

## ОХРАНА ТРУДА. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 504.054:574.3:630\*176.321.3

**А. М. Бердов**

### БИОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПРИГОРОДНЫХ НАСАЖДЕНИЙ Г. ЛЮДИНОВО ПО ВАРИАЦИИ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ ЛИСТЬЕВ БЕРЁЗЫ ПОВИСЛОЙ

В статье рассмотрены итоги биоиндикационной оценки пригородных насаждений г. Людиново. Предложен вариант зонирования территории по величине флуктуирующей асимметрии.

В последнее время большое внимание уделяется поиску информативных, интегральных, недорогих и быстрых способов индикации состояния окружающей среды. Особый интерес вызывают методы морфоструктурной биоиндикации, а в частности приёмы, позволяющие использовать флуктуирующую асимметрию (ФА) билатеральных признаков биологических объектов.

Сложная физиологическая система буферных гомеостатических механизмов регулирует развитие организмов, поддерживая оптимальное протекание процессов развития. Под воздействием неблагоприятных условий эти механизмы могут быть нарушены, что приводит к изменению развития. Морфогенетический подход позволяет оценить стабильность развития по величине показателей флуктуирующей асимметрии как незначительных отклонений от совершенной билатеральной симметрии. Уровень таких отклонений от нормы оказывается минимальным лишь при оптимальных условиях и неспецифично возрастает при стрессовых воздействиях.

Данный подход позволяет использовать для исследований организмы различной таксономической принадлежности [3]. На основе анализа стабильности развития

организована региональная система биологического мониторинга в Калужской области РФ [11]. Для диагностики состояния урбанизированных экосистем чаще используют изучение вариации ФА листьев древесных растений.

Учет всех причин негативного воздействия весьма сложен. Чаще всего рассматриваются антропогенные причины различной этиологии [1, 2, 4, 10].

Нами изучалась ФА листьев берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.). Исследования проводились в насаждениях зелёной зоны г. Людиново Калужской области. На пригородные леса г. Людиново действует совокупность неблагоприятных факторов антропогенного происхождения. Наиболее сильными являются воздействия аэрополлютантов от промышленного производства и транспорта [7, 13].

Исследования были проведены по методике В. М. Захарова [3] на территории Людиновского лесничества. Учётные пункты (УП) располагались на разном удалении от источников промышленных выбросов и черты города с учётом ветрового режима малого вегетационного периода. Во избежание влияния абиотических факторов на величину ФА

УП заложены в однородных типах лесорастительных условий ( $C_2 \dots C_3$ ), в группе сложных типов леса. Насаждения на УП имели следующие средние таксационные характеристики: возраст – 49...80 лет, полнота – 0,5...0,9 и класс бонитета – 1...1<sup>а</sup>. По состоянию деревьев определялась средневзвешенная категория состояния насаждений (СКС), которая варьировала в диапазоне 1...2,5.

На каждом УП отбирали не менее 100 листьев (по 10 шт. с 10 деревьев). У каждой листовой пластинки выполнялись измерения с левой и правой стороны листа: ширины половинок, длины жилки вто-

рого порядка – второй от основания, расстояния между основаниями первой и второй жилками второго порядка, между концами этих же жилок, угла между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка.

Для каждого признака вычисляли относительные величины асимметрии, затем считали средний показатель асимметрии  $M_x$  и ошибку среднего  $m_{M_x}$  для каждого листа. Оценка ФА популяции берёзы выражалась средней арифметической по всем моделям на учётном пункте (табл. 1).

