

УДК 502:005.584.1(470.638)

## БИОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ГОРОДА КИСЛОВОДСКА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АССИМЕТРИИ

© 2010 Ю.А. Мандра, Р.С. Еременко

Ставропольский государственный аграрный университет

Поступила в редакцию 28.09.2010

В статье приведены исследования по оценке показателей флуктуирующей асимметрии листовой пластинки *Betula pendula*. Полученные результаты дают основание для проведения экологического зонирования территории города-курорта, а также для планирования природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: *биоиндикация, флуктуирующая асимметрия, береза повислая, город-курорт, экологическое зонирование*

Как отмечено в Экологической доктрине РФ (2002), в современных условиях в связи с постоянно растущими темпами антропогенного влияния на природные комплексы, требуется «совершенствование системы показателей, создание методологии экологического мониторинга, включая комплексную оценку состояния окружающей среды». Кроме того, на необходимость создания Единой региональной государственной системы комплексного экологического мониторинга (РГСКЭМ) указывает и Стратегия социально-экономического развития особо охраняемого эколого-курортного региона Кавказских Минеральных Вод. В связи с тем, что г. Кисловодск входит в состав Кавминвод, представляются актуальными работы по проведению экологической оценки состояния среды данного курорта. Стоит отметить, что существующая в городе система контроля за состоянием окружающей среды относится к категории санитарно-гигиенического мониторинга. Кроме того, отдельные предприятия ведут производственный экологический контроль. Однако необходимо учитывать тот факт, что на территории Кисловодска выделяются различные типы антропогенного воздействия (рекреационный, селитебный, транспортный, водохозяйственный, сельскохозяйственный, лесотехнический, промышленный). В этой связи для планирования развития курорта применение исключительно традиционных методов анализа становится неэффективным,

поскольку физико-химические методы не дают прямого ответа о качестве среды и ее пригодности ее для обитания живых организмов.

В последнее время для интегральной оценки состояния окружающей среды стал широко использоваться биоиндикационный подход, основанный на оценке морфометрических параметров. Это связано с тем, что при антропогенном воздействии листья растений не только меняют окраску, но и имеют аномальную конфигурацию. Проявление таких отклонений (флуктуирующей асимметрии) является результатом несовершенства онтогенетических процессов, т.е. неспособностью организма развиваться по определенным путям [3]. Иными словами, флуктуирующая асимметрия характеризует способность организма к формированию фенотипа при минимальном уровне онтогенетических нарушений, который в свою очередь является показателем степени соответствия условий среды требованиям организма. Таким образом, речь идет о качестве среды, ее здоровье [2].

**Цель нашей работы:** оценка экологического состояния среды города-курорта Кисловодска по результатам анализа показателей флуктуирующей асимметрии листовых пластинок березы повислой (*Betula pendula*).

Для достижения поставленной цели на 30 базовых площадках г. Кисловодска нами проводились биоиндикационные наблюдения. Площадки выбирали по принципу равномерно-рассыпного расположения. В этом случае сеть точек биологического мониторинга охватывает все основные типы природно-ландшафтных и антропогенно-ландшафтных комплексов города. В соответствии с функциональным зонированием на территории Кисловодска выделены 4 зоны:

Мандра Юлия Александровна, ассистент кафедры экологии и ландшафтного строительства. E-mail: yuam2007@yandex.ru

Еременко Рената Сергеевна, кандидат биологических наук, ассистент кафедры экологии и ландшафтного строительства

1) курортного назначения (площадки № 21 – район санатория им. М.С. Кирова; № 22 – участок между памятником Г. К. Орджоникидзе и терренкуром; № 25 – участок, примыкающий к Долине Роз в Курортном парке; № 28 – район санатория «Эльбрус»; № 29 – район санатория «Пикет»; № 30 – участок вдоль терренкура 2Б);

2) общественного городского центра (площадки № 13 – городской парк культуры и отдыха; № 14 – район кинотеатра «Россия»; № 17 – район Центрального рынка; № 18 – район санатория «Россия»; № 20 – район железнодорожного вокзала);

3) промышленная (площадки № 1 – участок ул. Промышленная; № 2 – территория, прилегающая к заводу «Байсад»; № 3 – район Автовокзала; № 4 – квартал между ул. Красивая и ул. Замковая; № 5 – квартал между ул. Жмакина и ул. Станичная; № 6 – район гимназии №19);

4) жилая (площадки № 7 – квартал между ул. Жмакина и ул. Станичная; № 8 – район школы №9; № 9 – квартал между ул. Энгельса и ул. Восточная; №10 – дорога к Городскому озеру; № 11 – квартал между ул. Жмакина и ул. Белорусская; № 12 – квартал между ул. Седлогорская и ул. Гоголя; № 15 – квартал между ул. Свердлова и ул. Зеленая; № 16 – квартал между ул. Красногвардейская и ул. Щербакова; № 19 – район Родильного дома; № 23 – квартал между ул. Авиации и ул. Суворова; № 24 – район Свято-Никольского собора; № 26 – долина р. Березовка со стороны ул. Катыгина; № 27 – район Лермонтовского водопада).

