



УДК 502:005.584.1(470.638)

КОМПЛЕКСНАЯ ФИТОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ГОРОДА-КУРОРТА КИСЛОВОДСК

© 2010. Мандра Ю.А.

Ставропольский государственный аграрный университет

Основная цель исследований – оценка возможности использования фитоиндикации в условиях курортно-рекреационного ландшафта. Для определения состояния окружающей среды автором использовались следующие методы: лишеноиндикация, оценка комплексных признаков хвойного растения, метод оценки флуктуирующей асимметрии. Объектами исследования являются лишенофлора, *Pinus sylvestris*, *Betula pendula*. Анализ полученных данных выявил экологическую разнородность состояния экосистем города-курорта Кисловодск.

The main objective of the study is assessment of the possibility to use phytointication in resort-recreational landscape. To determine the state of the environment, author used the following methods: lichenoidication, assessment of the complex traits of conifer, method for estimating fluctuating asymmetry. The objects of research are lichens, *Pinus sylvestris*, *Betula pendula*. Analysis of the data revealed the ecological diversity of ecosystems of Kislovodsk (resort town).

Ключевые слова: экологический мониторинг, фитоиндикация, биоиндикатор, лишеноиндикация, комплекс признаков *Pinus sylvestris*, флуктуирующая асимметрия

Keywords: ecological monitoring, phytointication, bioindicator, lichenoidication, complex traits of *Pinus sylvestris*, fluctuating asymmetry.

Mandra Yu.A. Integrated phytointication environmental assessment of resort town Kislovodsk

В настоящее время для оценки качества окружающей среды широко применяются физико- и химико-аналитические методы, несомненно имеющие свои преимущества. Однако при разнонаправленном воздействии на экосистемы (промышленность, транспорт, рекреация, сельское хозяйство и т.п.) их применение становится неэффективным. Это связано с тем, что традиционные методы не дают прямого ответа о качестве природной среды и пригодности ее для обитания живых организмов, т.к. результирующий отклик биологической системы на комбинированное воздействие нельзя предвидеть исходя только из информации об эффектах отдельного действия агентов [1].

Совместное же действие стрессоров можно выявить при наблюдении непосредственного воздействия негативных факторов на живые организмы, что является главной задачей экологических исследований [2].

На наш взгляд, наиболее комплексную картину о состоянии окружающей среды могут дать биоиндикационные методы мониторинга. Для подтверждения данной гипотезы мы проводили индикацию состояния территории города-курорта Кисловодск с помощью растительных организмов.

Для достижения поставленной цели биоиндикационные исследования проводились на 30 площадках города-курорта Кисловодск, выбранных по принципу равномерно-рассыпного расположения (рис. 1).

В данной ситуации такой подход к выбору площадок обследования считается оптимальным, т.к. в этом случае имеется возможность получить информацию о каждом участке города-курорта, обладающего какими-либо природными или антропогенными особенностями. При таком расположении площадок охватываются все основные типы природно-ландшафтных комплексов г. Кисловодска. Это позволяет делать оценку состояния окружающей среды всей территории города, что имеет особую ценность при планировании природоохранных мероприятий.

В качестве видов-биоиндикаторов нами использовались представители лишенофлоры, со-сна обыкновенная, береза повислая. Оценка состояния окружающей среды города-курорта Кисловодск проводилась по нескольким методикам (лишеноиндикация, по комплексу признаков у хвойных, метод флуктуирующей асимметрии).