Табл. 1. Сводная ведомость по обработке данных с УП

Номер учётного пункта	Средневзвешенная категория состояния	Количество наблюдений	$M_x \pm m_{M_x}$	Вариация признака $S_x, \%$	Точность опыта $P_x, \%$	Величина признака	
						min	max
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,4	118	0,0484 ± 0,0022	49,18	4,53	0,01	0,1071
2	1,2	110	0,0436 ± 0,0016	38,85	3,7	0,0139	0,0834
3	1	106	0,0368 ± 0,0015	42,18	4,1	0,0131	0,0714
4	1,4	112	0,0449 ± 0,0017	40,61	3,84	0,0143	0,0849
5	1,35	102	0,0402 ± 0,0016	39,64	3,92	0,0125	0,0869
6	1,2	122	0,0426 ± 0,002	50,67	4,59	0,0108	0,103
7	1,4	110	0,042 ± 0,0017	41,61	3,97	0,0117	0,0831
8	1,55	124	0,0434 ± 0,0018	47,01	4,22	0,0139	0,0991
9	1,05	112	0,0469 ± 0,0022	48,97	4,63	0,0132	0,1029
10	1,1	132	0,04 ± 0,0016	47,12	4,1	0,0145	0,089
11	1,6	118	0,0381 ± 0,0015	44,12	4,06	0,0072	0,0836
12	1,25	124	0,0429 ± 0,0019	48,75	4,38	0,0093	0,0901
13	2	114	0,0476 ± 0,0022	49,69	4,65	0,0078	0,1045
14	1,3	120	0,0429 ± 0,0019	49,31	4,5	0,0144	0,1023
15	1,6	124	0,0478 ± 0,0025	57,75	5,19	0,0064	0,1212
16	2,5	106	0,0497 ± 0,0023	47,28	4,59	0,0159	0,1171
17	1,1	122	0,0417 ± 0,0018	47,12	4,27	0,0167	0,0974
18	1,3	126	0,0445 ± 0,0021	53,05	4,73	0,0115	0,11
19	1,9	128	0,046 ± 0,0022	53,88	4,76	0,0071	0,1275
20	1,2	114	0,0415 ± 0,002	50,6	4,74	0,0087	0,0909
21	1,35	108	0,0452 ± 0,0022	50,07	4,82	0,0124	0,1017

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
22	2,1	104	0,0469 ± 0,0028	60,67	5,95	0,0088	0,1256
23	2	102	0,0467 ± 0,002	43,14	4,27	0,0128	0,0952
24	1,05	108	0,0415 ± 0,0019	48,8	4,7	0,0116	0,0882
25	1,25	108	0,0448 ± 0,0025	57,72	5,55	0,0088	0,1196
26	1,25	112	0,0467 ± 0,0023	51,25	4,84	0,0039	0,1084
27	1	118	0,0389 ± 0,0016	43,56	4,01	0,0116	0,0864
28	1,25	112	0,041 ± 0,0015	39,85	3,77	0,0175	0,0909
29	1,1	102	0,0409 ± 0,0017	42,83	4,24	0,0108	0,0851
30	1,05	116	0,04 ± 0,0016	42,94	3,99	0,0089	0,0813
31	1,15	112	0,0448 ± 0,002	48,2	4,55	0,0112	0,1156
32	1,7	114	0,0486 ± 0,0024	53,54	5,01	0,009	0,1265
33	1,4	108	0,0474 ± 0,0022	48,26	4,64	0,0115	0,1055
34	2,4	112	0,0493 ± 0,0025	54,08	5,11	0,009	0,1154
35	1,2	108	0,0424 ± 0,0021	52,01	5	0,0114	0,1025
36	1,5	116	0,0443 ± 0,002	48,22	4,48	0,008	0,1061
37	1,2	118	0,0417 ± 0,0022	56,49	5,2	0,0122	0,1094
38	2,1	104	0,0488 ± 0,002	41,31	4,05	0,0156	0,0948
39	1,35	104	0,0426 ± 0,0021	49,16	4,82	0,0107	0,1066
40	1,05	108	0,0417 ± 0,002	49,37	4,75	0,0125	0,095
41	1,9	128	0,0469 ± 0,0021	50,35	4,45	0,0098	0,1076
42	1	118	0,0395 ± 0,0017	46,64	4,29	0,0076	0,0769

Обработка данных выполнялась на компьютере с использованием специализированных программ с точностью измерения линейных параметров листа, зависящей от разрешения сканера ( $0,123 \pm 0,0030$ ) мм [6].

Результаты оценивали по пятибалльной шкале отклонений состояния организма от условной нормы [3].

В результате анализа данных выявлена взаимосвязь величины ФА с СКС насаждения (рис. 1).

