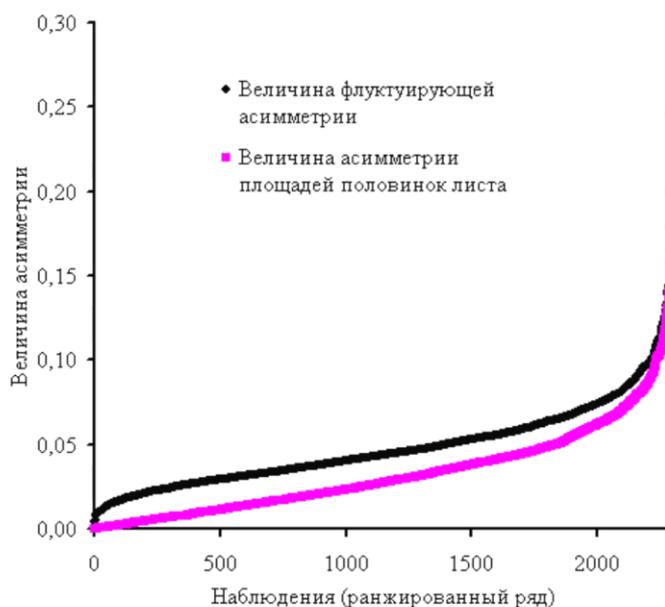


Рис. 5. Ранжированные данные ФА и асимметрии площадей половинок листьев в генеральной совокупности

Результаты определения содержания металлов в образцах листьев позволили выявить ряд химических элементов, имеющих сходную с показателем асимметрии площадей половинок листа березы повислой тенденцию изменения на исследуемой территории.

По данным корреляционного анализа (корреляционной матрицы) выявлено значительное количество пар, характеризующихся довольно высокими значениями коэффициентов корреляции.

Так, например, корреляция между величиной показателя стабильности развития березы повислой и содержанием в листьях стронция, цинка, меди и никеля может характеризоваться как умеренная (по Чеддоку). Несколько иная картина у показателя асимметрии площадей половинок листьев: корреляция с содержанием в листьях мышьяка и никеля может характеризоваться как заметная, а стронция, свинца и цинка – как умеренная.

Количество наблюдений (пунктов) невелико, и при корреляционном анализе необходимо оценивать величину преобразованного коэффициента корреляции (z).

Достоверность корреляции асимметрии площадей левой и правой половинок листа и содержания в листьях никеля удалось обосновать при $p=0,05$: $r=0,587\pm 0,216$; $t_r=2,71$. Величина преобразованного коэффициента корреляции $z=0,672$; $t_z=2,42 > t_{кр}=2,14$.

Результаты проведенных исследований изменения содержания в листьях металлов в зависимости от размеров (площади) листьев показали разнонаправленные тенденции. Содержание свинца, мышьяка, кобальта и хрома возрастает с увеличением средней площади листьев; величина асимметрии площадей половинок листьев имеет тенденцию к увеличению при снижении абсолютного содержания свинца и мышьяка в листьях. Содержание цинка, никеля, железа и марганца уменьшается с увеличением средней площади листьев; величина асимметрии площадей половинок листьев имеет тенденцию к увеличению при повышении абсолютного содержания цинка и никеля в листьях. Не согласуются с этими тенденциями данные по стронцию и меди: при увеличении асимметрии площадей половинок листьев и средней площади листьев содержание этих металлов в образцах имеет тенденцию к увеличению. Возможно, это связано с особенностями механизмов поступления анализируемых металлов в растения и протекания цикла биохимических реакций, ответственных за формирование листовых пластинок, что могут подтвердить дальнейшие эксперименты.

Вывод. Исследования показали возможность использования величины асимметрии площадей листовых пластинок наряду с ФА в качестве альтернативного показателя при оценке состояния природных экосистем. При этом выявляются следующие преимущества: для выполнения камеральных работ не требуются исполнители высшей квалификации; на 20-50% сокращается время, затрачиваемое на выполнение измерений; сохраняется возможность контроля качества на всех этапах выполнения работ.

