

Оценка экологического состояния леса по асимметрии листьев¹

© А.С.Боголюбов
© «Экосистема», 2002



В данном пособии приведена методика оценки экологического состояния местности, в частности лесов, по интегральным характеристикам асимметрии листьев деревьев. В основу методики положена теория о том, что различие между левой и правой половинами листа коррелирует со степенью общей нарушенности окружающей среды. Приводится общий план организации исследования, включая схему размещения площадок, технику отбора проб, проведения измерений листьев на примере березы и расчета асимметрии.

Введение

В основу методики, используемой при выполнении данной исследовательской работы, положена теория «стабильности развития» («морфогенетического гомеостаза»), разработанная российскими учеными А.В.Яблоковым, В.М.Захаровым и др. в процессе исследований последствий радиоактивного заражения, в том числе после Чернобыльской аварии. Эти ученые доказали, что стрессирующие воздействия различного типа вызывают в живых организмах изменения гомеостаза (стабильности) развития, которые могут быть оценены по нарушению морфогенетических процессов.

Главными показателями изменений гомеостаза морфогенетических процессов являются показатели *флуктуирующей асимметрии* - ненаправленных различий между правой и левой сторонами различных морфологических структур, в норме обладающих билатеральной симметрией. Такие различия обычно являются результатом ошибок в ходе развития организма. При нормальных условиях их уровень минимален, возрастая при любом стрессирующем воздействии, что и приводит к увеличению асимметрии.

Особенностью стабильности развития является то, что она в большой степени зависит от общей **генетической** перестройки организма, что особенно важно при оценке последствий радиационного воздействия.

Оценка флуктуирующей асимметрии билатеральных организмов хорошо зарекомендовала себя при определении общего **уровня антропогенного воздействия**. Традиционные методы, оценивающие химические и физические показатели, не дают комплексного представления о воздействии на биологическую систему, тогда как биоиндикационные показатели отражают реакцию организма на всё многообразие действующих на него факторов, имея при этом биологический смысл.

Оптимальным объектом биоиндикации антропогенных воздействий данным методом являются **растения**. Животные, особенно высшие, подходят для биоиндикации по-

¹ Данная методика разработана группой ученых Калужского государственного педагогического университета им.К.Э.Циолковского. В основу данного пособия положены две брошюры Г.А.Шестаковой, А.Б.Стрельцова и Е.Л.Константинова «Методика сбора и обработки материала для оценки стабильности развития березы повислой» (Калуга, 1997) и «Методика сбора и обработки материала для оценки стабильности развития (по 8 видам растений)» (Калуга, 1997).

добного рода в меньшей степени. Во-первых, они намного сложнее организованы и стабильность их развития зависит от большего числа факторов. Во-вторых, они находятся на более высоких ступенях пищевой пирамиды и менее подвержены загрязнению почвенной и воздушной сред. Наконец, животные подвижны и в меньшей степени связаны с конкретным участком территории.

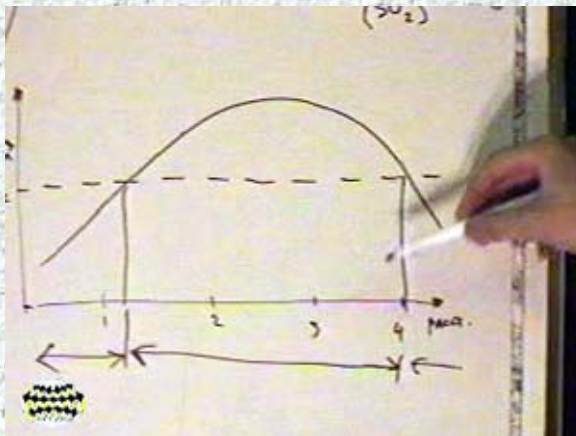
Растения же, как продуценты экосистемы, в течение всей своей жизни привязаны к локальной территории и подвержены влиянию почвенной и воздушной сред, наиболее полно отражающих весь комплекс стрессирующих воздействий на экосистему.

