

Оценка загрязнения воздуха методом лишеноиндикации

© А.С.Боголюбов, М.В.Кравченко

© «Экосистема», 2001



В данном методическом пособии приводятся основные правила организации лишеноиндикационных исследований и некоторые простейшие методики использования лишайников для оценки интегрального воздействия неблагоприятных факторов среды на экосистему. Основное внимание уделено методикам количественной оценки лишенофлоры в биологическом мониторинге на основе использования классов полетоустойчивости и лишеноиндикационных индексов.

Введение

При изучении степени загрязнения окружающей среды промышленными объектами важна реакция биологических объектов на поллютанты (загрязняющие вещества). Система наблюдений за реакцией биологических объектов на воздействие поллютантов называется **биологическим мониторингом**.

Биологический мониторинг включает в себя **наблюдение, оценку и прогноз изменений** состояния экосистем и их элементов, вызываемых антропогенным воздействием.

Одним из основных объектов **глобального биологического мониторинга** выбраны лишайники. Напомним, что лишайники представляют собой весьма своеобразную группу споровых растений, состоящих из двух компонентов - гриба и одноклеточной, реже нитчатой, водоросли, которые живут совместно как целостный организм. При этом функция основного размножения и питания за счет субстрата принадлежит грибу, а функция фотосинтеза - водоросли.

Лишайники чутко реагируют на характер и состав субстрата, на котором они растут, на микроклиматические условия и состав воздуха. В силу чрезвычайного "долголетия" лишайников их можно использовать для датировки возраста различных предметов на основе измерения их слоевищ - в диапазоне от нескольких десятилетий до нескольких тысячелетий.

Объектом глобального мониторинга лишайники избраны потому, что они распространены по всему Земному шару и поскольку их реакция на внешнее воздействие очень сильна, а собственная изменчивость незначительна и чрезвычайно замедлена по сравнению с другими организмами.

Из всех экологических групп лишайников наибольшей чувствительностью обладают **эпифитные лишайники** (или эпифиты), т.е. лишайники, растущие на коре деревьев.

Изучение этих видов в крупнейших городах мира выявило ряд общих закономерностей: чем больше индустриализирован город, чем более загрязнен воздух, тем меньше встречается в его границах видов лишайников, тем меньшую площадь покрывают лишайники на стволах деревьев, тем ниже "жизненность" лишайников.

Установлено, что при повышении степени загрязнения воздуха первыми исчезают **кустистые**, затем **листоватые** и последними - **накипные (корковые)** формы лишайников. Состав флоры лишайников в различных частях городов (в центре, в промышленных районах, в парках, в периферийных частях) оказался настолько различным, что исследователи стали использовать лишайники в качестве индикаторов загрязнения воздуха.



Одним из первых эту работу провел шведский ученый Р.Сернадер (1926). Он выделил в Стокгольме "лишайниковую пустыню" (центр города и фабричные районы с сильно загрязненным воздухом - лишайники здесь почти отсутствуют); зону "соревнования" (части города со средней загрязненностью воздуха - флора лишайников бедна, виды с пониженной жизненностью) и "нормальную зону" (периферийные части города, где встречаются многие виды лишайников).

В последние десятилетия показано, что из компонентов загрязненного воздуха на лишайники самое отрицательное влияние оказывает двуокись серы (SO_2). Экспериментально установлено, что это вещество в концентрации $0,03 - 0,1 \text{ мг/м}^3$ ($30-100 \text{ микрограмм/м}^3$) начинает действовать на многие виды лишайников. В хлоропластах клеток водорослей появляются бурые пятна, начинается дегградация хлорофилла. Концентрация двуокиси серы в $0,5 \text{ мг/м}^3$ губительна для всех видов лишайников, произрастающих в естественных ландшафтах. Однако имеется группа **полеотолерантных** (выносливых по отношению к загрязнениям) видов, которые могут существовать в довольно загрязненном воздухе.

Помимо двуокиси серы на лишайники губительно действуют и другие загрязнители - окислы азота (NO , NO_2), окись углерода (CO , CO_2), соединения фтора и другие. Кроме того, в городах сильно изменены и микроклиматические условия: города "суше" по сравнению с естественными ландшафтами (примерно на 5%), теплее на $1-3^\circ$, беднее светом.

Таким образом, лишайники являются **интегральным индикатором** состояния среды и косвенно отражают общую "благоприятность" комплекса абиотических факторов среды на биотические.

Кроме того, большинство химических соединений, негативно влияющих на флору лишайников, входят в состав основных химических элементов и соединений, содержащихся в выбросах большинства промышленных производств, что позволяет использовать лишайники именно в качестве индикаторов антропогенной нагрузки.