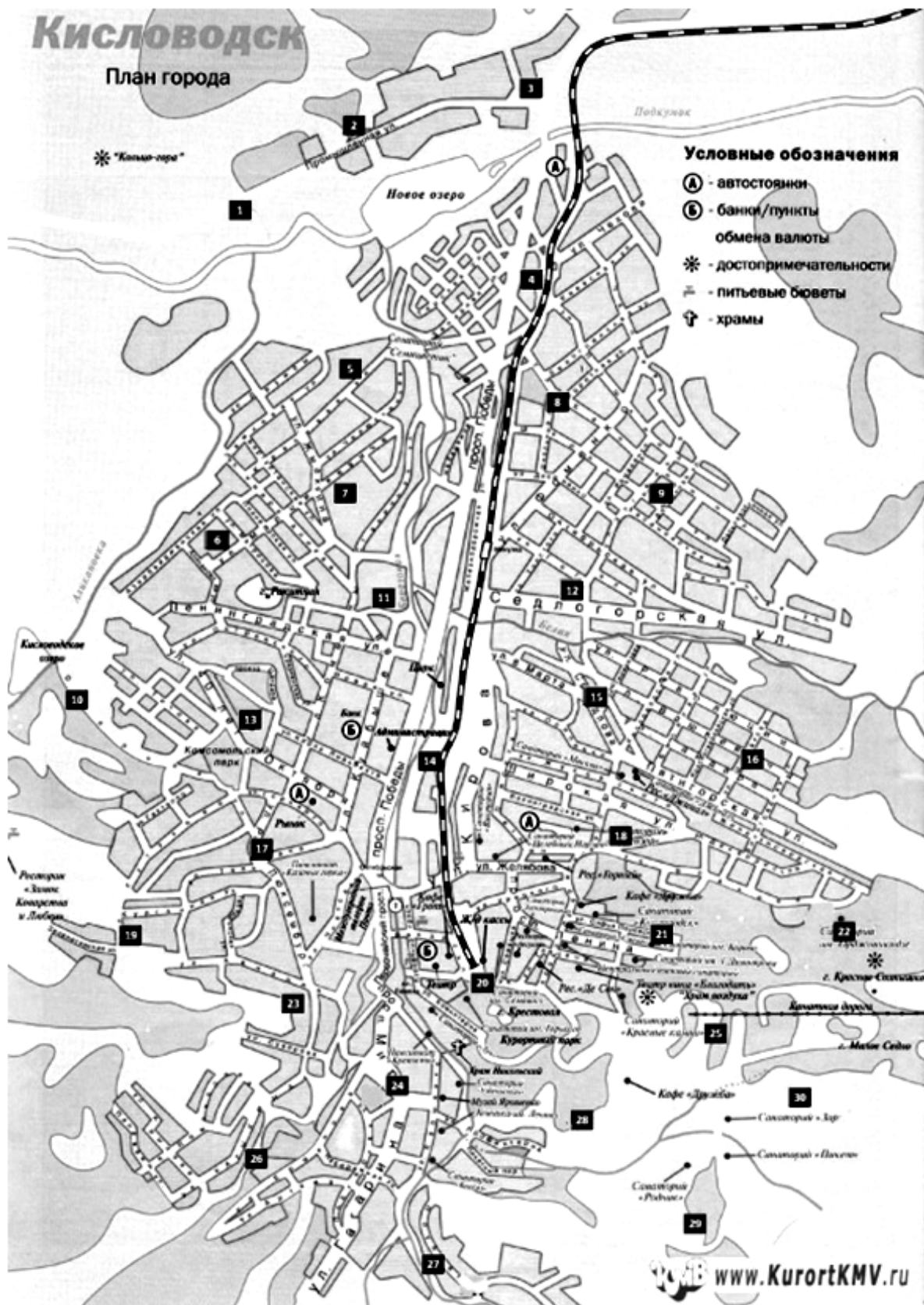


Рис. 1. План-схема расположения точек фитоиндикации на территории города-курорта Кисловодск



Лишеноиндикационная оценка степени антропогенного воздействия началась с рекогносцировочного обследования пробных площадок города. Видовые списки составлялись на основе учета всех обнаруженных талломов лишайников на стволах и ветвях деревьев и кустарников, на камнях, замшелых пнях и почве. В результате на территории г. Кисловодск нами было выявлено 30 видов лишайников, из них 8 видов лишайников кустистой формы, 13 – листоватой, 9 – накипной.

Сравнение видового состава лишайносинузид для пробных площадок проводилось с использованием коэффициента Жаккара. Кластерный анализ полученных данных представлен на рисунке 2.