В рамках данного учебного занятия учащимся предлагается оценить **стабильность развития** (степень флуктуирующей асимметрии) на примере листьев одного из листопадных деревьев своей местности.

Данная работа не сложна в плане техники ее выполнения и объема необходимых знаний, но очень **скрупулезна**. Для ее выполнения **понадобится** минимум оборудования: циркуль-измеритель и линейка, транспортир, бланки для записей результатов измерений и счетное оборудование (калькулятор или компьютер).

Общие вопросы организации исследования

При планировании работы следует иметь в виду, что ее **полевая часть** (сбор полевого материала) занимает незначительную долю общего времени, требуемого на выполнение работы. Большая часть времени будет отдана **лабораторной работе** – измерениям и расчетам. Исходя из этого, следует планировать и общий объем исследования.



Дело в том, что любое биоиндикационное исследование представляет из себя научную ценность только в том случае, если проведено не в одной точке и в единый момент времени, а охватывает **несколько** географических участков или растянуто по **нескольким** временным отрезкам. Другими словами, данные большинства биоиндикационных исследований являются относительными и «работают» только при условии получения данных об их **пространственной или временной изменчивости** (динамики).

Данные о флуктуирующей асимметрии, полученные единовременно и/или в одной точке могут быть оценены только относительно и мало что покажут, не будучи сравнены с другой точкой или другим периодом времени. Исходя из этого, если целью работы является не только обучение школьников методике, но и получение реальных научных результатов, следует запланировать сбор полевого материала и, соответственно, получение данных, **с нескольких участков местности**, находящихся на разных уровнях (стадиях) антропогенного воздействия.

Если постановка такой задачи реальна (имея в виду наличие времени и «трудовых ресурсов»), следует запланировать сбор материала на различных участках – с заведомо различным уровнем антропогенного воздействия - так, как это было сделано на занятии по лихеноиндикации (занятие № 10, осенний сезон).

Выбор и заложение площадок

Работа начинается с выбора точек исследования – четырех-пяти площадок, желательно находящихся **на одной линии по мере удаления от потенциального источника загрязнения** в вашей местности – населенного пункта, промышленного предприятия или автомагистрали. Желательно располагать площадки по линии преобладающих ветров – в ту сторону, куда ветер сносит потенциальные загрязняющие вещества.

Дистанция между площадками зависит от мощности источника загрязнения. Если это большой населенный пункт с промышленными предприятиями и многочисленным автотранспортом, то расстояния между площадками могут быть в пределах 1 км (дальняя площадка будет удалена от города на 5 км). Если это, например, небольшая котельная, работающая на угле, то расстояния между площадками могут быть в пределах 400-800 метров. Если это автотрасса – то 20-200 метров (в зависимости от интенсивности потока автотранспорта).

Маркировать площадки для целей данного занятия необязательно.



Идеально, если площадки для проведения данной работы **совпадают** с площадками, на которых были проведены исследования по лишеноиндикации на осеннем занятии (занятие № 10). Это даст очень интересную возможность сравнения двух различных методик биоиндикации на примере одних и тех же участков.

Для выполнения полевой работы учащихся разбивают на бригады по 2-3 человека, каждой из которых дают задание обследовать одну из выбранных на местности площадок. Проведя полевые сборы, бригады

возвращаются на базу и под руководством педагога начинают обработку собранного материала, обобщая результаты в одну исследовательскую работу (статью или доклад).

Учитывая незначительное время, необходимое непосредственно на сбор полевого материала, и большую камеральную часть, выполнение данной работы можно организовать в плохую погоду (например, в дождь).

