

Е. Г. Тюлькова, Л. П. Авдашкова

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА
ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ
В КАЧЕСТВЕ КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ
МОРФОМЕТРИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ
ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ
К ТЕХНОГЕННЫМ УСЛОВИЯМ**

73

Статья посвящена разработке методики количественной оценки величины адаптивных изменений древесной растительности, находящейся в окружении наиболее крупных промышленных предприятий Гомельского Полесья, на основе определения коэффициента флуктуирующей асимметрии листовых пластинок. При этом также обосновывается возможность использовать полученную величину в качестве критерия оценки адаптации древесной растительности на морфометрическом уровне к произрастанию в условиях техногенного воздействия среды.

The article is focused on the development of a methodology for quantitative assessment of adaptive changes magnitude in woody vegetation in the vicinity of the Gomel Polissye major industrial enterprises on the basis the of leaf blades fluctuating asymmetry index. This justifies the possibility of using this value as a criterion for assessing the woody vegetation adaptation at the morphometric level and further production under technogenic environmental impact.

Ключевые слова: древесная растительность, адаптивные изменения, флуктуирующая асимметрия, техногенные условия.

Keywords: woody vegetation, adaptive changes, fluctuating asymmetry, technogenic conditions.

Введение

Результаты исследований последствий техногенного влияния, характера и закономерностей адаптивных изменений растительности различных систематических групп имеют важное значение при изучении способностей растений произрастать в условиях урбанизированной среды. Известно, что у растений техногенное воздействие является причиной ускорения процессов старения; увеличения продолжительности активной вегетации; значительного сокращения периодов распускания почек, формирования генеративных структур, опыления, оплодотворения, листопада; торможения роста, в первую очередь, корней; снижения прироста деревьев по диаметру; уменьшения размеров листа [1–8]. Одним из эффективных критериев, характеризующих незначительные и ненаправленные отклонения отдельных морфометрических параметров от строгой билатеральной симметрии, выступает показатель флуктуирующей асимметрии листовой пластинки [9–11].



Флуктуирующая асимметрия листовой пластинки, с одной стороны, является результатом влияния техногенных воздействий, с другой — может быть использована для изучения характера и закономерностей адаптационных механизмов растений на морфометрическом уровне.

В связи с этим в качестве одного из критериев оценки адаптации растений к произрастанию в условиях техногенного воздействия с учетом морфометрических изменений предлагается использовать величину реализации адаптивного потенциала с учетом коэффициента флуктуирующей асимметрии листа. Такая величина может быть определена как произведение степени адаптивных изменений на их глубину. Поэтому целью работы стало определение коэффициента флуктуирующей асимметрии листовых пластинок отдельных представителей древесных растений, произрастающих в окружении наиболее крупных промышленных предприятий Гомельского Полесья, с последующей количественной оценкой общей величины адаптивных изменений на морфометрическом уровне с учетом параметров флуктуирующей асимметрии листа.

Материал и методы

Объектами для определения флуктуирующей асимметрии листовых пластинок были взяты клен остролистный *Acer platanoides L.*, тополь пирамидальный *Populus pyramidalis Roz.* и липа мелколистная *Tilia cordata Mill.* — как наиболее распространенные и часто встречающиеся представители древесных растений, находящихся в окружении промышленных предприятий Гомельского Полесья.

С целью проведения сравнительной оценки характера адаптивных изменений использовались селитебная зона и объездная дорога города Гомеля, а также фоновые условия. Фоновыми условиями стали парковая зона и территория национального парка «Припятский», свободная от влияния промышленной деятельности и интенсивного транспорта.

Отбор листьев проводили в августе 2017 г. с отдельно стоящих деревьев (не менее 3–5 в каждой точке) приблизительно одного возраста, высотой 1,5 м. С каждого опытного дерева с южной стороны кроны срывали по 20–25 неповрежденных максимально развитых листьев.

Изображения отсканированных листьев обрабатывались с помощью CorelDRAW X6. Для расчета коэффициента флуктуирующей асимметрии листовых пластинок исследуемых представителей древесных растений использовали отдельные морфометрические параметры, перечень которых будет рассмотрен при обсуждении полученных результатов.

Математическую обработку цифрового материала выполняли в Excel.