Коэффициент корреляции между величиной показателя стабильности развития березы повислой и величиной СКС составляет:  $r = 0,712 \pm 0,1110$ . В связи с малым объемом выборки достоверность полученных данных дополнительно проверялась с

использованием преобразованного коэффициента корреляции. Достоверность величины преобразованного коэффициента корреляции  $t_z = 5,56$  ( $t_{0,99,9} = 3,55$ ) позволяет подтвердить ранее сделанный вывод о наличии связи между изучаемыми признаками.

Из уравнения табл. 1 следует, что с увеличением средней величины ФА по выборке коэффициент вариации возрастает, что, по всей видимости, связано с различной толерантностью к негативным воздействиям разных форм вида по типу коры. Так, у берёзы повислой принято выделять шесть форм, каждая из которых имеет свои пределы выносливости к действию различных экологиче-

ских факторов [9].

Чувствительность растений к загрязнению атмосферы количественно и качественно отличается от чувствительности человека (они являются более чувствительными). ВНИИЛМом, с учётом чувствительности растений, разработана систе-

ма экологических нормативов (ПДК – лес), позволяющая контролировать уровень допустимого воздействия на разные структурные элементы лесных экосистем, а также на экосистему в целом [5].

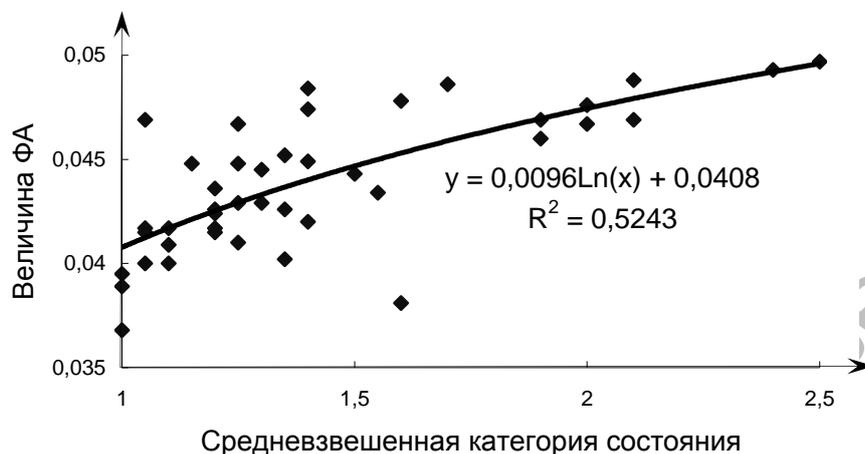


Рис. 1. Взаимосвязь величины ФА берёзы с СКС

Концентрация основных загрязнителей в районе исследования составляет: по  $\text{NO}_2$  – 0,05...0,6 максимально разовой ПДК; по  $\text{SO}_2$  – 0,04...0,3 максимально разовой ПДК; по взвешенным веществам – 0,03...0,3 максимально разовой ПДК [7]. Максимальное превышение среднесуточных значений показателя ПДК – лес (для хвойных пород) в районе работ составляет: по  $\text{SO}_2$  – 5 раз; по  $\text{NO}_2$  – 2,5 раза.

Анализируя имеющиеся данные, можно сказать, что при постоянном воздействии приведенных выше концентраций основных загрязняющих веществ в зоне максимального осаждения аэрополлютантов (5...20 высот труб) [12] насаждения испытывают значительное угнетение от воздействия промышленных выбросов. В эту зону целиком или частично входят насаждения следующих кварталов: 95...103, 107...109, 115 [7, 8].

С применением ГИС-технологий в программной среде Surfer 8 было проведено зонирование территории обследования по величине ФА с использованием пред-

ложенной в методике [3] шкалы. Зонирование производилось при помощи метода кригинга. По ФА выделено три зоны (рис. 2).

Зона максимального осаждения аэрополлютантов от основных загрязнителей в большей степени соответствует зоне умеренного уровня негативного изменения экологической среды, которая была выделена при зонировании территории по ФА. Зона умеренного негативного изменения экологической среды, расположенная в кв. 16, по всей видимости связана с негативным действием передвижных источников выбросов и обусловлена близостью автодороги областного значения 1Р68 Брянск – Киров с интенсивным движением. Расположение подобной зоны в кв. 110 и частично в кв. 121, 122 скорее всего связано с особенностями рельефа и движения приземных воздушных масс.

