

УДК 581. 522.5(476.2)

**СТАБИЛЬНОСТЬ РАЗВИТИЯ *BETULA PENDULA* ROTH.
В УРБОЭКОСИСТЕМАХ ГОМЕЛЬСКОГО ПОЛЕСЬЯ****В. В. Малащенко**

ассистент кафедры биологии

УО «Мозырский государственный педагогический университет им. И. П. Шамякина»

Л. В. Старшикова

кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии

УО «Мозырский государственный педагогический университет им. И. П. Шамякина»

Е. С. Гайдученко

ассистент кафедры биологии

УО «Мозырский государственный педагогический университет им. И. П. Шамякина»

*В статье приводятся данные об изменчивости морфологических параметров листовой пластинки березы повислой, произрастающей в городских экосистемах Гомельской области. Исследования проведены на пробных площадках пришкольных участков г.г. Гомеля, Мозыря, Рогачёва. По морфометрическим параметрам была рассчитана флуктуирующая асимметрия листовой пластинки. Показана возможность применения метода флуктуирующей асимметрии листовой пластинки *Betula pendula* в качестве фитоиндикационного исследования экологического состояния урбоэкосистем.*

Введение

За последние десятилетия юго-восток Белорусского Полесья подвергся антропогенной трансформации. Осушительная мелиорация, рост городов, развитие промышленности, загрязнение территории радионуклидами оказали отрицательное влияние на состояние природных и урбанизированных экосистем. Однако выявить степень воздействий антропогенных факторов на окружающую среду крайне сложно, т. к. в современной практике экологических исследований чрезвычайно редко встречаются случаи влияния лишь одного действующего фактора. При этом хорошо известно, что различные воздействия могут взаимно ослаблять действие друг друга, в разной степени обезвреживаться средой в процессе самоочищения, создавать новые, вторичные, факторы воздействия, усиливать воздействие друг друга на живые объекты.

Живые организмы несут наибольшее количество информации об окружающей среде обитания, формируя ответ на весь комплекс присутствующих воздействий, а не на каждое из них в отдельности. Следовательно, для объективного определения качества среды необходима интегральная характеристика ее состояния. Реакция живого организма позволяет оценить антропогенное воздействие на среду обитания в показателях, имеющих биологический смысл [1]–[4].

Одним из перспективных подходов интегральной биоиндикационной характеристики качества среды является оценка состояния живых организмов по стабильности развития (гомеостазу развития). Снижение эффективности данного процесса приводит к появлению незначительных, ненаправленных отклонений от нормального строения различных морфологических признаков, обусловленных нарушениями развития. Оценить такие изменения можно на основании анализа уровня флуктуирующей асимметрии [5]–[7].

Среди биоиндикаторов наиболее удобны растения – основные продуценты, которые находятся на границе двух сред, ведут прикрепленный образ жизни, доступны и удобны в сборе материала. Для биоиндикационной характеристики больших территорий преимущественно используют древесные растения, травянистые растения в большей степени отражают микробиотопические условия [3].

Берёза повислая (*Betula pendula* Roth.) – массовый и распространенный вид, достаточно давно и успешно использующийся как вид-биоиндикатор качества среды. Береза входит в состав разнообразных биотопов (экосистем), ареал *B. pendula* включает степные и лесостепные зоны различных географических зон; имеет четкие и удобные хорошо учитываемые признаки [8], [9].

При этом использование березы в качестве вида-биоиндикатора полностью отражает комплекс факторов наземных экосистем.

Целью работы явилось определение стабильности развития *B. pendula* для оценки состояния окружающей среды урбанизированных ландшафтов Гомельской области. Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Проведение сравнительного анализа морфометрических показателей листовой пластинки *B. pendula* территорий г. Гомеля, Мозыря, Рогачёва.

2. Определение достоверности отличий величины флуктуирующей асимметрии листовой пластинки *B. pendula* пробных площадок в сравнении с контролем.