Сбор полевого материала

Объекты исследования

Теоретически, как было уже сказано во введении, исследования флуктуирующей асимметрии можно проводить на любых билатеральных (симметрично организованных) объектах – будь то животные или растения. Однако, чем проще устроен организм и чем он крупнее, тем проще проводить измерения. Исходя из этого, удобным для организации подобных исследований модельным объектом, являются листья листопадных деревьев. Это могут быть такие виды деревьев, как клены, тополя или березы.

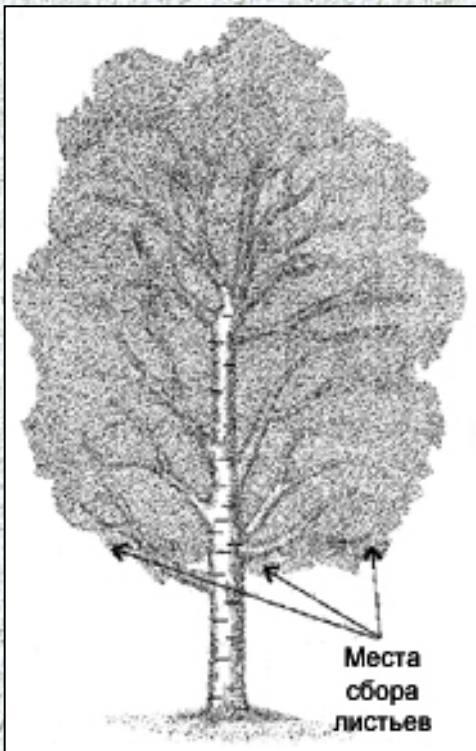


Это могут быть такие виды деревьев, как клены, тополя или березы.

Поскольку одним из наиболее распространенных видов деревьев средней полосы Евразии являются березы, в качестве основного объекта для изучения в рамках данной работы предлагается использовать один из ее видов: **берёзу повислую**, или бородавчатую (*Betula pendula* Roth.) или **берёзу пушистую** (*B. alba* L.). При отсутствии данных видов исследования можно провести на других видах листопадных деревьев.

Время сбора

Проводить сбор материала можно после завершения интенсивного роста листьев до периода опадения листвы, что в средней полосе примерно соответствует периоду с конца мая до конца августа.



Выбор растений

Сбор листьев должен проводиться с растений, находящихся в примерно одинаковых экологических условиях по уровню освещенности, влажности, типу биотопа. Например, одна из площадок сбора не должна находиться на опушке, а другая – в лесу.

Для анализа используют только средневозрастные растения, избегая молодые экземпляры и старые.

Сбор листьев

Сбор листьев производится с 10 близко растущих деревьев - по 10 листьев с каждого дерева, всего - 100 листьев с одной площадки. Следует брать несколько больше листьев с площадки, на случай попадания поврежденных листьев.

Поврежденные листья могут быть использованы в исследовании, только в том случае, если не затронуты участки, с которых будут сниматься значения промеров (см. ниже). Однако, во избежание ошибок поврежденные листья лучше не брать.

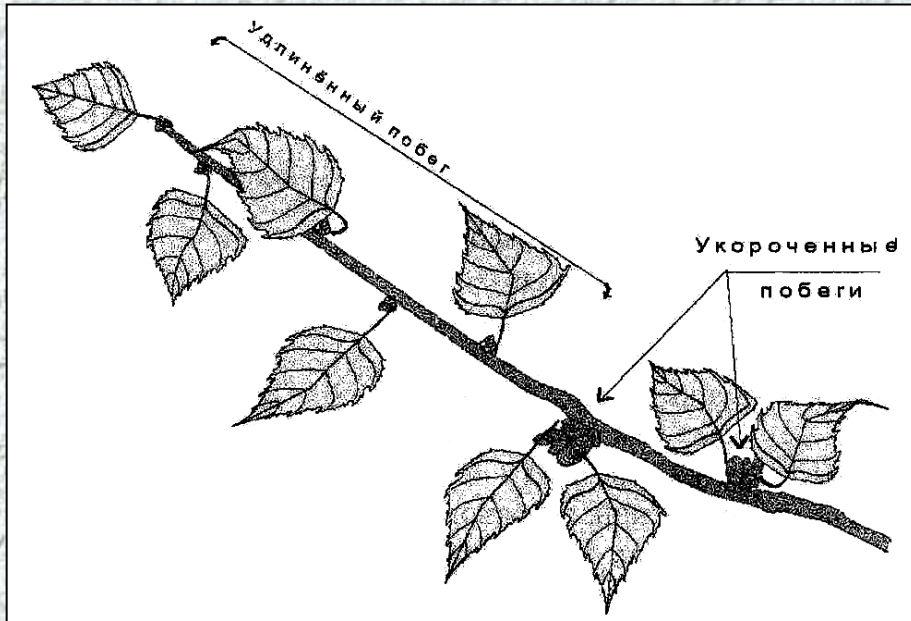
Рис. 1. Места сбора листьев.