Все это предопределило использование лишайников и лишеноиндикации в системе глобального мониторинга состояния окружающей среды.

Попытка использовать лишайники в качестве биоиндикаторов состояния окружающей среды положена и в основу данного учебного задания. Его **целью** является оценка пространственных различий загрязнения воздуха с использованием лишайников.

При выполнении данного задания **понадобятся**: прозрачные палетки для учета лишайников, измерительные ленты с миллиметровыми делениями (1 метр) и компас.

Общий план организации исследования

Основной идеей данного занятия является обучение школьников методам организации лишеноиндикационных исследований. Поскольку данная работа, также как и другие работы по экологическому мониторингу, включенные в данный курс, является весьма сложной и имеет множество нюансов, здесь мы кратко обрисовываем общий план работы, а в нижеследующих главах речь пойдет о конкретных правилах организации работ, технике сбора материала и способах обработки результатов полевых измерений.

Итак, работу следует начать с ознакомления учащихся с понятием биологического мониторинга и биоиндикации, биологических особенностях лишайников как биоиндикаторов, а также с основными методами лишеноиндикации.



Во вводной (учебной) части занятия следует познакомить учащихся с самими объектами исследования – лишайниками. Хорошо, если в школе или экологическом центре есть коллекция лишайников, но она не заменит знакомства с живыми представителями этих уникальных и красивых организмов. Для ознакомления с основными видами лишайников следует совершить экскурсию в один из богатых ими биотопов или к месту, где можно увидеть большое разнообразие видов. В полевом Центре «Экосистема» для этих целей специально

сохранен участок старого дощатого забора, на 3-х метровом отрезке которого можно насчитать до 15 видов лишайников – практически все их разнообразие в данной местности.

Следующий этап учебного занятия – знакомство школьников с техникой измерений численности лишайников. Для этого на любом стволе, покрытом лишайниками, производятся показательные измерения двумя основными способами – палеткой и мерной лентой (см. ниже).

Самостоятельная исследовательская 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 20-100 метров (в зависимости от интенсивности потока автотранспорта).

Маркировать площадки для целей данного занятия необязательно, однако их выбору стоит уделить большое внимание (см. «Основные правила организации лишеноиндикационных исследований»).

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 измерения, бригады возвращаются на базу и под руководством

педагога начинают обработку собранного материала, обобщая результаты в одну исследовательскую работу (статью или доклад).

Коротко о существующих методах лишеноиндикации

Методы лишеноиндикации подразделяются на две большие группы - **активную** лишеноиндикацию и **пассивную** лишеноиндикацию.

Под активной лишеноиндикацией понимают так называемые трансплантационные методы. На них мы остановимся очень кратко, так как речь в дальнейшем пойдет о пассивной лишеноиндикации.

Трансплантационные методы заключаются в том, что лишайники из незагрязненных районов трансплантируются (пересаживаются) в изучаемый район или же участки коры деревьев, покрытые лишайниками, срезаются и перемещаются на столбы или другие сооружения, расположенные в загрязненных районах. Их реакция исследуется путем периодического измерения или фотографирования.

Другой (чисто экспериментальный) подход включает перенос и исследование лишайников в лаборатории, где на них воздействуют различными концентрациями загрязняющих веществ. Одним из первых симптомов поражения лишайников является уменьшение толщины таллома, а также хлороз из-за разрушения хлоропластов. Репродуктивные структуры лишайников изменяются или прекращают развитие. По скорости отмирания лишайников можно судить о мощности загрязнения.

Для трансплантации часто используют лишайники, растущие на засохших ветвях деревьев. При этом ветка из чистого района переносится в исследуемый район и помещается, сохраняя пространственную ориентацию, в условия, максимально близкие по увлажнению и освещенности.

Основным методом **пассивной лишеноиндикации** является наблюдение за изменениями относительной **численности** лишайников.



Для этого проводят измерения проективного покрытия лишайников на постоянных или переменных пробных площадках и получают средние значения проективного покрытия для исследуемой территории. На других аналогичных площадках или на тех же площадках через определенный промежуток времени также проводят измерения проективного покрытия. По изменению как общего проективного покрытия, так и отдельных видов можно, используя шкалы чувствительности лишайников и специальные индексы, судить об увеличении или уменьшении загрязнения в пространстве или во времени.

Пробные площадки могут быть как постоянными и использоваться в течение ряда лет, так и переменными, т.е. "одноразовыми".