Для получения статистически достоверных данных на каждой пробной площадке с 5

условно одновозрастных деревьев *Betula pendula* на высоте 1,5-2 м от поверхности земли собирали по 50 шт. листьев. На каждом листе, с левой и правой сторон, снимали показатели по пяти (основным) промерам: ширина половинки листа; длина второй от основания листа жилки второго порядка; расстояние между основаниями первой и второй жилкой второго порядка; расстояние между концами этих же жилок; угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка. Анализ флуктуирующей асимметрии по каждому признаку проводился путем определения дисперсии асимметрии – относительной величины различия в промерах слева и справа, отнесенного к их сумме[1]. Такой подход позволяет выявить экологическую разнородность качества среды и определить степень отклонения от экологического оптимума в каждой конкретной точке.

Наши исследования показали, что 70% признаков оказались нескоррелированными между собой по величине асимметрии ( $L - R$ ). Исключение составляют три пары признаков (табл. 1). Так, в максимальной степени зависят друг от друга ( $r=0,4813$ ) расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка (признак № 4) и угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка (признак № 5). Кроме того, между собой оказались скоррелированными признаки № 1 (ширина половинки листа) и № 4 ( $r=0,3973$ ), а также параметры листа березы № 3 (расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка) и № 5 ( $r=0,3817$ ).

**Таблица 1.** Матрица корреляции между морфопризнаками листовой пластинки *Betula pendula*

Признак	1	2	3	4	5
	значение коэффициента корреляции (r)				
1	1,0000				
2	0,1865	1,0000			
3	-0,1790	-0,0108	1,0000		
4	0,3974	0,2399	-0,0987	1,0000	
5	0,3000	-0,0987	0,3817	0,4813	1,0000

Функциональное зонирование территории города-курорта дает основание предположить о наличии разных экологических условий. Поэтому обработку данных по флуктуирующей асимметрии мы проводили для каждой зоны в отдельности. Данные табл. 2 показывают, что степень асимметрии листьев березы, собранных с участков курортной зоны города, не превышает 0,029. Кроме того, показатели

асимметрии по трем признакам (длина второй от основания листа жилки листа; расстояние между основаниями первой и второй жилки; угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка) одинаковы для площадок № 21, 22, 25, 28. Это обстоятельство говорит о схожести экологических условий на данной территории.

**Таблица 2.** Показатели флуктуирующей асимметрии (ФА) листьев *Betula pendula* Roth. на участках курортной зоны г. Кисловодска

№ пробной площадки	Признак					Сред. относит. различие между сторонами на признак
	1	2	3	4	5	
	Величина ФА ((L-R)/(L+R))					
21	0,0271	0,0177	0,0311	0,0435	0,0253	0,0289
22	0,0269	0,0177	0,0311	0,0339	0,0253	0,0270
25	0,0329	0,0177	0,0311	0,0339	0,0253	0,0282
28	0,0304	0,0177	0,0311	0,0339	0,0253	0,0277
29	0,0360	0,0197	0,0400	0,0280	0,0234	0,0294
30	0,0204	0,0092	0,0511	0,0339	0,0205	0,0270

На участках промышленной зоны города (табл. 3) отмечается высокая вариация асимметрии даже внутри одной площадки. К примеру, на участке № 4 степень асимметрии изменяется от 0,0177 (признак 2) до 0,0733 (признак 3). Это указывает на неоднородность территории, а также на изменчивость (неустойчивость) окружающей среды. Анализ изменчивости асимметрии конкретных признаков

показывает, что наибольшая асимметрия проявляется по четвертому признаку (расстояние между концами первой и второй жилками второго порядка): от 0,0383 (район завода «Байсад») до 0,0594 (район Автовокзала). Вторым по вариабельности признаком является длина второй от основания листа жилки второго порядка, по которому степень изменения составляет 0,0197.