Материалы и методы исследований

Исследования изменчивости морфологических показателей листовой пластинки *B. pendula* Roth. проводили по методике В. М. Захарова [3] на пробных площадках (рисунки 1, 2, 3):

- пришкольных участках гимназии № 14, средних школ №№ 19, 27, 62, 67 г. Гомеля, а также на территории у ОАО ГЛЗ «Центролит»;
- пришкольных участках средних школ №№ 1, 2, 3, 4, 5 г. Рогачёва;
- пришкольных участках средних школ №№ 1, 7, 8, 9, 11, 12 г. Мозыря



Рисунок 1 – Карта г. Гомеля с обозначением пробных площадок

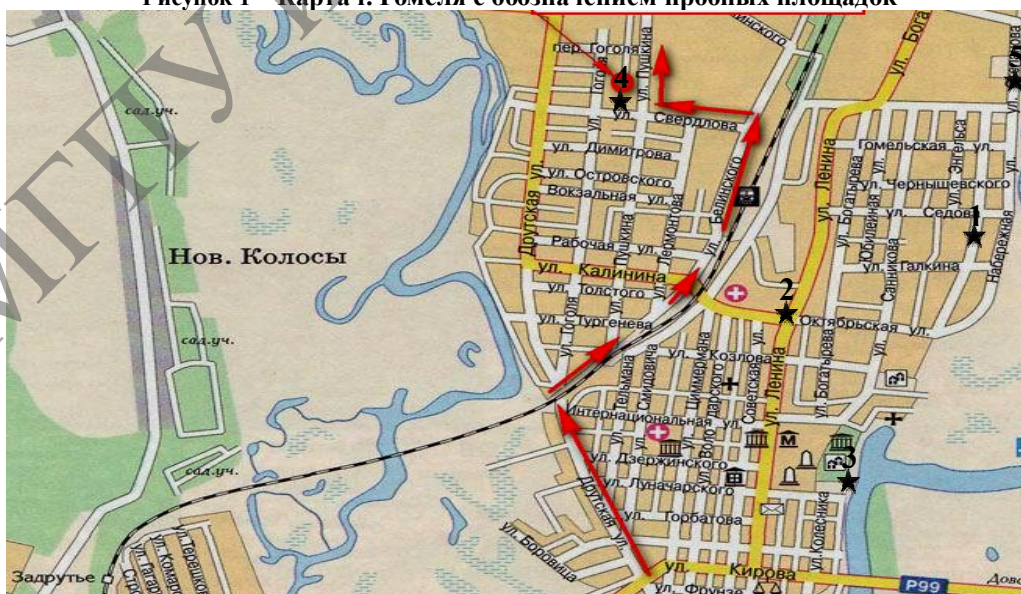


Рисунок 2 – Карта г. Рогачёва с обозначением пробных площадок



Рисунок 3 – Карта г. Мозыря с обозначением пробных площадок

Пришкольные участки располагались в городских кварталах с разной степенью техногенной нагрузки.

Территория у ОАО ГЛЗ «Центролит» находится в районе с высокой степенью техногенной нагрузки.

Рекреационная территория в 12 км от г. Рогачёва, расположенная в районе санатория «Приднепровский», взята в качестве контрольного объекта исследования.

Таким образом, всего было исследовано 18 площадок.

Наименование пробных площадок, характеристика окружающей среды, объектов, оказывающих воздействие на исследуемые пробные площадки, представлены в таблице 1.

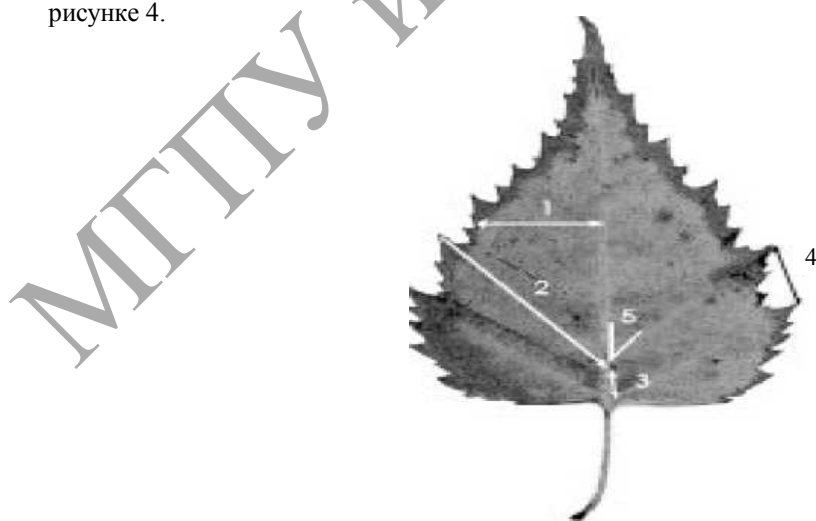
Таблица 1 – Характеристика окружающей среды пробных площадок