Основные правила организации лишеноиндикационных исследований

С началом использования лишайников в системе мониторинга окружающей среды возникла насущная потребность в разработке **жестких стандартов в использовании методик лишеноиндикации.**

Причиной является то, что использование лишайников (так же как и любых других живых объектов) в качестве естественных индикаторов, сопряжено с реальной опасностью **принять естественные локальные различия в структуре лишайниковых сообществ за различия, вызванные воздействием антропогенного фактора.**

Опыт последних лет показал, что использование несовершенных (примитивных) методик лишеноиндикации вводит исследователей (особенно начинающих) в заблуждение относительно причин тех или иных различий. Так, например, сравнение двух участков (в городе и за городом) на состав и численность лишенофлоры, при том что в городе лишайники исследуются на липах и кленах, а в лесу - на соснах и березах, - абсолютно неправомерно. Такие данные даже нет смысла собирать и, уж тем более, анализировать.

При организации мониторинга методами пассивной лишеноиндикации следует придерживаться следующих основных правил.

1) Предпочтительным является изучение лишайников на постоянных площадках и модельных деревьях в течение длительного времени, а не разовое обследование серии пробных площадок.

2) В любом случае, пробные площадки должны закладываться в гомогенных по составу и возрасту фитоценозах (в идеале - например, в монопородных одновозрастных посадках).

3) Биотические и абиотические условия среды на сравниваемых пробных площадках должны быть по возможности одинаковыми (состав и структура фитоценозов, форма рельефа, увлажнение, освещенность и т.п.).

4) Модельные деревья на пробных площадках должны быть по возможности постоянными, а не случайными.

5) В любом случае, на сравниваемых площадках модельные деревья должны быть приблизительно одновозрастными, без видимых повреждений, принадлежать к одной из основных лесообразующих пород.

6) При использовании переменных пробных площадок (при "одноразовых" исследованиях) их количество должно быть в пределах одного десятка (в зависимости от задачи исследования), а число модельных деревьев на каждой площадке должно измеряться несколькими десятками - для получения большого объема статистически достоверной информации.

Выбор пробных площадок и модельных деревьев

Процедура выбора и заложения пробных площадок и модельных деревьев, на которых будут проводиться исследования лишайниковых сообществ, очень важна и, можно даже сказать, является основной при проведении лишеноиндикационных исследований.

Пробной площадкой называется участок территории (в типичном случае - леса), на котором проводятся лишенологические исследования и в пределах которого производится выбор модельных деревьев.

К процедуре выбора пробных площадок имеется несколько подходов, в зависимости от того, краткосрочным («одноразовым») является исследование, или рассчитанным на много лет.

При выполнении данного задания, когда требуется произвести учеты лишайников на нескольких удаленных друг от друга участках (при исследовании влияния загрязнений какого-либо объекта на окружающую среду - по мере удаления от объекта) - пробные площадки и модельные деревья выбираются произвольно и не маркируются (это так называемые "переменные площадки").

При этом, однако, следует жестко придерживаться двух вышеизложенных правил: 1) структура и состав фитоценозов на удаленных друг от друга пробных площадках должны быть по возможности, схожими (например, сравниваются пробные площадки только в одновозрастных сосновых посадках, или только в старых ельниках, или только в березняках и т.п.) и 2) модельные деревья, измеряемые на нескольких удаленных друг от друга площадках, должны быть обязательно одной породы и по возможности одного возраста.

Если мониторинг планируется **долговременным**, т.е. в течение нескольких лет (данным заданием не предусмотрено, но рекомендуется при планировании «серьезных» мониторинговых исследований силами школьников) - закладываются **постоянные площадки**. Часто их можно совмещать со стандартными геоботаническими пробными площадками, или площадками для измерения жизненного состояния лесов (см. занятие №5, осень).

Независимо от того, постоянные или разовые исследования планируются, при заложении площадок следует соблюдать следующие правила:

- **избегать придорожных деревьев, так как на их эпипокров влияют другие условия по сравнению с деревьями, растущими далеко от дорог;**
- **избегать загущенных лесонасаждений с очень низкой освещенностью;**
- **остерегаться пастбищ и лугов, которые обрабатывались пестицидами или интенсивно удобрялись.**

В обоих случаях, как при одноразовом исследовании, так и при планировании многолетних наблюдений, **модельные деревья** в пределах пробных площадок выбираются произвольно, **по случайному принципу**, независимо от того, растут на них лишайники обильно или их нет совсем.

Техника заложения пробных площадок

В лесу, где планируется проводить измерения, маркируется центр пробной площадки - например в землю вбивается кол или помечается краской одно из деревьев. Далее вокруг центра площадки выбираются ближайшие 20 деревьев (не менее 10) одной породы и примерно одного возраста. При этом никаких исключений субъективного порядка (например, данное дерево слишком богато или слишком бедно лишайниками) не допускается. На этих модельных деревьях и проводятся измерения численности лишайников.