Листья берутся из нижней части кроны, на уровне поднятой руки, с максимального количества доступных веток (рис.1). При этом, стараются задействовать ветки разных направлений, условно - с севера, юга, запада и востока.

У березы берут листья только с укороченных побегов (рис.2).

Листья стараются брать примерно одного, **среднего** для данного вида размера.

Если в местности, где выполняется данная исследовательская работа, нет берез, в качестве объекта можно использовать другие виды листопадных деревьев.



Листья с одного дерева связывают ниткой по черешкам и складывают в пакеты для транспортировки на базу. Каждый пакет (выборка) снабжается **этикеткой**, на которой указывают: дату, место сбора (делая максимально подробную привязку на местности) и номер площадки, а также автора (авторов) сбора.

Рис. 2. Типы побегов у березы.

Лабораторная обработка

Собранный материал желательно начать обрабатывать **сразу же**, пока листья не завяли. Если собранный материал не может быть обработан сразу, то его помещают на нижнюю полку в холодильнике (максимальный срок хранения – 1 неделя). Для длительного хранения используют фиксатор - спирт, разведённый на 1/3 глицерином или водой.

Измерения

Для обработки собранного материала необходимы линейка, циркуль-измеритель и транспортир. Если измерения производят несколько групп, то необходимо проследить чтобы линейки и транспортиры были одинаковыми.

Разберем процедуру измерений на примере листа березы (рис.3).

С каждого листа снимают показатели по 5-ти параметрам с левой и правой стороны листа:

1 - ширина половинки листа. Для измерения лист складывают поперек пополам, прикладывая макушку листа к основанию, потом разгибают и по образовавшейся складке производят измерения;

2 - длина второй жилки второго порядка от основания листа;

3 - расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка;

4 - расстояние между концами этих жилок;

5 - угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка.

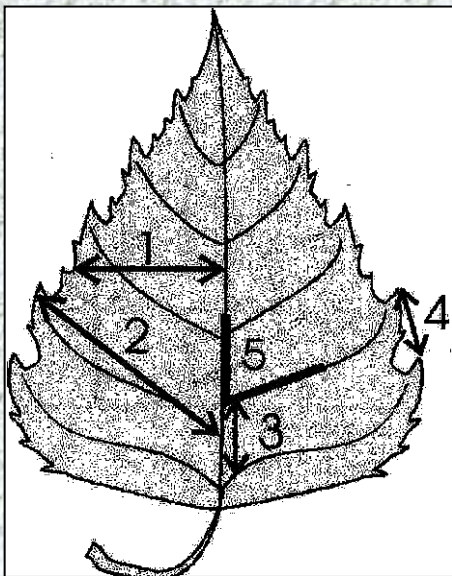


Рис.3. Параметры листа березы.

Первые четыре параметра снимаются циркулем-измерителем (если его нет - измерения можно проводить линейкой с четкими миллиметровыми делениями). Угол между жилками измеряется транспортиром (рис.4). Удобно использовать прозрачные пластмассовые транспортиры.