| Пробная площадка | | Характеристика окружающей среды и объектов техногенного воздействия |
|------------------|-------------------|--|
| № п/п | Наименование | |
| 1 | 2 | 3 |
| <i>г. Гомель</i> | | |
| 1 | Гимназия № 14 | Две автостоянки, железнодорожная магистраль, автозаправка, хлебозавод в 80–100 м от школы, единичные древесные насаждения. |
| 2 | СШ № 19 | В 40 м от школы автотрасса, железнодорожное полотно, завод измерительных приборов, ТЭЦ-1, шиномонтаж, в 100 метрах автомойка. |
| 3 | СШ № 27 | Объездная автотрасса по улице Кирова, в 100 м полотно железной дороги, железнодорожное депо, автомойка, авторемонтный завод. Район исследования плотно застроен жилыми домами, зеленая зона располагается в 100 м. |
| 4 | СШ № 62 | Автоматрираль М-10 располагается в 100 м от школы, плотная жилая застройка, в 25 м посадка хвойных деревьев. Промышленных объектов нет. |
| 5 | СШ № 67 | Школа в центре спального района, со всех сторон окружена жилыми домами; автомагистрали, промышленные предприятия отсутствуют. |
| 6 | ОАО ГЛЗ Центролит | Площадка в 50 м от ОАО ГЛЗ «Центролит», объездная автотрасса, широкополосная автомагистраль. |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 |
|-------------------|----------|--|
| <i>г. Мозырь</i> | | |
| 7 | СШ № 1 | Район жилых застроек, в 100 м односторонняя дорога местного значения, в 400 м швейная фабрика «Надек», на участке густые посадки деревьев. |
| 8 | СШ № 7 | Автотрасса местного значения с двухсторонним движением, в 100 м от школы гаражный кооператив, на пришкольном участке единичные посадки деревьев. |
| 9 | СШ № 8 | Вдоль школы проходит двухполосная городская автодорога, с другой стороны – гаражный кооператив, школу от автомагистрали отделяют посадки деревьев. |
| 10 | СШ № 9 | Городская автомагистраль с плотным транспортным потоком, в 50 м шиномонтаж, автостоянка, на пришкольном участке густые посадки деревьев. |
| 11 | СШ № 11 | Вдоль территории школы автодорога, в 100 м городская автотрасса, две остановки. Территория района застроена жилыми многоэтажными домами. |
| 12 | СШ № 12 | Улица Интернациональная – кольцевая городская автомагистраль с плотным транспортным потоком. Территория района густо заселена, в 50 м автостоянка на 430 автомобилей. |
| <i>г. Рогачёв</i> | | |
| 13 | СШ № 1 | Спальный район, на пришкольном участке густые посадки деревьев. Промышленные предприятия отсутствуют. |
| 14 | СШ № 2 | Три остановки автотранспорта, автостоянка, пять автомагистралей; на пришкольном участке единичные посадки деревьев. |
| 15 | СШ № 3 | В 100 м располагается трасса на Бобруйск, Минск, Жлобин. ОАО «Молочноконсервный комбинат», шиномонтаж, в 200 м располагается автостоянка № 9 ОАО «Гомельоблавоттранс», единичные посадки деревьев. |
| 16 | СШ № 4 | Автодорога местного значения, три остановки автотранспорта, вокруг и на пришкольном участке обилие древесных насаждений. |
| 17 | СШ № 5 | Автостоянка, гаражи, в 300 м ОАО «Рогачёвский завод «Диaproектор»». |
| 18 | Контроль | Территория санатория «Приднепровский» в 12 км от города, лес в 500 м, на берегу р. Днепр. Источники техногенного загрязнения отсутствуют, функциональный и личный автотранспорт. |

Схема определения морфометрических показателей листа *V. pendula* представлена на рисунке 4.