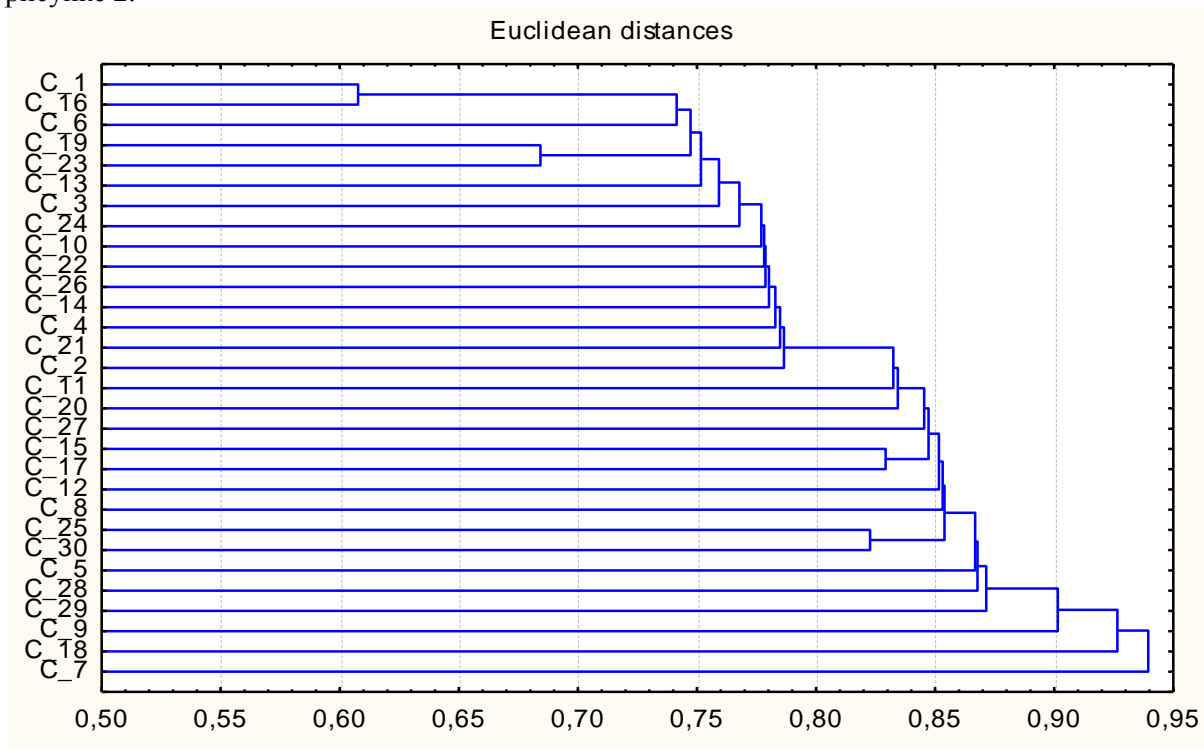


Рис. 2. Дендрограмма сходства пробных площадок г. Кисловодск по видовому составу лишайнофлоры

Для получения уточненных данных о состоянии экосистем города по методике, предложенной Трассом [3], мы вычисляли индекс полеотолерантности для отдельных площадок (формула 1).

$$IP = \sum_{i=1}^n \frac{A_i \cdot C_i}{C_n} \quad (1)$$

где n – количество видов на описанной площадке; A_i – класс полеотолерантности каждого вида; C_i – покрытие вида в баллах; C_n – сумма значений покрытия всех видов в баллах.

Сбор материала производился на деревьях вида *Betula pendula*.

На основании полученных значений IP и используя классификацию Трасса, в городе Кисловодск было выделены участки, соответствующие двум зонам загрязнения.

Первая зона – зона слабого загрязнения – является самой многочисленной по числу видов лишайников (17). Индекс полеотолерантности на данных участках колеблется от 3,35 (площадка №30) до 4,96 (площадка №2). Во второй зоне – среднего загрязнения ($IP = 4,96 - 5,33$) на березах мы отметили 10 видов лишайников. Лишеноиндикационное обследование территории города-курорта позволило выявить распространение лишайников в зонах с различной степенью загрязнения атмосферного загрязнения (табл. 1).



Рис. 3. Значения индекса полеотолерантности (IP) на участках

Таблица 1

Распределение представителей эпифитной лишенофлоры на территории г. Кисловодск (обследовали березы)

Вид лишайника	Зона загрязнения	
	1	2
Bacidia rubella	+	
Candelaria concolor	+	+
Cetraria pinastri	+	
Lecanora allophana	+	+
Lecidea glomerulosa	+	+
Ochrolechia androgyna	+	
Parmelia olivacea	+	+
Parmelia sulcata	+	+
Parmeliopsis ambigua	+	+
Pertusaria globulifera	+	
Physcia aipolia	+	+
Physcia stellaris	+	+
Ramalina farinacea	+	
Ramalina pollinaria	+	
Usnea hirta	+	+
Xanthoria parietina	+	+
Всего: 16 видов	16	10

Как и лишайники, круглогодичными биоиндикаторами могут быть и хвойные растения, и в частности *Pinus sylvestris*. В ходе своих наблюдений мы установили, что на территории города-курорта Кисловодск произрастают сосны с возрастом хвои до 5 лет. Данное обстоятельство указывает на то, что территория города-курорта относительно чистая, т.к. такие показатели характерны для заповедных территорий. Однако необходимо учитывать тот факт, что хвоя старшего возраста встречается только на пробных площадках №№ 5; 25, 28-30. В связи с этим требуется проведение более конкретных исследований в данном направлении.