Различие между зонами, выделенными по величине ФА, достоверно на 99,9 % уровню значимости. Значения

параметров  $t$  по выделенным зонам составляют: I и II  $t_{\Phi} = 5,38$  ( $t_{st99,9\%} = 3,85$ ); II и III  $t_{\Phi} = 11,31$  ( $t_{st99,9\%} = 3,58$ ), что позволяет говорить о правомочности выделения зон.

Чётко коррелированной связи ФА с расстоянием до источников выбросов не выявлено, что, видимо, связано с действи-

ем дополнительных неучтенных факторов: рекреационной нагрузкой, воздействием передвижных источников выбросов, аддитивным и синергичным действием негативных факторов, особенностями рельефа местности.

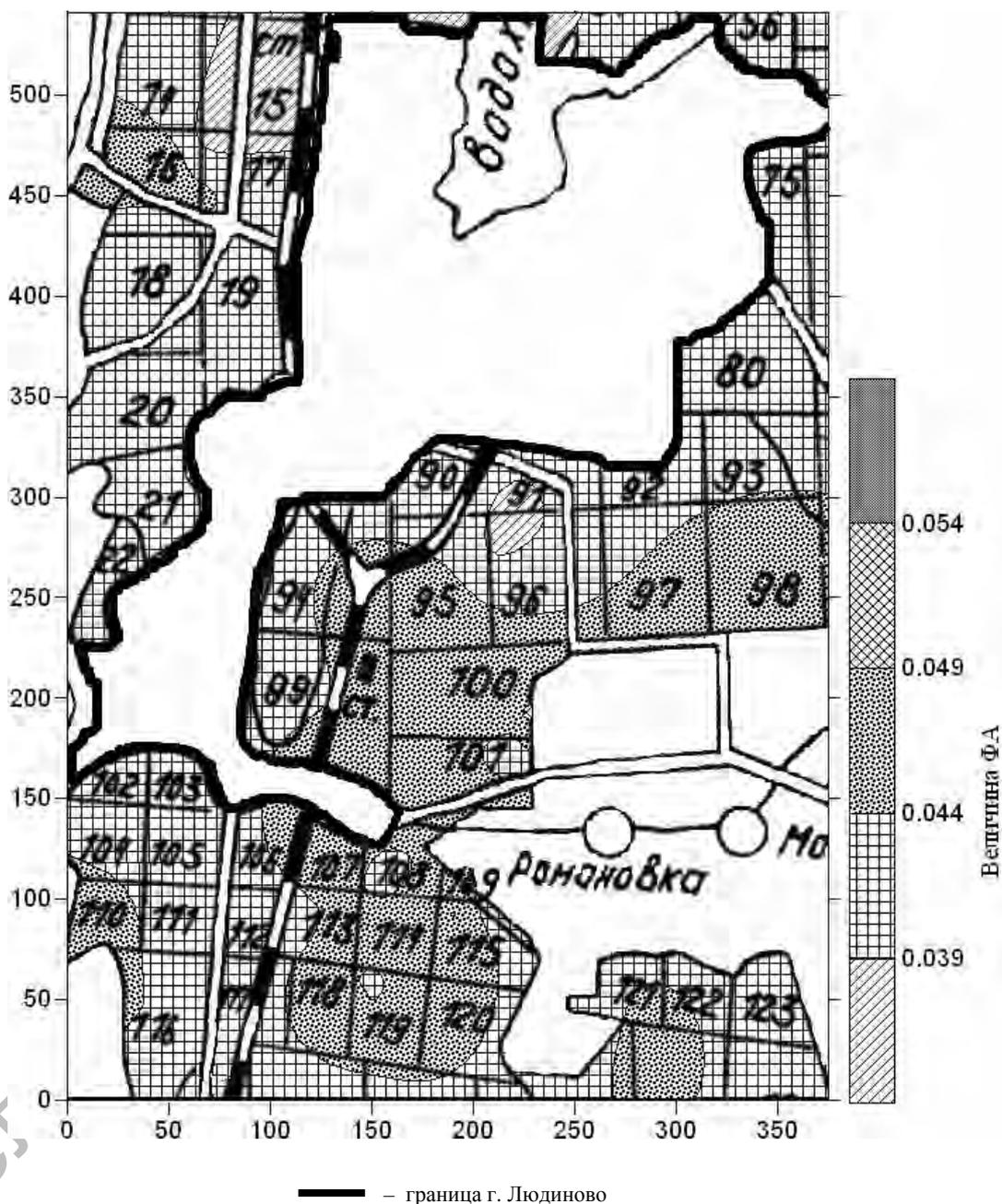


Рис. 2. Зонирование лесов пригородной территории г. Людиново по величине ФА

В среднем по району исследования показатель ФА равен  $0,044 \pm 0,0003$  ( $t_{Mx} = 138,05$ ), что соответствует второму баллу шкалы [3]. Это означает, что в целом обследованные пригородные насаждения испытывают слабое