1 – ширина половинки листа; 2 – длина второй от основания листа жилки второго порядка; 3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; 4 – расстояние между концами этих жилок; 5 – угол между главной и второй от основания листа жилкой второго порядка

Рисунок 4 – Схема определения морфометрических признаков листа *V. pendula*

Результаты морфометрических измерений обрабатывали статистически по программе MS Excel, Statistica 6.0 [11].

Результаты исследований и их обсуждение

Морфометрические измерения осуществляли в камеральных условиях в порядке действий, определяемых методикой В. М. Захарова [3].

Морфометрическим анализом исследовано 1800 образцов листьев по пяти признакам, билатерально. Наибольшие флуктуации листовой пластинки характерны для пробных площадок г. Мозыря (min-max, в мм): по первому признаку – 16,75–27,55; по второму признаку – 28,95–44,25; по третьему – 5,05–7,05; по четвертому – 10,30–12,00; по пятому – 33,35–42,40. В остальных случаях указанные показатели составили 17,22–21,29 по первому признаку; 29,16–33,04 по второму признаку; 5,64–7,40 по третьему признаку; 9,63–11,43 по четвертому признаку; 36,15–39,36 по пятому признаку. На основании полученных данных рассчитывали интегральный показатель флуктуирующей асимметрии и стабильность развития березы по пятибалльной шкале по В. М. Захарову [3].

Интегральные показатели флуктуирующей асимметрии, оценка в баллах стабильности развития *B. pendula* представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Интегральный показатель флуктуирующей асимметрии, оценка в баллах стабильности развития *B. pendula*

| № пробной площадки | Наименование исследуемого участка | Показатели стабильности развития <i>B. pendula</i> | |
|--------------------|-----------------------------------|---|-----------------|
| | | Уровень флуктуирующей асимметрии листовой пластинки | Оценка в баллах |
| <i>г. Гомель</i> | | | |
| 1 | Гимназия 14 | 0,045±0,003 | III |
| 2 | СПШ 19 | 0,050±0,003 | IV |
| 3 | СПШ 27 | 0,046±0,002 | III |
| 4 | СПШ 62 | 0,043±0,002 | II |
| 5 | СПШ 67 | 0,043±0,003 | II |
| 6 | ОАО ГЛЗ Центролит | 0,057±0,003 | V |
| <i>г. Мозырь</i> | | | |
| 7 | СПШ 1 | 0,040±0,004 | I |
| 8 | СПШ 7 | 0,051±0,004 | IV |
| 9 | СПШ 8 | 0,047±0,006 | III |
| 10 | СПШ 9 | 0,044±0,006 | II |
| 11 | СПШ 11 | 0,048±0,009 | III |
| 12 | СПШ 12 | 0,052±0,006 | IV |
| <i>г. Погаёв</i> | | | |
| 13 | СПШ 1 | 0,043±0,002 | II |
| 14 | СПШ 2 | 0,050±0,003 | IV |
| 15 | СПШ 3 | 0,055±0,003 | V |
| 16 | СПШ 4 | 0,042±0,003 | II |
| 17 | СПШ 5 | 0,053±0,003 | IV |
| 18 | Контроль | 0,037±0,003 | I |

Как видно из данных таблицы 2, стабильность развития березы на пробных площадках характеризуются различными баллами. Причем, для г. Гомеля: на двух из шести пробных площадках стабильность развития березы соответствует II баллу (33,4%), что свидетельствует о благоприятных условиях окружающей среды. Две площадки характеризуются III баллом стабильности развития (33,4%). По одной пробной площадке соответствует IV и V баллу (по 16,6%). Данные площадки находятся на территориях со значительным и экстремальным техногенным загрязнением.

В г. Мозыре на площадках 7, 10 стабильность развития березы соответствует баллу I и II (по 16,6%) и благоприятным условиям среды.

Площадки 9, 11 соответствуют III баллу стабильности развития (33,4%), площадки 8, 12 – IV баллу (33,4%).

В г. Рогачёве площадка 18 является контрольной и соответствует I баллу (16,6%). Площадки 13 и 16 (40%) – II баллу; две площадки 14, 17 – IV баллу (40%); площадка 15 – V баллу (20%).

Значения интегрального показателя флуктуирующей асимметрии и оценка в баллах, ранжированные в порядке возрастания, представлены на диаграмме (рисунок 5).