В случае одноразового обследования деревья никак не маркируются, а в случае планирования многолетних наблюдений - помечаются **долговременными маркерами**. В качестве маркеров можно использовать металлические (алюминиевые, латунные) пластинки с выбитыми (процарапанными) номерками, которые прибиваются к стволам деревьев маленькими гвоздиками. Их наличие на стволе никак на численность лишайников и общее жизненное состояние дерева не влияют. Маркеры следует размещать на стороне, обращенной к центру пробной площадки, чтобы все помеченные деревья были хорошо видны из одной точки.

Методика измерения относительной численности лишайников

Для измерения численности лишайников на деревьях, в частности – их проективного покрытия, пользуются, в основном, двумя техническими приемами - способом «линейных пересечений» и способом «палетки». Оба эти способа дают примерно одинаковые результаты, но с целью унификации результатов при выполнении данного учебного задания мы рекомендуем использовать первый способ – «линейных пересечений».

Способ «палетки» менее точен, хотя и более нагляден и, поэтому, может быть использован в учебных целях, поэтому мы приведем здесь его описание.

«Способ палетки» является методом непосредственного измерения проективного покрытия лишайников на стволах деревьев, т.е. измерения процентного отношения площади, покрытой лишайниками, к площади, свободной от лишайников.



Палетка представляет собой рамку, разделенную на квадраты размером 1 x 1 см. Это может быть сетчатая проволочная рамка или прозрачная пленка. Наружный размер палетки может быть любым - 10 x 10, 10 x 20, 10 x 40 см и т.д. С одной стороны, чем больше - тем лучше, с другой - измерение лишайников с помощью больших палеток более трудоемко (но более точно).

Прозрачную палетку легко изготовить самостоятельно из куска целлофановой пленки, расчертив ее перманентным фломастером на квадраты 1 x 1 см. Еще удобнее сделать ее из прозрачной пластиковой бутылки из-под воды (например, двухлитровой), вырезав ножницами кусок и расчертив его на квадраты 1 x 1 см острием ножа или осколком стекла.

Процедура измерений проста - палетку накладывают на ствол дерева и фиксируют кнопками или булавками. Палетка, вырезанная из бутылки, легче закрепляется на стволе дерева потому что постоянно стремится к округлой форме.

При работе с палеткой на каждом стволе измерения производят четыре раза - с четырех сторон света. Подсчет лишайников на каждом участке ствола производят следующим образом. Сначала считают число квадратов, в которых лишайники занимают на глаз больше половины площади квадрата (а), условно приписывая им покрытие, равное 100 %. Затем подсчитывают число квадратов, в которых лишайники занимают менее половины площади квадрата (b), условно приписывая им покрытие, равное 50 %. Данные записывают в рабочую таблицу.

Общее проективное покрытие в процентах (R) вычисляют по формуле: $R = (100a + 50b) / C$, где C - общее число квадратов палетки (например, при использовании палетки 10 x 10 см с ячейками 1 x 1 см, C = 100).

В целом же, несмотря на свою наглядность и простоту, **недостатком** этого способа измерений является сложность оценки численности каждого из видов лишайников в отдельности. Так, например, при наличии на обследуемом участке коры дерева нескольких видов лишайников процедура оценки проективного покрытия существенно усложняется - каждый вид приходится считать в отдельности, так, что на обследование одной учетной площадки (даже размером 10 x 10 см) уходит много времени.



Этого недостатка лишен способ **"линейных пересечений"**, менее наглядный и требующий немного более сложных расчетов, но зато более точный и универсальный.

Каким бы способом ни подсчитывались лишайники, все измерения производят **на постоянной высоте** – примерно 150 см от земли (главное - везде одинаково).

Перед началом измерений заготавливают специальные таблицы, в которые вносят основные сведения о месте

проведения измерений и собственно результаты подсчетов:

Характеристика пробной площадки:

1. Дата:
2. Номер:
3. Местоположение:
4. Экспозиция и угол склона:
5. Описание фитоценоза:
6. Фамилии исследователей:

Характеристики модельных деревьев и результаты измерений:

1. Номер дерева:	Виды лишайников	Местоположение талломов (см)	Проективное покрытие %
2. Порода дерева:	1. ...	7,1-8,5; 12,7-14,2; 30,4-32,5; 56,4-58,8;	9,25
3. Высота дерева:	2.-...; ...-...	...
4. Длина окружности ствола: 800 см	3.-...	...
1. Номер дерева:	1.-...; ...-...	...
2. Порода дерева:	2.-...	...
3. Высота дерева:
4. Длина окружности ствола:

... и т.д. для каждого модельного дерева на площадке.

Определение проективного покрытия лишайников способом «линейных пересечений», в отличие от способа «палетки», основано на измерении не площадных, а линейных показателей. Способ заключается в наложении на окружность ствола мерной ленты с фиксированием всех пересечений ее со слоевищами лишайников. В качестве ленты можно использовать простой «портняжный метр» (с миллиметровыми делениями).