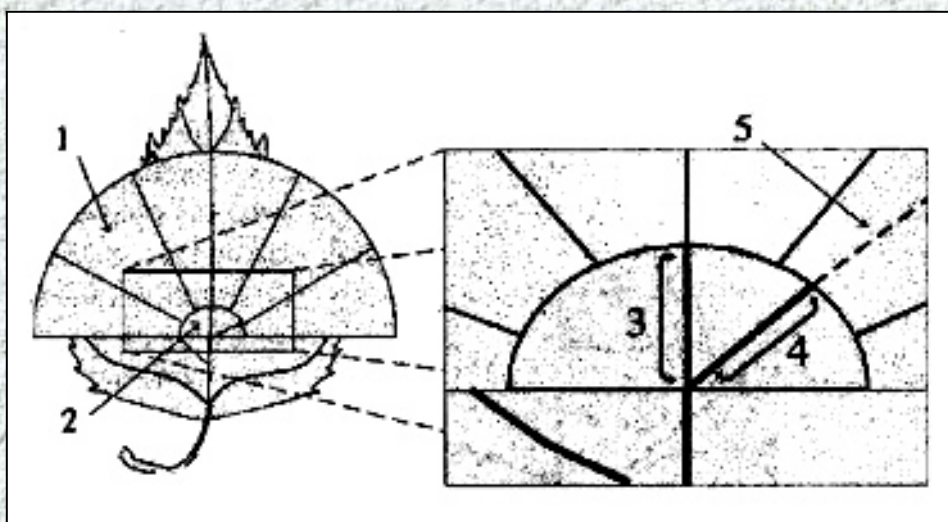


Рис.4. Измерение угла между жилками

При измерении угла, транспортир (поз. 1 на рис. 4) располагают так, чтобы центр окошка транспортира (поз.2 рис.4) находился на месте ответвления второй жилки второго порядка (поз. 4 рис. 4).



Так как жилки не прямолинейны, а извилисты, то угол измеряют следующим образом: участок центральной жилки (поз. 3 рис. 4), находящийся в пределах окошка транспорта (поз. 2 рис. 4) совмещают с центральным лучом транспорта, который соответствует 90° , а участок жилки второго порядка (поз. 4 рис. 4) продлевают до градусных значений транспорта (поз. 5 рис. 4), используя линейку.

Желательно, чтобы все листья из одной выборки измерялись одним человеком – для предотвращения влияния субъективных ошибок. Следует помнить, что интерес представляют не абсолютные размеры параметров, а разница между левой и правой половинками. Поэтому, на технику измерений левой и правой сторон листа следует постоянно обращать внимание (положение линейки и транспорта, освещение и т.д.).

Данные измерений заносят в таблицу (см. таблицу 1). Для ускорения процесса измерений удобно проводить измерения вдвоем или втроем. Один учащийся работает с циркулем-измерителем (или линейкой) и измеряет линейные размеры (1-4 параметра). Второй работает с циркулем и измеряет только углы (5 параметр). Третий учащийся под диктовку заносит эти данные в таблицу:

Дата:		Исполнитель:									
Место сбора:											
№ листа	1. Ширина половинок листа, мм		2. Длина 2 ^й жилки, мм		3. Расстояние между основаниями 1 ^й и 2 ^й жилок, мм		4. Расстояние между концами 1 ^й и 2 ^й жилок, мм		5. Угол между центральной и 2 ^й жилкой, градусы		
	л	п	л	п	л	п	л	п	л	п	
1	21	20	31	29	4	5	9	9	43	45	
2	20	20	32	30	5	5	8	7	40	44	
3	19	21	30	30	5	4	8	9	39	41	
4	17	18	27	29	3	5	9	8	46	42	
5	23	20	28	31	5	4	7	7	44	41	
6	21	21	30	27	4	3	8	9	39	40	
7	19	19	26	29	4	4	10	9	38	42	
8	20	21	29	29	5	4	8	8	41	45	
9	22	18	28	31	5	3	7	9	40	42	
10	24	21	31	30	3	5	9	10	42	46	

Таблица 1. Значения измерений (пример)

При возможности занесения данных в компьютер для хранения и математической обработки используют программу Microsoft Excel.