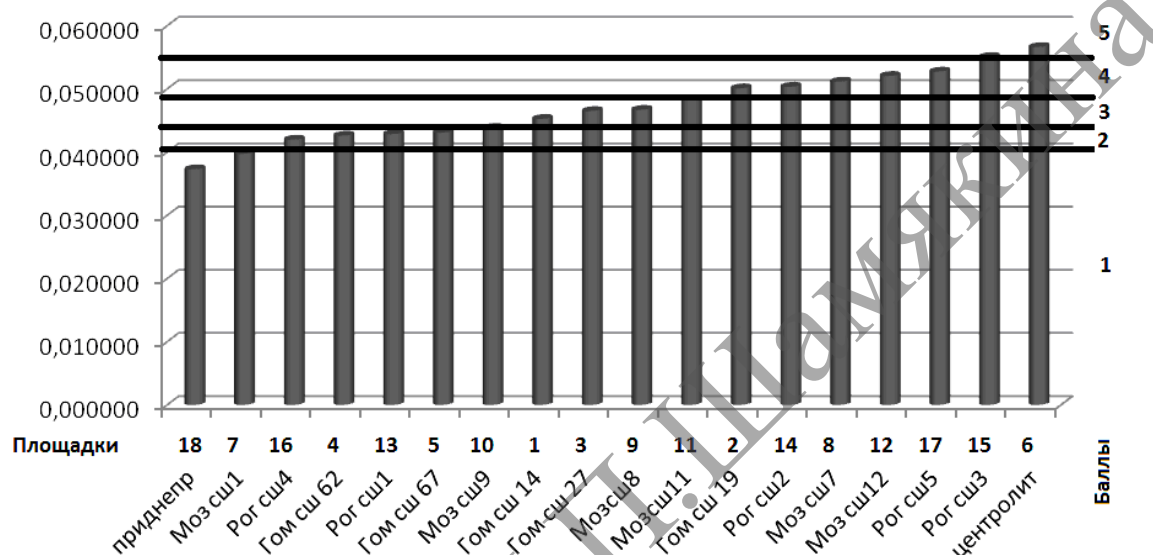


Рисунок 5 – Показатели флуктуирующей асимметрии листовой пластинки и стабильности развития березы (в баллах)

Как видно из представленной на рисунке 5 диаграммы, показатели величины флуктуирующей асимметрии березы на исследуемых пробных площадках разделяются на группы. Показатель флуктуирующей асимметрии листовой пластинки 0,040 является наименьшим и соответствует условной норме и баллу I – пятибалльной шкалы стабильности развития *B. pendula*. Аналогичные числовые показатели характерны для деревьев контрольной площадки и пробной площадки 7, расположенной в г. Мозыре на пришкольном участке СШ 1. Одинаковые показатели стабильности развития березы объясняются аналогичными условиями мест произрастания. Обе площадки находятся в районах с минимальной антропогенной нагрузкой: контроль – территория санатория Приднепровский. Пробная площадка 7 находится в городском квартале старой застройки, где отсутствуют промышленные предприятия, центральные автомагистрали и имеются многолетние посадки деревьев.

Во вторую группу по значению величины флуктуирующей асимметрии в пределах 0,040–0,044 объединены пять пробных площадок 4; 5; 10; 13; 16. Стабильность развития деревьев на данных площадках соответствует баллу II, что свидетельствует об отсутствии стрессирующих факторов и благополучном состоянии данных урбоэкосистем.

Показатели флуктуирующей асимметрии от 0,045 до 0,049 характерны для четырех площадок 1; 3; 9; 11, стабильность развития деревьев соответствует баллу III. Пробные площадки находятся на пришкольных участках школ г.г. Гомеля и Мозыря в городских кварталах вдоль автомагистралей, на расстоянии около 100 м проходит железная дорога, автомойка. Таким образом, пробные площадки, представляющие третью группу, подвержены антропогенной нагрузке в большей степени, чем предыдущие.