Измерение лишайников этим способом производится следующим образом.



После выбора модельного дерева исследователь определяет на стволе точку, находящуюся на высоте 150 см от комля с **северной стороны** (использовать компас). Затем на ствол накладывается мерная лента с делениями таким образом, чтобы ноль шкалы ленты совпадал с выбранной точкой, а возрастание чисел на шкале соответствовало движению по часовой стрелке (с севера на восток).

После полного оборота вокруг ствола лента закрепляется на стволе булавкой в

нулевой точке. Совмещая последнее деление и ноль ленты определяют длину окружности ствола. Ее при дальнейших расчетах принимают за 100 %.

После этого начинают измерения, двигаясь взглядом по ленте и фиксируя начало и конец каждого пересечения ленты с талломами лишайников (чтобы не сбиться – удобно использовать указатель – карандаш, ручку, спичку и т.п.). Измерения проводятся с точностью до 1 мм.

Удобнее всего вести измерения вдвоем - один отсчитывает расстояния на ленте и диктует, другой записывает значения в полевой дневник (не забывая отметить в нем «общую» информацию о площадке и учетном дереве – см. таблицу).

По данным полевых измерений в домашних условиях производят расчет проективного покрытия лишайников, т.е. определяют отношение покрытой лишайниками части ствола к его общей поверхности.

Вначале подсчитывается общая (суммарная) длина (протяженность) талломов лишайников. Затем, зная общую длину окружности ствола и принимая ее за 100%, рассчитывается проективное покрытие лишайников (в %).

Пример:

Из журнала полевых измерений следует, что на всем протяжении ствола длиной 80 см (800 мм) пересечения ленты с талломами наблюдались на отметках: 7,1-8,5 см, 12,7-14,2 см, 30,4-32,5 см, 56,4-58,8 см. Общая сумма "протяженности" лишайников составляет 7,4 см (1,4 + 1,5 + 2,1 + 2,4). По пропорции 80 см - 100%, 7,4 см - x % ($7,4/80 \times 100$), находим величину проективного покрытия - 9,25%.

Проективное покрытие можно определять как для каждого вида лишайника в отдельности, так и для всех видов в сумме – это зависит от знаний учащихся и их руководителя. Условиями данного учебного занятия предусмотрены два варианта дальнейших расчетов – с определением видовой принадлежности лишайников и без определения. Проективное же покрытие рассчитывается в любом случае.

Учет проективного покрытия методом линейных пересечений (также, впрочем, как и при использовании палетки) проводится на нескольких модельных деревьях в пределах постоянных или разовых пробных площадок. Как было указано выше, желательно обследовать 20 (не менее 10) деревьев.

При проведении измерений кустистых эпифитных лишайников иногда возникают проблемы, поскольку они представляют собой разветвленные веточки, распростертые по субстрату, торчащие, либо повисающие. Толщина веточек в большинстве случаев меньше 1 мм, поэтому при их измерении систематически завышается величина пересечения их с лентой. В некоторых случаях на стволе встречается несколько десятков пересечений веточек кустистых лишайников с мерной лентой; при этом завышение покрытия на всем стволе, определяемое как сумма длин отдельных пересечений, может достигать значительной величины. Для того чтобы уменьшить ошибку, надо при измерениях просто фиксировать количество веточек этого лишайника, пересеченных лентой, а оценку суммарного покрытия данного лишайника получать с помощью данных о средней толщине одной веточки.

Обработка результатов полевых измерений

Как было сказано выше, биоиндикация опирается на закон экологической индивидуальности видов. Разные виды реагируют на определенные факторы внешней среды (в том числе и антропогенные) по-разному - каждый вид имеет индивидуальные экологические амплитуды, оптимальные, пессимальные и летальные условия среды.

Основываясь на этом заключении, в 60-х годах были составлены общие представления о типологии (классификации) лишайников по их выносливости (полеотолерантности, чувствительности, сенсильности - все эти термины являются синонимами и встречаются в литературе) по отношению к загрязнениям среды.

При оценке уровня загрязнения той или иной территории методами лишайноиндикации используется два подхода: **качественный** и **количественный**.

В первом случае "степень загрязненности" территории определяется на основе тщательного изучения видового состава лишайников. Используя данные о наличии или отсутствии тех или иных видов на изучаемой территории и специальные таблицы классов полеотолерантности, составленные лишайнологами (см. ниже), можно определить, к какой условной категории относится та или иная изученная территория.

Во втором случае для оценки степени загрязненности территории используются специальные лишайноиндикационные индексы, учитывающие как отношение встреченных видов лишайников к тому или иному классу полеотолерантности, так и данные количественных измерений их численности.