Исходя из данных о наличии хвои определенных возрастов, для каждого обследуемого участка нами был рассчитан индекс продолжительности жизни хвои (формула 2), позволяющий дать относительную оценку состояния окружающей среды [4].

$$Q = \frac{3B_1 + 2B_2 + 1B_3}{B_1 + B_2 + B_3} \quad (2)$$

где B_1, B_2, B_3 – количество осмотренных деревьев с данной продолжительностью жизни хвои.



Рис. 4. Значение индекса продолжительности жизни (Q) хвои *Pinus sylvestris*

Высокие значения индекса Q указывают на большую продолжительность жизни хвои, а соответственно и на чистоту воздуха.

Согласно литературным данным [5], в результате ухудшения роста побега в загрязненной зоне пучки хвоинок более сближены, и на 10 см побега их больше, чем в чистой зоне. Наши исследования подтвердили данную гипотезу. Путем подсчета среднего значения, мы определили, что на участках, наиболее подверженных антропогенному прессу (№ 3, 4, 6, 11, 17, 20) число хвоинок на 10 см побега прошлого года достигает 220 - 226 шт., а в наименее (№30) – от 197.

Морфометрические исследования хвои *Pinus sylvestris* показали, что на участках, приближенных к автодорогам, рынкам, предприятиям, отмечается утолщение и укорачивание хвоинок (рис. 5, 6).

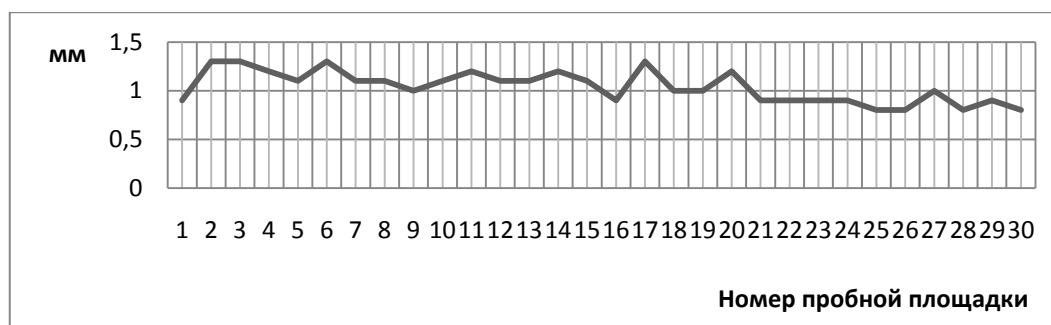


Рис. 5. Средние значения ширины хвоинок *Pinus sylvestris*

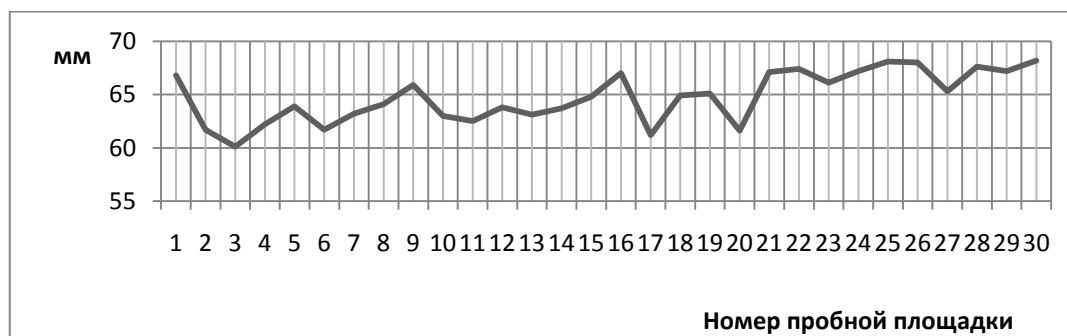


Рис. 6. Средние значения длины хвоинок *Pinus sylvestris*



В ходе исследований мы также определили, что абсолютно сухие хвоинки (1000 шт.), собранные с площадок №№ 2 – 4, 6, 17 имеют меньший вес (от 10,6 г), по сравнению с хвоей «курортной зоны» города (вес хвои с площадки № 30 составляет 12 г). К «переходной» зоне, где показатели веса колеблются в пределах 11 – 11,5 г, относятся площадки №№ 5; 7; 8; 10 – 15; 18; 19; 27.