Результаты и их обсуждение

Для расчета коэффициента флуктуирующей асимметрии листовых пластинок исследуемых древесных растений и оценки их адаптивных изменений использовали следующие морфометрические параметры:

— у клена остролистного *Acer platanoides L.*: 1 — длину жилки первого порядка первой от основания листа; 2 — длину жилки первого порядка второй от основания листа; 3 — угол между первой и второй жилкой; 4 — угол между второй и центральной жилкой; 5 — угол между первой и центральной жилкой [9];



– у тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz.: 1 – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; 2 – расстояние между концами этих жилок; 3 – длину второй от основания листа жилки второго порядка; 4 – ширину половинки листа (посередине листовой пластинки); 5 – угол между центральной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка [3];

– у липы мелколистной *Tilia cordata* Mill.: 1 – расстояние между основанием первой жилки первого порядка и началом первого ветвления; 2 – расстояние между началом первого и второго ветвления первой жилки первого порядка; 3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; 4 – ширину половинки листа (посередине листовой пластинки); 5 – угол между центральной и первой жилками [12].

В процессе расчета коэффициента флуктуирующей асимметрии на предварительном этапе обработки данных по отдельным параметрам асимметрии листовых пластинок необходимо было убедиться во флуктуирующем характере асимметрии каждого признака и отсутствии или наличии направленной асимметрии и антисимметрии.

Для установления наличия или отсутствия направленной асимметрии была проверена гипотеза о равенстве показателя симметрии на левой и правой сторонах листовых пластинок с помощью критерия Колмогорова-Смирнова (табл. 1).

Таблица 1

Значения λ -статистики критерия Колмогорова-Смирнова для параметров асимметрии листовых пластинок исследуемых древесных растений

Место отбора образцов	Значение λ для параметра асимметрии листовых пластинок				
	1	2	3	4	5
<i>Клен остролистный Acer platanoides L.</i>					
Промышленная зона (город Гомель)	0,40–0,72	0,32–0,40	0,17–1,06	0,27–0,53	0,13–0,76
Промышленная зона (область)	0,32–0,68	0,34–0,80	0,33–1,06	0,13–0,71	0,27–1,09
Селитебная зона	0,39–0,52	0,52–0,59	0,26–0,64	0,45–0,72	0,19–0,26
Фоновые условия	0,19–0,32	0,45–0,52	0,45–0,57	0,39–1,08	0,38–0,52
<i>Тополь пирамидальный Populus pyramidalis Roz.</i>					
Промышленная зона (город Гомель)	0,21–0,66	0,53–0,85	0,37–1,06	0,26–0,71	0,26–0,53
Промышленная зона (область)	0,39–0,76	0,21–0,80	0,53–1,04	0,45–0,76	0,42–0,99
Селитебная зона	0,64–0,65	0,45–0,65	0,39–0,71	0,39–0,64	0,58–0,58
Фоновые условия	0,30–0,35	0,57–0,60	0,45–0,64	0,35–0,37	0,37–0,49
<i>Липа мелколистная Tilia cordata Mill.</i>					
Промышленная зона (город Гомель)	0,035–0,99	0,49–0,85	0,21–0,57	0,21–0,49	0,42–0,92
Промышленная зона (область)	0,21–0,78	0,26–0,40	0,27–0,52	0,26–0,83	0,48–0,73
Селитебная зона	0,68	0,41	0,68	0,41	0,68
Фоновые условия	0,60–0,64	0,42–0,45	0,35–0,45	0,37–0,49	0,37–1,06



В рамках проведенных исследований промышленная зона города Гомеля была представлена следующими наиболее крупными промышленными предприятиями: ОАО «Гомельский химический завод», ОАО «Гомельдрев», ОАО «Гомельстекло», ОАО «Гомельский завод литья и нормалей»; остальные территории Гомельского Полесья: ЗАО «Добрушский фарфоровый завод», ОАО «Белорусский металлургический завод» (г. Жлобин), ОАО «Мозырский НПЗ», «Белорусский газоперерабатывающий завод» (г. Речица), ОАО «СветлогорскХимволокно»; селитебная зона – частной и многоэтажной застройками.

Из данных таблицы 1 видно, что все полученные фактические значения λ меньше $\lambda_{\text{критич}}$, равного 1,36 с уровнем значимости 0,05. Поэтому можно сформулировать вывод об отсутствии направленных различий между левой и правой сторонами листовых пластинок древесных растений и предварительно определить коэффициент флуктуирующей асимметрии.