Использование классов полеотолерантности лишайников

В результате многолетних полевых и экспериментальных исследований была проведена работа по объединению видов лишайников в **классы полеотолерантности**, т.е. в группы, члены которых более или менее одинаково реагируют на определенные загрязняющие вещества и их концентрации в атмосферном воздухе.

Наиболее пригодной для большей территории России является классификация Х.Х.Трасса (1985), составленная им на примере лишайниковых сообществ фитоценозов Прибалтики, Кавказа и Дальнего Востока:

Типы местообитаний по степени влияния антропогенных факторов и встречаемость в них видов	Виды лишайников	Классы полеотолерантности
Естественные местообитания (ландшафты) без ощутимого антропогенного влияния	<i>Lecanactis abietina</i> , <i>Lobaria scrobiculata</i> , <i>Menegzzia terebrata</i> , <i>Mycoblastus sanguinarius</i> , виды родов <i>Pannaria</i> , <i>Parmeliella</i> , самые чувствительные виды рода <i>Usnea</i>	I
Естественные (часто) и антропогенно слабоизмененные местообитания (редко)	<i>Bryoria chalybeiformis</i> , <i>Evernia divaricata</i> , <i>Cyalecta ulmi</i> , <i>Lecanora coilocarpa</i> , <i>Ochrolechia androgyna</i> , <i>Parmeliopsis aleurites</i> , <i>Ramalina calicaris</i>	II
Естественные (часто) и антропогенно слабоизмененные местообитания (часто)	<i>Bryoria fuscescens</i> , <i>Cetraria chlorophylla</i> , <i>Hypogymnia tubulosa</i> , <i>Lecidea tenebricosa</i> , <i>Opegrapha pulcaris</i> , <i>Pertusaria pertusa</i> , <i>Usnea subfloridana</i>	III
Естественные (часто), слабо (часто) и умеренно (редко) измененные местообитания	<i>Bryoria implexa</i> , <i>Cetraria pinastri</i> , <i>Graphis scripta</i> , <i>Lecanora leptyroides</i> , <i>Lobaria pulmonaria</i> , <i>Opegrapha diaphora</i> , <i>Parmelia subaurifera</i> , <i>Parmeliopsis ambigua</i> , <i>Pertusaria coccodes</i> , <i>Pseudevernia furfuraceae</i> , <i>Usnea filipendula</i>	IV
Естественные, антропогенно слабо- и умеренно измененные местообитания (с равной встречаемостью)	<i>Caloplaca pyracea</i> , <i>Lecania cyrtella</i> , <i>Lecanora chlorotera</i> , <i>L.rugosa</i> , <i>L.subfuscata</i> , <i>L.subrugosa</i> , <i>Lecidea glomerulosa</i> , <i>Parmelia exasperata</i> , <i>P.olivacea</i> , <i>Physcia aipolia</i> , <i>Ramalina farinacea</i>	V
Естественные (сравнительно редко) и антропогенно умеренно (часто) измененные местообитания	<i>Arthonia radiata</i> , <i>Caloplaca aurantiaca</i> , <i>Evernia prunastri</i> , <i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Lecanora allophana</i> , <i>L.carpinea</i> , <i>L.chlarona</i> , <i>L.pallida</i> , <i>L.symmictera</i> , <i>Parmelia acetabulum</i> , <i>P.subargentifera</i> , <i>P.exasperatula</i> , <i>Pertusaria discoidea</i> , <i>Hypocenomyce scalaris</i> , <i>Ramalina fraxinea</i> , <i>Rinodina exigua</i> , <i>Usnea hirta</i>	VI
Умеренно (часто) и сильно (редко) антропогенно измененные местообитания	<i>Caloplaca vitellina</i> , <i>Candelariella vitellina</i> , <i>C.xanthostigma</i> , <i>Lecanora varia</i> , <i>Parmelia conspurcata</i> , <i>P.sulcata</i> , <i>P.verruculifera</i> , <i>Pertusaria amara</i> , <i>Phaeophyscia nigricans</i> , <i>Phlyctis agelaea</i> , <i>Physcia ascendens</i> , <i>Ph.stellaris</i> , <i>Ph.tenella</i> , <i>Physconia pulverulacea</i> , <i>Xanthoria polycarpa</i>	VII
Умеренно и сильно антропогенно измененные местообитания (с равной встречаемостью)	<i>Caloplaca cerina</i> , <i>Candelaria concolor</i> , <i>Phlyctis argena</i> , <i>Physconia grisea</i> , <i>Ph.enteroxantha</i> , <i>Ramalina pollinaria</i> , <i>Xanthoria candelaria</i>	VIII
Сильно антропогенно измененные местообитания (часто)	<i>Buellia punctata</i> , <i>Lecanora expallens</i> , <i>Phaeophyscia orbicularis</i> , <i>Xanthoria parietina</i>	IX
Очень сильно антропогенно измененные местообитания (встречаемость и жизнеспособность видов низкие)	<i>Lecanora conizaeoides</i> , <i>L.hageni</i> , <i>Lepraria incana</i> , <i>Scoliciosporum chlorococcum</i>	X