Вычисления

Величина асимметричности оценивается с помощью интегрального показателя - величины **среднего относительного различия** на признак (средняя арифметическая

отношения разности к сумме промеров листа слева и справа, отнесенная к числу признаков). Для проведения вычислений пользуются вспомогательной таблицей (табл.2.).

Обозначим значение одного промера X , тогда значение промера с левой и с правой стороны будем обозначать как X_l и X_n , соответственно. Измеряя параметры листа по 5-ти признакам (слева и справа) мы получаем 10 значений X .

В первом действии (1) находим относительное различие между значениями признака слева и справа - (Y) для каждого признака. Для этого находят разность значений измерений по одному признаку для одного листа, затем находят сумму этих же значений и разность делят на сумму. Например, в нашем примере у листа №1 (в табл.1) по первому признаку $X_l = 21$, а $X_n = 20$. Находим значение Y_i по формуле:

$$Y_i = \frac{X_l - X_n}{X_l + X_n} = \frac{21 - 20}{21 + 20} = \frac{1}{41} = 0,024$$

Найденное значение Y_i вписываем в вспомогательную таблицу 2 в столбец 1 признака.

Подобные вычисления производят по каждому признаку (от 1 до 5). В результате получается 5 значений Y для одного листа. Такие же вычисления производят для каждого листа в отдельности, продолжая записывать результаты в таблицу 2.

№ листа	1 Признак	2 Признак	3 Признак	4 Признак	5 Признак	Среднее Относительное различие на признак
	(1) $Y = \frac{X_l - X_n}{X_l + X_n}$	(1) $Y = \frac{X_l - X_n}{X_l + X_n}$	(1) $Y = \frac{X_l - X_n}{X_l + X_n}$	(1) $Y = \frac{X_l - X_n}{X_l + X_n}$	(1) $Y = \frac{X_l - X_n}{X_l + X_n}$	(2) $Z = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5}{N}$
1	0,024	0,033	0,111	0	0,02	0,038
2	0	0,032	0	0,067	0,048	0,029
3	0,05	0	0,11	0,059	0,025	0,049
4	0,029	0,036	0,25	0,059	0,045	0,084
5	0,07	0,051	0,11	0	0,035	0,053
6	0	0,053	0,14	0,059	0,013	0,053
7	0	0,055	0	0,053	0,05	0,032
8	0,024	0	0,11	0	0,047	0,036
9	0,1	0,05	0,25	0,125	0,024	0,11
10	0,07	0,016	0,25	0,053	0,045	0,09
						(3) $X = \frac{Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n}{n} = \frac{0,574}{10} =$

Таблица 2. Вспомогательная таблица для вычислений

Во втором действии (2) находят значение среднего относительного различия между сторонами на признак для каждого листа (Z). Для этого сумму относительных различий надо разделить на число признаков.

Например, для первого листа $Y_1 = 0,024$; $Y_2 = 0,033$; $Y_3 = 0,111$; $Y_4 = 0$; $Y_5 = 0,023$.

Находим значение Z_1 по формуле:

$$Z_1 = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5}{N} = \frac{0,024 + 0,033 + 0,111 + 0 + 0,023}{5} = 0,038,$$

где N - число признаков. В нашем случае $N = 5$.

Подобные вычисления производят для каждого листа. Найденные значения заносят в правую колонку таблицы 2.