Для наличия или отсутствия антисимметрии определяли эксцесс коэффициента флуктуирующей асимметрии и проверяли его на значимость, поскольку антисимметрия листовой пластинки присутствует в том случае, если эксцесс отрицательный значимый (табл. 2).

Таблица 2

Значения эксцесса для выявления наличия или отсутствия антисимметрии листовых пластинок исследуемых древесных растений

Место отбора образцов	Значение эксцесса		
	Клен остролистный <i>Acer platanoides</i> L.	Тополь пирамидальный <i>Populus pyramidalis</i> Roz.	Липа мелколистная <i>Tilia cordata</i> Mill.
1	0,58	0,47	-0,43
2	0,28	-0,85	2,58
3	0,16	2,32	2,13
4	1,46	0,16	1,38
5	18,66	-0,54	–
6	0,17	2,11	–
7	1,23	2,68	-0,99
8	1,19	4,79	0,73
9	-0,20	0,61	-1,0
10	0,35	0,65	0,41
11	7,27	-0,99	–
12	17,09	0,57	4,58
13	3,91	4,47	4,24
14	3,02	2,10	-0,03

Примечание. Здесь и в таблицах 3 и 5: 1 – ОАО «Гомельский химический завод», 2 – ОАО «Гомельдрев», 3 – ОАО «Гомельстекло», 4 – ОАО «Гомельский завод литья и нормалей», 5 – объездная дорога, 6 – селитебная зона (частная застройка), 7 – селитебная зона (многоэтажная застройка), 8 – ЗАО «Добрушский фарфоровый завод», 9 – ОАО «Белорусский металлургический завод», 10 – ОАО «Мозырский НПЗ», 11 – «Белорусский газоперерабатывающий завод», 12 – ОАО «СветлогорскХимволокно», 13 – парк (на территории города Гомеля), 14 – фоновые условия; прочерк (–) – отсутствие образцов.



Результаты, представленные в таблице 2, свидетельствуют о том, что в большинстве случаев значения эксцесса положительны, а значит, антисимметрия отсутствует. Для восьми наблюдений эксцесс отрицателен, поэтому была проверена гипотеза о его значимости. Проверка подтвердила, что эксцесс равен нулю, и это также свидетельствует об отсутствии антисимметрии.

Поскольку направленной асимметрии и антисимметрии нет, то присутствует только флуктуирующая асимметрия, для которой был рассчитан коэффициент и которая свидетельствует о наличии адаптивных изменений в морфометрии листовых пластинок исследуемых древесных растений в техногенных условиях (табл. 3).

Таблица 3

Коэффициент флуктуирующей асимметрии листовых пластинок исследуемых древесных растений

Место отбора образцов	Коэффициент флуктуирующей асимметрии		
	Клен остролистный <i>Acer platanoides L.</i>	Тополь пирамидальный <i>Populus pyramidalis Roz.</i>	Липа мелколистная <i>Tilia cordata Mill.</i>
1	0,052±0,00023	0,072±0,00024	0,059±0,00015
2	0,058±0,00017	0,072±0,00018	0,076±0,00020
3	0,051±0,00015	0,077±0,00022	0,064±0,00019
4	0,043±0,00015	0,077±0,00022	0,049±0,00013
5	0,052±0,00023	0,084±0,00021	—
6	0,049±0,00015	0,074±0,00022	—
7	0,047±0,00018	0,073±0,00019	0,061±0,00014
8	0,040±0,00012	0,082±0,00021	0,064±0,00017
9	0,048±0,00012	0,079±0,00021	0,053±0,00012
10	0,052±0,00016	0,075±0,00020	0,069±0,00018
11	0,052±0,00018	0,077±0,00021	—
12	0,051±0,00022	0,079±0,00026	0,063±0,00019
13	0,040±0,00026	0,046±0,00022	0,045±0,00015
14	0,029±0,00010	0,043±0,00019	0,040±0,00014

Данные таблицы 3 свидетельствуют о том, диапазон варьирования морфометрических параметров асимметрии листа значительно возрастает по сравнению с фоновыми условиями и по этим признакам характеризует исследуемые древесные растения как чувствительные к техногенному загрязнению окружающей среды.