Сравнение видового состава найденных в той или иной местности лишайников с данными этой таблицы поможет определить (весьма условно) уровень общей, интегральной, «нарушенности» местности, в том числе в результате загрязнения воздуха.

Использование лишеноиндикационных индексов

Более точно и, главное, количественно, определить уровень нарушенности местообитания помогут так называемые лишеноиндикационные индексы, учитывающие, в основном, видовое разнообразие, т.е. видовое богатство (число видов) и численность разных видов лишайников.

На сегодняшний день существует несколько десятков лишеноиндикационных индексов, как тех, которые учитывают видовой состав лишайников, так и тех, при расчете которых нужно знать только видовое богатство (число видов).

Для целей данного учебного задания приведем два наиболее простых индекса – по одному из этих двух типов.

Индекс полеотолерантности (IP) учитывает видовой состав лишайников (т.е. для его использования нужно определять виды) и вычисляется по формуле: $IP = \sum_{i=1}^n \frac{AiCi}{Cn}$,

где n - количество видов на описанной пробной площадке, Ai - класс полеотолерантности i -того вида (от 1 до 10, см. правый столбец таблицы), Ci - проективное покрытие i -того вида в баллах, Cn - сумма значений покрытия всех видов (в баллах).

Индекс полеотолерантности вычисляется для всех обследованных модельных деревьев на площадке в среднем. Общая обследованная площадь поверхности стволов при использовании палеток должна быть не менее 0,7 м², а при использовании мерной ленты – не менее 20 метров длины окружностей.

Оценка проективного покрытия дается по 10-балльной шкале:

Балл	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Покрытие, %	1-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-80	80-100

Значения IP колеблются между 1 и 10. Чем больше значение IP , тем более загрязнен воздух в соответствующем местообитании. Нулевое значение IP может быть только в случае полного отсутствия лишайников.

Пример:

По результатам исследований проективного покрытия в пределах одной пробной площади на 20 модельных деревьях мерной лентой получены следующие данные:

Вид "1-й" - среднее значение проективного покрытия - 15%, вид "2-й" - 10 %, вид "3-й" - 3%, вид "4-й" - 1%.

По таблице находим значения покрытия в баллах Ci : для вида "1" - 4 балла, для вида "2" - 3 балла, для вида "3" - 2 балла и для вида "4" - 1 балл. Сумма значений покрытия Cn : 4+3+2+1 = 10 баллов.

Предположим, что в таблице 2 "первый" вид имеет 6-й класс полеотолерантности, "2-й" вид - 7-й, "3-й" вид - 7-й и "4-й" вид - 8-й класс.

Полученные значения подставляем в формулу и получаем:

$$IP = ((4 \times 6) / 10) + ((3 \times 7) / 10) + ((2 \times 7) / 10) + ((1 \times 8) / 10) = 6,7$$

Теперь этот показатель можно сравнивать с аналогичными показателями, полученными для других пробных площадок.

Значения IP скоррелированы со среднегодовым содержанием SO₂ в воздухе:

IP	Концентрация SO ₂ (мг/м ³)	Условная зона
1 – 2	Менее 0,01	Нормальная
2 – 5	0,01 - 0,03	Малого загрязнения
5 – 7	0,03 - 0,08	Среднего загрязнения
7 – 10	0,08 - 0,10	Сильного загрязнения
10	0,10 - 0,30	Критического загрязнения
0	более 0,3	Лишайниковая пустыня

Другим способом расчетов, не требующим знаний о видовом составе лишайников, является **индекс чистоты атмосферы, IAQ** (Index of Atmosphere Quality, IAQ):

$$IAQ = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i C_i}{10}$$
, где Q_i - экологический индекс определенного i -того вида (или индекс ассоциированности), C_i – показатель обилия i -того вида, а n - количество видов.

Вначале IAQ рассчитывается для каждого модельного дерева в отдельности, затем находится среднее значение для всей площадки в целом.

Экологический индекс (индекс ассоциированности) Q характеризует количество видов, сопутствующих данному виду на всей пробной площадке, плюс сам описываемый вид. Фактически – это общее число видов, обнаруженных на данной площадке.

Оценка проективного покрытия вида дается по такой же 10-балльной шкале, что и при расчете индекса полеотолерантности.