Стабильность развития на уровне IV и V баллов соответствуют деревья *B. pendula* пробных площадок 2; 8; 14 и 6; 12; 15; 17. Интегральный показатель флуктуирующей асимметрии 0,050–0,054 для площадки 2 г. Гомеля соответствует IV баллу. Данный городской район

испытывает значительную техногенную нагрузку: в 40 м от площадки 2 (СШ 19) проходит главная автомагистраль, в 150 м находится железная дорога, завод измерительных приборов, ТЭЦ-1, предприятия шиномонтажа, автомойки. Площадка 6 находится в 50 м от ОАО ГЛЗ «Центролит», в 60 м проходит автомагистраль. В соответствии с пятибалльной шкалой стабильности развития для данной площадки характерно сильное, экстремальное загрязнение. Аналогичные показатели характерны для участков №№ 14; 15; 17 г. Рогачёва и №№ 8 и 12 г. Мозыря.

Таким образом, использование интегрального показателя флуктуирующей асимметрии, рассчитанного на основе пластических показателей листовой пластинки, показывает значительные различия в стабильности развития *B. pendula* в зависимости от степени антропогенной нагрузки [10].

Достоверность отличий уровня флуктуирующей асимметрии листовой пластинки *B. pendula* пробных площадок сравнивали с контролем по следующим показателям: среднеквадратическое отклонение, средняя арифметическая.

Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Отличия уровня флуктуирующей асимметрии листовой пластинки *B. pendula* пробных площадок в сравнении с контролем

| № площадки | Наименование исследуемого участка | $X \pm m_x$ | σ |
|-------------------|-----------------------------------|-------------|----------|
| <i>г. Гомель</i> | | | |
| 1 | Гимназия 14 | 0,045±0,003 | 0,029 |
| 2 | СШ 19 | 0,050±0,003 | 0,033 |
| 3 | СШ 27 | 0,046±0,002 | 0,021 |
| 4 | СШ 62 | 0,043±0,002 | 0,024 |
| 5 | СШ 67 | 0,043±0,003 | 0,027 |
| 6 | ОАО ГЛЗ Центролит | 0,057±0,003 | 0,032 |
| <i>г. Мозырь</i> | | | |
| 7 | СШ 1 | 0,040±0,004 | 0,019 |
| 8 | СШ 7 | 0,051±0,004 | 0,018 |
| 9 | СШ 8 | 0,047±0,006 | 0,028 |
| 10 | СШ 9 | 0,044±0,006 | 0,028 |
| 11 | СШ 11 | 0,048±0,009 | 0,039 |
| 12 | СШ 12 | 0,052±0,006 | 0,028 |
| <i>г. Рогачёв</i> | | | |
| 13 | СШ 1 | 0,043±0,002 | 0,025 |
| 14 | СШ 2 | 0,050±0,003 | 0,027 |
| 15 | СШ 3 | 0,055±0,003 | 0,032 |
| 16 | СШ 4 | 0,042±0,003 | 0,026 |
| 17 | СШ 5 | 0,053±0,003 | 0,032 |
| 18 | Контроль | 0,037±0,003 | 0,017 |

Среднеквадратическое отклонение исследованных образцов находилось в пределах от 0,018 до 0,033, что говорит о незначительном разбросе значений от среднего арифметического для выборок и о сходстве показателей флуктуирующей асимметрии в конкретном стационаре. Отличия являются статистически достоверными при $p < 0,05$ [11].

В результате проведенных исследований доказано увеличение величины флуктуирующей асимметрии листовых пластинок березы повислой при усилении антропогенной нагрузки на урбоэкосистемы. Так, наименьший балл (I) стабильности развития (условная норма) отмечен в естественной природной экосистеме – контрольная площадка (Приднепровский). Максимальный балл V отмечен для площадки у завода «Центролит» (г. Гомель) и площадки 15 (СШ 3, г. Рогачёв), характеризующихся сильным, экстремальным загрязнением окружающей среды: развитой транспортной сетью, наличием промышленных предприятий. Выяснено, что величина флуктуирующей асимметрии листовых пластинок возрастает при усилении техногенного воздействия на урбанизированные экосистемы.

Полученные результаты характеризуются достоверными отличиями, подтвержденными расчетами среднеквадратического отклонения, средней арифметической.

Выводы

1. Установлена изменчивость исследованных пластических признаков листовой пластинки *Betula pendula* Roth. на 18 пробных площадках городов Гомель, Мозырь, Рогачёв.

Выявлено, что в условиях опыта морфологические признаки листовой пластинки (ширина половинки листа; длина второй от основания листа жилки второго порядка; расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; расстояние между концами этих жилок; угол между главной и второй от основания листа жилкой второго порядка) варьируют в пределах средних значений в сравнении с контролем (санаторий «Приднепровский»).