Информативным признаком уровня загрязнения экосистемы является и качественное состояние хвои: изменение окраски (хлороз, пожелтение), преждевременное увядание хвои и дефолиация, наличие некротических пятен. Данные, полученные путем изучения поврежденных хвои сосен города Кисловодск, указывают на наличие хвои, имеющей хлорозы, некрозы, а также хвою с признаками усыхания (табл. 2).

Таблица 2

Качественная характеристика хвои II возраста *Pinus sylvestris*, собранной на пробных площадках города-курорта Кисловодск

№ пробной площадки	Доля хвоинок (%), характеризующихся следующими показателями:				
	хлороз	некроз	усыхание	гниль	здоровье
1	15,8	1,8	27,2	0,4	54,8
2	17,2	1,2	40,0	-	41,6
3	22,2	12,4	45,8	0,2	19,4
4	19,6	10,2	45,4	-	24,8
5	13,6	5,6	27,6	-	53,2
6	14,8	8,6	50,4	-	26,2
7	19,2	2,8	40,2	-	37,8
8	17,6	3,2	39,6	-	39,6
9	10,4	5,6	25,2	-	58,8
10	8,8	6,0	25,6	-	59,6
11	14,8	13,4	42,4	-	29,4
12	9,0	6,6	25,2	-	59,2
13	8,8	6,4	24,8	-	60,0
14	9,2	6,0	26,0	-	58,8
15	11,2	2,4	40,2	-	46,2
16	6,0	4,4	25,2	-	64,4
17	19,4	14	45,8	0,2	20,6
18	5,6	4,4	43,6	-	46,4
19	7,2	4,8	42,4	-	45,6
20	20,2	15,4	47,6	-	16,8
21	17,2	2,0	39,2	-	41,6
22	17,6	2,2	38,8	0,2	41,2
23	5,2	2,4	40,0	-	52,4
24	6,4	3,6	37,2	-	52,8
25	6,0	3,8	26,8	-	63,4
26	11,6	5,6	24,0	-	58,8
27	11,2	5,2	25,6	-	58,0
28	4,2	2,2	23,6	-	70,0
29	4,2	2,0	24,0	-	69,8
30	2,8	2,2	23,8	-	71,2

Показателем степени соответствия условий среды требованиям организма, а значит и благоприятности данных условий, является флуктуирующая асимметрия [6]. Соответственно, чем выше степень антропогенного воздействия на окружающую среду, тем больше различие



между сторонами симметричных структур. Основываясь на данном положении, мы провели исследования, в которых биоиндикационным признаком являлась флуктуирующая асимметрия.

Сбор данных нами проводился на наиболее удобном для биоиндикационных целей виде – *Betula pendula*. Для получения статистически достоверных данных на каждой площадке с 5 условно одновозрастных деревьев собиралось по 50 шт. листьев *Betula pendula*. Сбор листьев проводился на высоте 1,5 – 2 м от поверхности земли. С помощью палетки с делением ячеек 1x1 мм определяли площадь правой и левой сторон каждой листовой пластинки.

Анализ флуктуирующей асимметрии по одному признаку основывается на оценке величины соответствующей дисперсии. В нашей ситуации было оптимально использовать дисперсию относительного различия между сторонами (формула 3), основанную на оценке не строгой асимметрии, а от некоторого среднего различия между сторонами (M_d), имеющего место в рассматриваемой выборке [6]:

$$\sigma^2 = \frac{\sum (d_{l-r} - M_d)^2}{n - 1} \quad (3)$$

где:

$$M_d = \frac{\sum d_{l-r}}{n}$$

где: d_l – значение признака на левой стороне; d_r – значение признака на правой стороне; n – численность выборки.

Дисперсионный анализ полученных данных дал следующие результаты (рис. 7).