Следовательно, свойство растительных организмов адаптироваться к изменению условий окружающей среды обусловлено их способностью к изменениям морфологических структур, в частности параметров симметрии листовых пластинок. При этом адаптивная способ-



ность растений определяет уровень их устойчивости, которая характеризует возможность организмов осуществлять свои основные жизненные функции в неблагоприятных условиях внешней среды [13].

Адаптированные к токсическому воздействию индикаторные признаки сохраняют тем большую способность адекватно реагировать на техногенное загрязнение, чем больше они отличаются от фоновых условий. В связи с этим максимальные адаптивные изменения морфометрических параметров асимметрии листа клена остролистного *Acer platanoides* L. наблюдаются в районе ОАО «Гомельдрев»; тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz. — ЗАО «Добрушский фарфоровый завод» и объездной дороги города Гомеля; липы мелколистной *Tilia cordata* Mill. — ОАО «Гомельдрев» и ОАО «Мозырский НПЗ». Согласно исследованиям других авторов, коэффициент флуктуирующей асимметрии листа может принимать и более высокие значения в условиях урбанизированной среды (для клена остролистного *Acer platanoides* L. 0,082 — 0,094) [9].

Кроме того, на основе величины коэффициента флуктуирующей асимметрии листовых пластинок исследуемых древесных растений возможно оценить качество среды произрастания растений. При этом территорию национального парка «Припятский» можно характеризовать как благоприятную для развития всех исследуемых растений (вывод о степени загрязнения среды обитания сформулирован на основании пятибалльной шкалы оценки отклонений состояния организма от условной нормы [10; 11]). Парковая зона Гомеля благоприятна для роста и развития клена остролистного *Acer platanoides* L., тогда как тополь пирамидальный *Populus pyramidalis* Roz. и липа мелколистная *Tilia cordata* Mill. испытывают здесь влияние неблагоприятных факторов. Это является негативным моментом и требует проведения мероприятий, способствующих улучшения условий развития древесных растений.

Для селитебной зоны характерна тенденция, аналогичная парковой территории, что также впоследствии может отрицательно сказываться на общей экологической ситуации в городе.

Что касается промышленной зоны, то, как показывают результаты расчета коэффициента флуктуирующей асимметрии листовой пластинки, эта территория характеризуется загрязненными и неблагоприятными условиями для роста и развития растений. При этом максимально высокие значения коэффициента флуктуирующей асимметрии листовых пластинок клена остролистного *Acer platanoides* L. наблюдаются в районе ОАО «Гомельдрев»; тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz. — ЗАО «Добрушский фарфоровый завод» и объездной дороги города Гомеля; липы мелколистной *Tilia cordata* Mill. — ОАО «Гомельдрев» и ОАО «Мозырский НПЗ».

Кроме определения величины коэффициента флуктуирующей асимметрии интерес представляют сведения по удельному весу отдельных морфометрических параметров листовых пластинок исследуемых древесных растений в общем коэффициенте флуктуирующей асимметрии (табл. 4).

Таблица 4

Удельный вес асимметрии отдельных параметров листовых пластинок исследуемых древесных растений в общем коэффициенте флуктуирующей асимметрии

Место отбора образцов	Удельный вес параметра, %				
	1	2	3	4	5
Клен остролистный <i>Acer platanoides</i> L.					
Промышленная зона (город Гомель)	22,4	14,2	24,1	23,4	14,7
Промышленная зона (область)	21,3	14,2	23,6	24,5	15,3
Селитебная зона	20,6	13,5	24,9	25,5	15,4
Фоновые условия	13,5	13,4	24,6	28,6	17,7
Тополь пирамидальный <i>Populus pyramidalis</i> Roz.					
Промышленная зона (город Гомель)	30,0	27,6	11,2	13,0	18,2
Промышленная зона (область)	31,6	27,8	11,3	13,0	16,3
Селитебная зона	27,8	29,9	11,5	12,5	18,3
Фоновые условия	29,4	27,9	13,7	15,8	13,2
Липа мелколистная <i>Tilia cordata</i> Mill.					
Промышленная зона (город Гомель)	31,2	28,1	11,4	12,4	16,9
Промышленная зона (область)	27,6	26,3	13,5	12,6	18,5
Селитебная зона	32,1	24,0	13,2	12,6	18,1
Фоновые условия	24,4	26,7	15,1	16,3	17,3

79

В результате определения удельного веса асимметрии отдельных параметров в общем коэффициенте флуктуирующей асимметрии листовых пластинок установлено, что наибольший вклад в асимметрию листовых пластинок клена остролистного *Acer platanoides* L. вносит угол между второй и центральной жилкой; тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz. — расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; липы мелколистной *Tilia cordata* Mill. — расстояние между основанием первой жилки первого порядка и началом первого ветвления.