**Таблица 3.** Показатели флуктуирующей асимметрии (ФА) листьев *Betula pendula* Roth. на участках промышленной зоны г. Кисловодска

№ пробной площадки	Признак					Сред. относит. различие между сторонами на признак
	1	2	3	4	5	
	Величина ФА ((L-R)/(L+R))					
1	0,0373	0,0116	0,0733	0,0435	0,0393	0,0410
2	0,0306	0,0161	0,0733	0,0383	0,0362	0,0389
3	0,0292	0,0305	0,0650	0,0594	0,0401	0,0448
4	0,0373	0,0177	0,0733	0,0435	0,0393	0,0422
5	0,0284	0,0108	0,0543	0,0537	0,0263	0,0347
6	0,0281	0,0211	0,0650	0,0403	0,0332	0,0375

Селитебная зона (табл. 4) занимает большую часть города, и соответственно здесь показатели асимметрии листовой пластинки березы повислой характеризуются средней степенью вариации (11,25%). В пределах жилой зоны города-курорта Кисловодска выделяются участки, где показатель коэффициента асимметрии более 0,04, что в соответствии с пятибалльной шкалой оценки отклонений состояния организма березы от условной нормы [2] позволяет отнести их ко второй зоне благополучия. К таким участкам относятся квартал между ул. Энгельса и ул. Восточная (площадка № 9), квартал между ул. Жмакина и ул. Белорусская (площадка №11) и район родильного дома (площадка № 19). На остальных участках показатель асимметрии соответствует первому

баллу (минимальные показатели загрязнения среды). Как отмечалось, ранее в зоне общественного центра города Кисловодска расположено пять пробных площадок. Исследование показателей флуктуирующей асимметрии *Betula pendula* по пяти основным признакам дало следующие результаты (табл. 5).

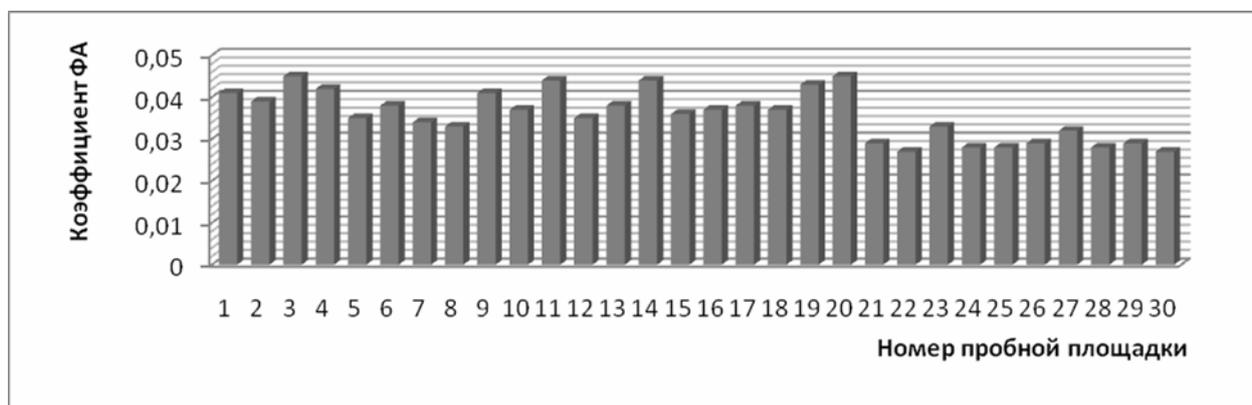
В качестве дополнительного признака нами была взята площадь правой и левой сторон березового листа. В этом случае, показатели асимметрии подтвердили значения асимметрии по пяти основным признакам (рис. 1). Коэффициент вариации показателей флуктуирующей асимметрии по дополнительному признаку березы повислой – 16,48%, что говорит о средней степени изменчивости данных.

**Таблица 4.** Показатели флуктуирующей асимметрии (ФА) листьев *Betula pendula* Roth. на участках жилой зоны г. Кисловодска