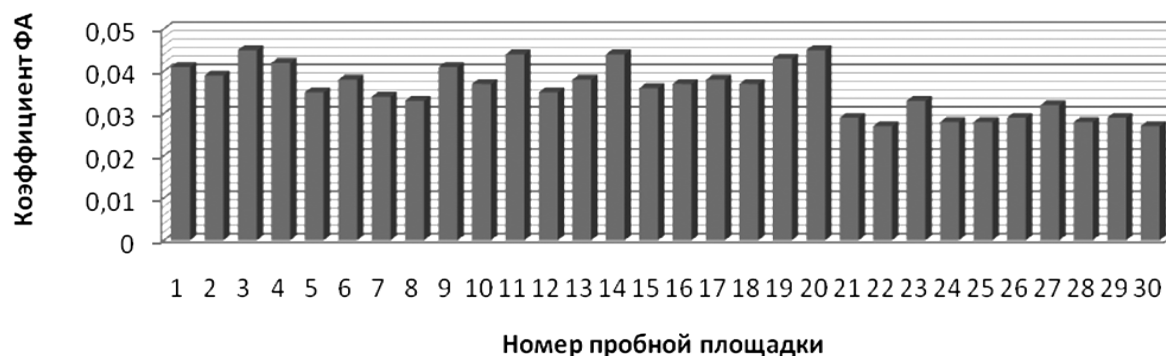


Рис. 7. Пространственное распределение значения коэффициента флуктуирующей асимметрии (ФА) листовых пластинок

Анализ полученных данных выявил экологическую разнородность города-курорта Кисловодск. 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 коэффициента ФА максимальны.

Сравнительный анализ биоиндикационных данных, полученных различными методами, позволяет выделить на территории города-курорта Кисловодск три зоны, в различной степени испытывающих на себе комплексное влияние негативных факторов.

В первую зону (условно чистую) входят территории так называемой «курортной зоны», где ограничена в большинстве своих проявлений антропогенно-техногенная деятельность. Изменения в экосистемах на данных участках обусловлено высокой рекреационной нагрузкой (проложены терренкуры, действует широкая сеть санаториев и т.п.).

Вторая зона (переходная) представлена участками №№ 1, 2, 5, 7 – 13, 15, 16, 18, 19, 21 – 23, 27. Основным фактором, влияющим на растительные организмы данных территорий, является хозяйственно-бытовая деятельность населения. На этих участках расположены жилые зоны города-курорта Кисловодск, рынки, предприятия, обслуживающие население города и т.п.



И наконец, третью, наиболее подверженную влиянию комплекса негативных факторов (условно загрязненную) зону, составляют территории, прилегающие к железнодорожным путям (№ 14, 20), к улицам с относительно высокой интенсивностью движения автотранспорта (№ 3, 4, 6, 17).

По занимаемой площади эти зоны располагаются в следующий ряд (от меньшей к большей): I – III – II. Таким образом, менее трети территории города наиболее подвержено антропогенному воздействию.

Следует отметить, что данные, полученные различными фитоиндикационными методами, подтверждают друг друга, что обеспечивает их достоверность. Неоднократное же использование этих методов позволит оценить направление изменения экологических показателей, а это является основанием для прогноза дальнейшего развития экосистем курортного города.

Используемый нами фитоиндикационный подход дает необходимую для сбалансированного развития постоянно обновляемую системную информацию о состоянии всей территории. Это обстоятельство особенно важно для эффективного функционирования всей системы экологического мониторинга отдельного города-курорта и является основанием для разработки стратегии рационального природопользования и устойчивого развития всего региона Кавказских Минеральных Вод.

Библиографический список

1. Гераськина Н.П. Биоиндикация и оценка устойчивости лесных экосистем в зоне воздействия промышленных предприятий // Экология и безопасность в техносфере : Матер. Всерос. науч.-тех. интернет-конф. – Орел : ОрелГТУ, 2009. – С. 24 – 26.
2. Матвеев Н.М., Кавеленова Л.М., Прохорова Н.В. Некоторые принципы биоиндикации окружающей природной среды в условиях степной зоны // Вестник СамГТУ. – 1996. – Спец. выпуск. – С. 162 – 170.
3. Трасс Х.Х. Классы полетолерантности лишайников и экологический мониторинг // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – Т. 7. – С. 122 – 137.
4. Экологический мониторинг : учеб.-метод. пособие для вузов / под ред. Т.Я. Ашихминой. – СПб: Академический Проспект, 2005. – 416 с.
5. Федорова А.И., Никольская А.Н. Практикум по экологии и охране окружающей среды. – М.: ВЛАДОС, 2001. – 288 с.
6. Стрельцов А.Б. Региональная система биологического мониторинга на основе анализа стабильности развития: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – М., 2005. – 42 с.