Итоговые значения величины адаптивных изменений с учетом коэффициента флуктуирующей асимметрии листа $АП_{фа}$ вычислены по формуле $АП_{фа} = C_{фа} \cdot G_{фа}$, где C — степень адаптивных изменений; G — глубина адаптивных изменений.

Степень характеризует частоту отклонений исследуемого параметра от фоновых значений, т.е. количество фактически адаптированного материала; глубина — насколько значительны эти отклонения по сравнению с фоновыми условиями.

Проверка на значимость асимметрии и эксцесса случайной величины X — коэффициента флуктуирующей асимметрии — позволяет от-



вергнуть предположение о нормальном распределении этой величины и выдвинуть гипотезу о ее логнормальном распределении, поскольку асимметрия и эксцесс для каждой из техногенных зон значительно отличаются от нуля.

Величина степени адаптивных изменений по коэффициенту флуктуирующей асимметрии ($C_{фа}$) равна площади фигуры, заключенной между графиками плотностей распределения техногенной и фоновой вероятностей. Поскольку преобразование натурального логарифма строго монотонно, то равенство значений функции распределения случайной величины X и ее натурального логарифма правомерно использовать при вычислении указанной площади.

Для определения глубины адаптивных изменений по коэффициенту флуктуирующей асимметрии ($\Gamma_{фа}$) необходимо сравнить интервалы наиболее вероятных значений показателя в техногенной зоне и в фоновых условиях.

Поскольку распределение показателя асимметрично, то в такой ситуации полагаться на среднее и стандартное отклонение нельзя. Для описания таких данных воспользуемся 5-й и 95-й процентилями в качестве границ интервалов. Глубину ($\Gamma_{фа}$) рассчитываем как разность единицы и отношения среднего интервала изменений показателя в фоновых условиях к среднему тех значений показателя в техногенных зонах, которые не попали в интервал фоновых значений.

Результаты определения величины адаптивных изменений с учетом коэффициента флуктуирующей асимметрии представлены в таблице 5.

Таблица 5

**Значения величины общей оценки адаптивных изменений
лиственных пластинок исследуемых древесных растений**

Место отбора образцов	Итоговое значение показателя адаптивных изменений с учетом коэффициента флуктуирующей асимметрии		
	Клен остролиственный <i>Acer platanoides</i> L.	Тополь пирамидальный <i>Populus pyramidalis</i> Roz.	Липа мелколистная <i>Tilia cordata</i> Mill.
1	0,44	0,33	0,37
2	0,35	0,32	0,53
3	0,34	0,34	0,38
4	0,25	0,35	0,25
5	0,36	0,43	—
6	0,32	0,31	—
7	0,13	0,37	0,42
8	0,18	0,42	0,38
9	0,29	0,37	0,35
10	0,33	0,36	0,47
11	0,20	0,33	—
12	0,39	0,34	0,34
13	0,37	0,03	0,15



При интерпретации полученных значений общей оценки адаптивных изменений с учетом коэффициента флуктуирующей асимметрии следует учитывать, что его значение в общем случае изменяется от 0 до 1.

В результате количественной оценки общего показателя адаптивных изменений листовых пластинок исследуемых древесных растений установлено, что по сравнению с фоновыми условиями максимальная реализация адаптивного потенциала с учетом морфометрических параметров флуктуирующей асимметрии листа клена остролистного *Acer platanoides* L. наблюдается при произрастании в окружении ОАО «Гомельский химический завод»; тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz. — вблизи объездной дороги города Гомеля и ЗАО «Добрушский фарфоровый завод»; липы мелколистной *Tilia cordata* Mill. — ОАО «Гомельдрев» и ОАО «Мозырский НПЗ». Незначительные адаптационные процессы характерны для листовых пластинок в окружении ЗАО «Добрушский фарфоровый завод» (для клена остролистного *Acer platanoides* L.) и на территории городского парка (для тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz. и липы мелколистной *Tilia cordata* Mill.), что, возможно, свидетельствует о наиболее благоприятных условиях для роста и развития исследованных растений.