В третьем действии (3) вычисляется среднее относительное различие на признак для всей выборки (X). Для этого все значения Z складывают и делят на число этих значений:

$$X = \frac{\sum Z}{n} = \frac{Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n}{n} =$$
$$= \frac{0,038 + 0,029 + 0,049 + 0,084 + 0,053 + 0,053 + 0,032 + 0,036 + 0,11 + 0,09}{10} = 0,057$$

где n - число значений Z , т.е. число листьев (в нашем примере – 10).

Полученный показатель характеризует степень асимметричности организма.

Для данного показателя разработана пятибалльная шкала отклонения от нормы (Захаров В.М., Крысанов Е.Ю., 1996.), в которой 1 балл - условная норма, а 5 балл - критическое состояние:

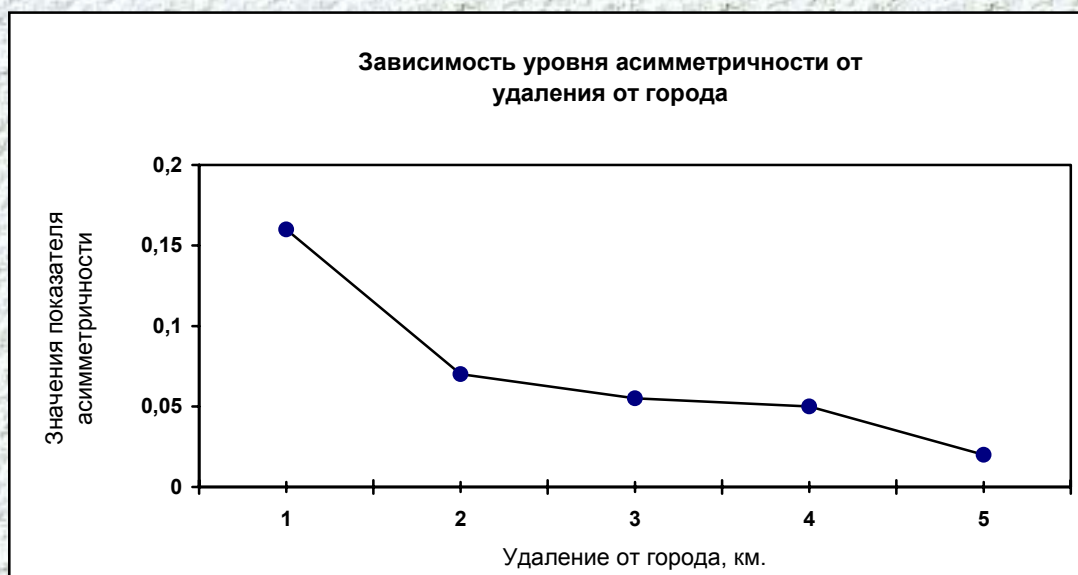
Балл	Значение показателя асимметричности
1 балл	до 0,055
2 балл	0,055-0,060
3 балл	0,060-0,065
4 балл	0,065-0,070
5 балл	более 0,07

Анализ результатов

Несмотря на имеющуюся шкалу, обратим внимание на то, что подходить к ее использованию следует **с осторожностью**. Она разработана для конкретной территории и конкретных объектов исследования, т.е. является **относительной**. С уверенностью сказать о том, что полученное для другой территории и на примере других объектов значение достоверно является отклонением от нормы нельзя.

Иное дело, если измерения велись **на разных участках** (площадках). Тогда, рассчитав показатель асимметричности для каждой площадки в отдельности, мы сможем **сравнивать** полученные значения и делать какие-либо **выводы** о большем или меньшем отклонении той или иной площадки от нормы.

Оформить полученные результаты можно в виде графика, на который по горизонтальной оси нанесены в масштабе точки расположения пробных площадок (по мере удаления от источника загрязнения), а по вертикальной – показатели асимметричности листьев на данных площадках (так, как это было сделано на занятии по лишеноиндикации):



В целом, общая схема сравнения данных, полученных на разных площадках, аналогична тому, как это было сделано в работе по лишеноиндикации (занятие № 10, осенний сезон).