№ пробной площадки	Признак					Сред. относит. различие между сторонами на признак
	1	2	3	4	5	
	Величина ФА ((L-R)/(L+R))					
7	0,0244	0,0145	0,0543	0,0489	0,0263	0,0337
8	0,0244	0,0145	0,0543	0,0420	0,0278	0,0326
9	0,0336	0,0177	0,0700	0,0435	0,0393	0,0408
10	0,0282	0,0161	0,0733	0,0346	0,0318	0,0368
11	0,0374	0,0216	0,0561	0,0610	0,0423	0,0437
12	0,0255	0,0181	0,0543	0,0489	0,0263	0,0346
15	0,0363	0,0183	0,450	0,0376	0,0435	0,0362
16	0,0388	0,0152	0,0454	0,0407	0,0435	0,0367
19	0,0373	0,0225	0,0733	0,0435	0,0393	0,0432
23	0,0194	0,0215	0,0543	0,0489	0,0193	0,0327
24	0,0304	0,0177	0,0311	0,0339	0,0253	0,0277
26	0,0271	0,0156	0,0311	0,0435	0,0253	0,0285
27	0,0154	0,0129	0,0686	0,0387	0,0229	0,0317

**Таблица 5.** Показатели флуктуирующей асимметрии (ФА) листьев *Betula pendula* Roth. на участках зоны городского центра Кисловодска

№ пробной площадки	Признак					Сред. относит. различие между сторонами на признак
	1	2	3	4	5	
	Величина ФА ((L-R)/(L+R))					
13	0,0426	0,0192	0,0450	0,0376	0,0435	0,0376
14	0,0398	0,0173	0,0600	0,0600	0,0408	0,0436
17	0,0454	0,0160	0,0454	0,0376	0,0435	0,0376
18	0,0388	0,0152	0,0454	0,0407	0,0436	0,0367
20	0,0422	0,0177	0,0761	0,0483	0,0393	0,0447

**Рис. 1.** Показатели коэффициента флуктуирующей асимметрии (ФА) *Betula pendula* Roth. (признак – площадь сторон листовой пластинки)

Минимальное значение коэффициента асимметрии (0,027) наблюдается на участках №№ 22; 30. На участках №№ 2, 5 – 10, 12, 13, 15-18, 23, 27 коэффициент флуктуирующей асимметрии листовых пластинок *Betula pendula* колеблется в пределах 0,03-0,04. И наиболее подвержены влиянию комплекса негативных факторов участки, прилегающие к автодорогам, железнодорожным путям (№1; 3; 4; 11;

14; 19; 20), где показатели асимметрии листовых пластинок максимальны.

Таким образом, использованная нами методика подтверждает данные по функциональной принадлежности территории и соответственно по наличию различной антропогенной нагрузки. Помимо этого, данные по флуктуирующей асимметрии указывают на экологическое неблагополучие в районах

интенсивного транспортного движения и функционирования промышленных предприятий. Кроме того, показатели флуктуирующей асимметрии (ФА) листьев березы повислой, собранных на 30-ти пробных площадках, варьируют от 0,027 до 0,045. В этой связи в соответствии с пятибалльной шкалой [2] на территории Кисловодска выделяются экологические зоны: условно чистая ( $ФА > 0,040$ ); переходная ( $0,040 < ФА < 0,044$ ) условно загрязненная ( $ФА > 0,044$ ).

Полученные выводы позволяют дать следующие предложения по планированию природоохранных мероприятий на территории г. Кисловодска:

1. Принять оперативные меры по оздоровлению среды на участках условно загрязненной зоны (№3 (автовокзал) и № 20 (ж/д вокзал)).

2. Принять тактические меры по сохранению и улучшению качества среды на участках переходной и условно чистой зон.

3. Провести исследования по оценке и анализу флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой на всей территории города-курорта, что позволит пополнять и актуализировать базу данных о состоянии окружающей среды Кисловодска.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кряжев, Н.Г.* Анализ стабильности развития березы повислой в условиях химического загрязнения / *Н.Г. Кряжев, В.М. Чистяков, В.М. Захаров* // Экология. 1996. № 6. С. 441-444.
2. *Захаров, В.М.* Здоровье сред: практика оценки / *В.М. Захаров, А.Т. Чубинишвили, С.Г. Дмитриев С.Г.* и др.. – М., 2000. 320 с.
3. *Стрельцов, А.Б.* Региональная система биологического мониторинга на основе анализа стабильности развития: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – М., 2005. 42 с.

## BIOINDICATORY ESTIMATION THE STATE OF THE ENVIRONMENT IN KISLOVODSK CITY ON THE BASIS OF FLUCTUATING DISSYMETRY ANALYSIS

© 2010 Yu.A. Mandra, R.S. Eremenko

Stavropol State Agrarian University

In article researches according to parameters of fluctuating dissymmetry of *Betula pendula* sheet plate are brought. The received results give the base for carrying out the ecological zoning of city-resort territory, and also for planning nature protection actions.

Key words: *bioindication, fluctuating dissymetry, Betula pendula, city-resort, ecological zoning*