2. Достоверность отличий величины флуктуирующей асимметрии листовой пластинки *B. pendula* пробных площадок в сравнении с контролем подтверждена статистически. При этом девять из семнадцати пробных площадок имеют значимые отличия от контроля: в г. Рогачёве три пробных площадки – 14, 15, 17 (СШ №№ 2, 3, 5), в г. Мозыре – две площадки – 8, 12 (СШ №№ 7, 12), в г. Гомеле – четыре: 6, 1, 2, 3 (ОАО ГЛЗ Центролит, гимназия № 14, СШ №№ 19, 27), что свидетельствует о значительной антропогенной нагрузке в городских районах расположения школ.

3. Метод определения стабильности развития березы повислой по уровню флуктуирующей асимметрии является удобным и информативным для оценки состояния окружающей среды. Данный метод может быть рекомендован в качестве биоиндикационного при проведении экологической экспертизы проектов строительства школ; организации пришкольных участков; для проведения мониторинга состояния городских экосистем в школьных экологических исследованиях, а также в целях экологического образования и воспитания.

Литература

1. Захаров, В. М. Онтогенез и популяция (стабильность развития и популяционная изменчивость) / В. М. Захаров // Экология. – 2001. – № 3. – С. 177–191.
2. Захаров, В. М. Мониторинг здоровья среды на охраняемых природных территориях / В. М. Захаров, А. Т. Чубанишвили. – М. : Центр экологической политики России, 2001. – 148 с.
3. Здоровье среды : методика оценки / В. М. Захаров [и др.] ; под общ. ред. В. М. Захарова. – М. : Центр экологической политики России, 2000. – 68 с.
4. Бурдин, К. С. Основы биологического мониторинга / К. С. Бурдин. – М. : МГУ, 1958. – 158 с.
5. Waddington, C. H. The strategy of the genes / C. H. Waddington. – L. : Alien and Unwin, 1957. – 262 p.
6. Гелашвили, Д. Б. Структурные и биоиндикационные аспекты флуктуирующей асимметрии билатерально-асимметричных организмов / Д. Б. Гелашвили, Е. В. Чупрунов, Д. И. Иудин // Журнал общей биологии. – 2004. – Т. 65, № 5 – С. 433–441.
7. Константинов, Е. Л. Динамика показателя стабильности развития *Betula pendula* Roth. в 1996–1998 гг. на территории Калужской области / Е. Л. Константинов, А. Б. Стрельцов // Образование и здоровье: V Всерос. науч.-практич. конф. : тез. докл. – Калуга, 1999. – С. 61–62.
8. Кряжева, Н. Г. Анализ стабильности развития березы повислой в условиях химического загрязнения / Н. Г. Кряжева, Е. К. Чистякова, В. М. Захаров // Экология. – 1996. – № 6. – С. 441–444.
9. Захаров, В. М. Гомеостаз развития как общая характеристика состояния организма: скоррелированность морфологических и физиологических показателей у березы повислой / В. М. Захаров, Е. К. Чистякова, Н. Г. Кряжева // Доклады Академии Наук. Общая биология. – 1997. – Т. 357, № 26. – С. 1–3.
10. Кряжева, Н. Г. Мониторинг состояния природных популяций растений по гомеостазу развития / Н. Г. Кряжева, Е. К. Чистякова // Новые методы исследования популяций: Междунар. науч. практич. совещан.: рабоч. материалы. – М. : Ин-т биол. развит., 1995. – С. 8.
11. Фишер, Р. Э. Статистические методы для исследователей / Р. Э. Фишер. – М. : Госстатиздат, 1958. – 267 с.

Summary

The article examines the variability of morphological parameters of the leaf blade of *Betula pendula* growing in urban ecosystems of Gomel region. Investigations were carried out by morphometric analysis, by taking leaves on designated sites – school sites in Gomel, Mozyr, Rogachev. Fluctuations of leafs asymmetry was calculated in accordance with morphometric parameters. The possibility of applying the method of fluctuating asymmetry of the leaf blade of *Betula pendula* as phytoindicational study of the urban ecosystems' ecological state.

Поступила в редакцию 24.05.13