Заключение

Показатель флуктуирующей асимметрии как интегральный показатель стабильности развития организма, с одной стороны, может быть использован в качестве критерия, который свидетельствует об отклонениях морфометрических параметров листа от билатеральной симметрии под влиянием техногенных воздействий. С другой стороны, такие изменения морфологического характера могут характеризовать адаптационные механизмы, проявляющиеся у древесных форм при произрастании в техногенных условиях.

В результате проведенных исследований на территории Гомельского Полесья выявлены зоны с максимальной и незначительной величиной реализации адаптивных изменений морфометрических параметров флуктуирующей асимметрии листа клена остролистного *Acer platanoides* L., тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz. и липы мелколистной *Tilia cordata* Mill., что имеет важное значение при изучении качества среды для роста и развития древесных растений.

Список литературы

1. Банарь С.А. Экобиоиндикационная оценка изменений городской среды под влиянием техногенеза : автореф. ... канд. геогр. наук. Спб., 2005.
2. Мандра Ю.А. Растения как индикаторы экологического состояния среды курортного региона (на примере города Кисловодска) : автореф. ... канд. биол. наук. М., 2010.
3. Латанов А.А. Эколого-физиологическая оценка состояния древесных растений и насаждений в зависимости от антропогенной нагрузки в городе Одинцово : автореф. ... канд. биол. наук. М., 2012.



4. Ведерников К.Е. Биоэкологические особенности древесных растений в насаждениях урбанозкосистем : автореф. ... канд. биол. наук. Тольятти, 2008.
5. Моценикова Н.Б. Оценка экологического состояния зеленых насаждений Санкт-Петербурга : автореф. ... канд. биол. наук. М., 2011.
6. Савинцева Л.С. Экологический анализ адаптивных механизмов растений в урбанизированной среде : автореф. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2015.
7. Воскресенский В.С. Экологические особенности древесных растений в урбанизированной среде : автореф. ... канд. биол. наук. Казань, 2011.
8. Леонова Ю.М. Антропогенная трансформация растительности в зоне влияния промышленных объектов г. Павлодара : автореф. ... канд. биол. наук. Алма-Ата, 2010.
9. Гаврикова В.С. Динамика флуктуирующей асимметрии листьев *Acer platanoides* L. урбанизированных территорий // Экология и ноосферология. 2014. Вып. 25. С. 34 – 44.
10. Хикматуллина Г.Р. Сравнение морфологических признаков листа *Betula pendula* в условиях урбаносреды // Вестник Удмуртского ун-та. 2013. Вып. 2. С. 48 – 56.
11. Лозинская О.В. Сравнительный анализ состояния ценопопуляций березы повислой (*Betula pendula* Roth.), произрастающей в условиях с разным уровнем антропогенной нагрузки // Экологический вестник. 2013. №4(26). С. 103 – 108.
12. Агафонова А.Л. Влияние экологических факторов на рост и развитие липы мелколистной в г. Екатеринбурге : автореф. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2011.
13. Луцишин Е.Г., Тесленко И.К. Видовая специфичность адаптации древесных растений техногенно трансформированных урбоэдафотопов // Ecology and noospherology. 2015. Vol. 26, №3 – 4. P. 42 – 61.

Об авторах

Елена Григорьевна Тюлькова – канд. биол. наук, доц., Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации, Беларусь.

E-mail: tut-3@mail.ru

Людмила Павловна Авдашкова – канд. физ.-мат. наук, доц., Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации, Беларусь.

E-mail: avdashkova@mail.ru

The authors

Elena Tulkova, Associate Professor, Belarusian Trade and Economics University of Consumer Cooperatives, Republic of Belarus.

E-mail: tut-3@mail.ru

Ludmila Avdashkova, Associate Professor, Belarusian Trade and Economics University of Consumer Cooperatives, Republic of Belarus.

E-mail: avdashkova@mail.ru