влияние неблагоприятных факторов. Другие статистики для большой выборочной совокупности соответственно равны:  $C_x = 50,1 \pm 0,58 \%$ ;  $t_C = 86,91$ ;  $P_x = 0,7 \%$ .

Общее распределение величины флуктуирующей асимметрии как явления, характерного для района исследования

(4784 наблюдения на УП 1...42 (рис. 3)), лучше всего описывается уравнением кривой Гамма. Различия теоретических и наблюдаемых частот по критерию Колмогорова-Смирнова незначительны (значение  $p = 0,1188$ ).

Функция распределения вероятностей для кривой Гамма выражается формулой

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma \alpha} x^{\alpha-1} \exp\left\{-\left(\frac{x}{\beta}\right)\right\} \quad x > 0. \quad (2)$$

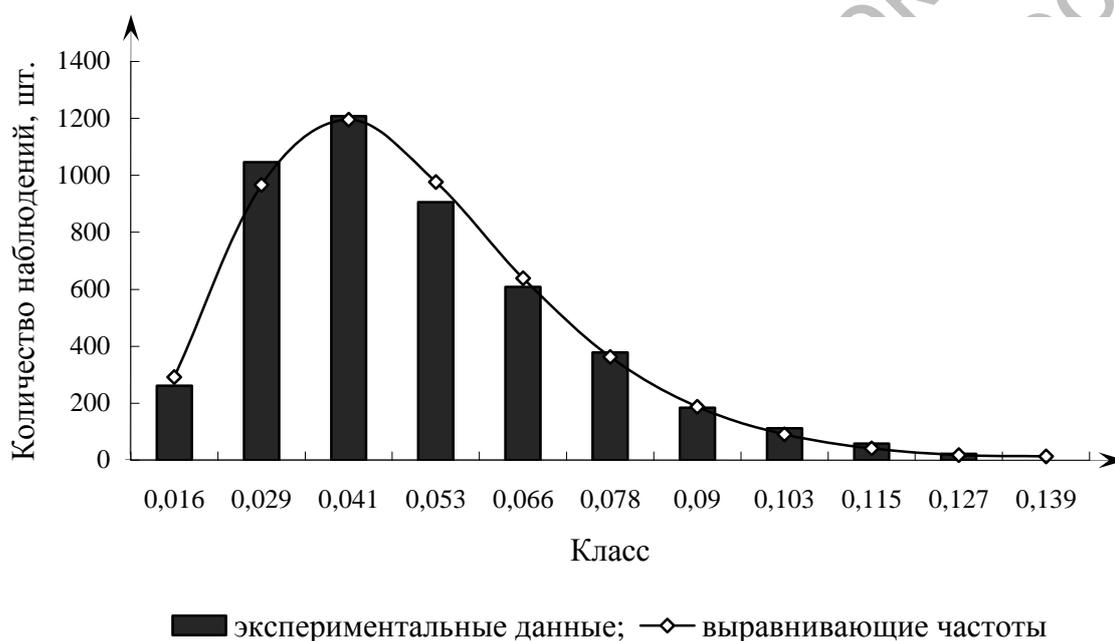


Рис. 3. Вариационный ряд величины ФА (УП 1...42)

Кривая характеризуется положительной достоверной асимметрией ( $A_s = 0,874 \pm 0,0354$ ;  $t_{As} = 24,67$ ) и эксцессом ( $E = 0,586 \pm 0,0708$ ;  $t_E = 8,27$ ).