Список литературы

1. Иванов, В. П. Использование интегрированного показателя стабильности развития березы повислой в мониторинговых исследованиях / В. П. Иванов, С. И. Марченко, И. Н. Глазун и др. // Мониторинг природных экосистем в зонах защитных мероприятий объектов по уничтожению химического оружия. – Пенза, 2007. – С. 47-53.
2. Кузнецов, М. Н. Оценка экологического состояния окружающей природной среды в районе складирования отходов алюминиевого производства / М. Н. Кузнецов, С. И. Марченко, И. Н. Глазун и др. // Вестник МАНЭБ. Научно-технический журнал. – 2008. – Т. 13. – № 2. – С. 10-18.
3. Государственный Доклад «О состоянии окружающей природной среды по Брянской области в 2006 году» / Комитет природопользования и охраны окружающей среды, лицензирования отдельных видов деятельности Брянской области; Сост.: В. П. Иванов, М. Ю. Смирнова, С. И. Марченко, Д. И. Нартов. – Брянск, 2007. – 299 с.
4. Марченко, С. И. Результаты оценки экологического состояния окружающей природной среды территории Опытного лесничества БГИТА по показателям стабильности развития березы повислой / С. И. Марченко, В. И. Шошин // Экологическая экспертиза. Обзорная информация. Вып. 1. М.: ВИНТИ, 2007. – С. 52-56.
5. Захаров, В. М. Здоровье среды: методика оценки / В. М. Захаров, А. С. Баранов, В. И. Борисов и др. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 68 с.

6. Бойко, А. А. Оценка стабильности развития листьев березы повислой в условиях аэротехногенного загрязнения окружающей среды / А. А. Бойко // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. – 2004. – №5 (36). – С.121-123.
7. Ветчинникова, Т. Ю. Морфометрия листовой пластинки как показатель загрязнения окружающей среды / Т. Ю. Ветчинникова // Проблемы лесоведения и лесоводства. Вып. 63. – Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2005. – С. 194-196.
8. Захаров, В. М. Здоровье среды: практика оценки / В. М. Захаров, А. Т. Чубинишвили, С. Г. Дмитриев и др. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 320 с.
9. Кряжева, Н. Г. Анализ стабильности развития берёзы повислой в условиях химического загрязнения / Н. Г. Кряжева, Е. К. Чистякова, В. М. Захаров // Экология.– 1996. – №6. – С. 441-444.
10. Сидорская, В. А. Исследование индивидуальной изменчивости показателя стабильности развития березы повислой в условиях различного антропогенного воздействия / В. А. Сидорская, О. В. Яшина // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-техн. конф. Вып. 13. Брянск: БГИТА, 2006. – С. 242-244.
11. Марченко, С. И. Техника выполнения измерительных работ с использованием компьютера: учеб. пособие / С. И. Марченко. – Брянск: БГИТА, 2008. – 20 с.

Статья поступила в редакцию 10.07.09.

V. P. Ivanov, S. I. Marchenko, N. V. Akimenkov

SHEET PLATE SURFACE ASYMMETRY USE IN THE CAPACITY OF ENVIRONMENT ECOLOGICAL CONDITION INDICE

A method of natural eco-systems ecological condition determination in size of asymmetry of birch pendulous half leaves surface was offered. Approbation of this method was carried out in different parts of Bryansk and Orel regions.

Key words: *asymmetry, fluctuating asymmetry, environmental pollution, bioindication method, environmental quality.*

ИВАНОВ Валерий Павлович – доктор биологических наук, профессор Брянской государственной инженерно-технологической академии. Область научных интересов – экология, лесоведение, лесоводство. Автор 100 публикаций. E-mail: ivpinfo@mail.ru

МАРЧЕНКО Сергей Иванович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства, лесных культур и почвоведения Брянской государственной инженерно-технологической академии. Область научных интересов – экология, искусственное лесоразведение, лесное почвоведение. Автор 58 публикаций. E-mail: mars_bryansk@mail.ru

АКИМЕНКОВ Николай Вениаминович – кандидат географических наук, директор Регионального центра государственного экологического контроля и мониторинга по Брянской области. Область научных интересов – экология. Автор 20 публикаций. E-mail: rc@ipcitu.ru