В результате проделанной нами работы установлена достоверная прямая корреляция флуктуирующей асимметрии со средневзвешенной категорией санитарного состояния насаждения. На основании данных по флуктуирующей асимметрии произведено зонирование территории пригородных насаждений г. Людиново по степени негативного воздействия. Выяв-

лено ухудшение состояния обследуемых насаждений по градиенту усиления негативного воздействия городских промышленных и транспортных эмиссий в атмосфере.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ветчинникова, Т. Ю. Морфометрия листовой пластинки как показатель загрязнения окружающей среды / Т. Ю. Ветчинникова // Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. – Гомель : ИЛ НАН Беларуси, 2005. – Вып. 63. – С. 194–196.

2. Глазун, И. Н. Стабильность развития семенного потомства берёзы повислой в зоне отчуждения ЧАЭС на территории Брянской области / И. Н. Глазун, С. И. Марченко, И. А. Шепель // Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. – Гомель : ИЛ НАН Беларуси, 2007. – Вып. 67. – С. 582–585.

3. Захаров, В. М. Здоровье среды: методика оценки / В. М. Захаров, А. С. Баранов, В. И. Борисов. – М. : Центр экологической политики России, 2000. – 68 с.

4. 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.

5. Мартынюк, А. А. Воздействие выбросов промышленных предприятий на леса и его экологическое нормирование / А. А. Мартынюк, В. Щепаченко. – М., 1996. – 42 с.

6. Марченко, С. И. Эстетика и оптимизация природопользования : метод. указания по НИИРС для студентов лесохозяйственных специальностей очного и заочного обучения / С. И. Марченко. – Брянск, 2005. – 15 с.

7. Проект нормативов предельно допустимых выбросов (Сводный том ПДВ) г. Людиново / Под ред. В. Н. Герасимова. – Людиново : Филиал ЦЛАТИ по Калужской области, 2007. – 87 с.

8. Проект организации и ведения лесного хозяйства Людиновского лесхоза Калужской об-

ласти / Западное лесоустроительное предприятие. – Брянск, 2004.

9. Сидоров, В. А. Формовое разнообразие берёзовых насаждений Брянской области и поражённость их бактериальной водянкой / В. А. Сидоров // Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. – Гомель : ИЛ НАН Беларуси, 2007. – Вып. 67. – С. 608–609.

10. Солдатова, В. Ю. Флуктуирующая асимметрия берёзы плосколистной (*Betula platypholia* Sukacz.) как критерий качества городской среды и территорий, подверженных антропогенному воздействию [Электронный ресурс] : на примере Якутии : дис. ... канд. биол. наук / В. Ю. Солдатова – Якутск : РГБ, 2007 (Из фондов Российской Государственной Библиотеки).

11. Стрельцов, А. Б. Региональная система биологического мониторинга на основе анализа стабильности развития / А. Б. Стрельцов, В. М. Захаров // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2003. – № 4–5.

12. Загрязнение воздуха и жизнь растений / Под ред. М. Трешоу. – Л. : Гидрометиздат, 1988. – 536 с.

13. Доклад об использовании природных (минерально-сырьевых, водных, лесных) ресурсов и состоянии окружающей природной среды на территории Калужской области в 2005 г. / Под ред. О. О. Разумовского. – Калуга, 2006. – 296 с.

Брянская государственная инженерно-технологическая академия  
Материал поступил 21.12.2008

**A. M. Berdov**

**Bioindicative rating of green zone  
plantation of ludinovo town using  
fluctuating asymmetry of weeping birch**

The results of bioindicative rating of suburb plantations of Ludinovo town are considered in the paper. The version of territory zoning using the fluctuating asymmetry value is given.