Таким образом, чем больше проективное покрытие лишайников, и чем больше видов обитает на данном участке местности, тем выше показатель IAQ и, соответственно, тем чище воздух местообитания. Значения IAQ могут располагаться в диапазоне от 0 до бесконечности (теоретически).

Такой расчет, повторим, производится вначале для каждого модельного дерева на площадке. Затем находится среднее значение IAQ для всей площадки в целом (значения IAQ для каждого дерева складываются и полученная сумма делится на число модельных деревьев).

Пример:

Предположим, что на дереве 1 встречены три разных вида с показателями покрытия 5, 15 и 25 %. А всего на площадке (на всех деревьях) зарегистрировано 12 видов. Показатель ассоциированности Q для каждого из них составляет, таким образом, 12.

Оцениваем покрытие видов в баллах: первый вид – 3, второй – 4, третий – 5 баллов.

Полученные значения подставляем в формулу и получаем:

$$IAQ = ((12 \times 3) / 10) + ((12 \times 4) / 10) + ((12 \times 5) / 10) = 19,7$$

Аналогичную операцию проводим для всех модельных деревьев, а затем находим среднее значение для всей изученной площадки.

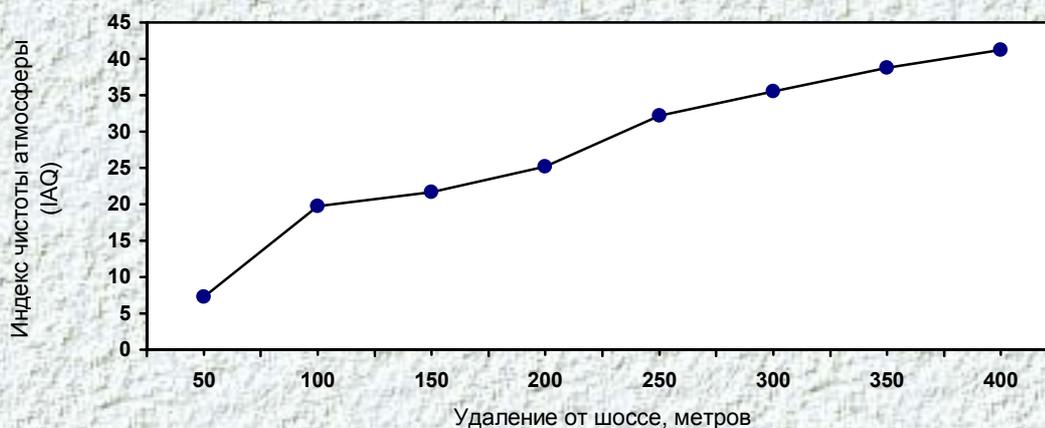
После этого полученный средний для площадки показатель мы можем сравнивать с аналогичными показателями, полученными для других площадок.

Также, как и индекс полеотолерантности, индекс чистоты атмосферы IAQ коррелирует с концентрацией SO² в воздухе (по Трассу, 1985):

IAQ	Концентрация SO ₂ , мг/м ³
0 - 9	более 0,086
10 - 24	0,086 - 0,057
25 - 39	0,057 - 0,028
40 - 54	0,028 - 0,014
более 55	менее 0,014

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 загрязнения воздуха (IP и IAQ) на данных площадках:

**Зависимость чистоты воздуха от
удаления от автотрассы**



ИЛИ:

**Зависимость чистоты воздуха от
удаления от города**



Заключительные рекомендации

Успешность проведения лишеноиндикационных исследований зависит, в первую очередь, от четкости постановки эксперимента (размещения пробных площадей), объема собранного материала и достоверности измерений.

Повторим основные правила организации такого лишенологического исследования в рамках данного учебного задания.

1) В окрестностях школы (экологического центра), руководствуясь картой, следует заложить несколько площадок для изучения лишайников. Площадки следует располагать по линии удаления от потенциального источника загрязнения на расстоянии от 300 до 1000 метров друг от друга (в зависимости от масштабов источника). Желательно заложить не менее 4-5 площадок.

2) Для исследования лишайников следует выбирать по возможности одновозрастные однородные леса (например, посадки) с примерно одинаковыми условиями физической среды (экспозиции склона, освещенности, влажности и т.п.).

3) В качестве модельных деревьев при измерениях численности лишайников на разных площадках всегда использовать один и тот же вид дерева.

4) Измерения численности проводить везде одинаковым способом – мерной лентой на высоте 150 см.

5) Во время измерений численности по возможности определять виды лишайников, а если это невозможно – подсчитывать хотя бы число разных видов, встречающихся на данной площадке, а при подсчете численности на каждом конкретном дереве различать виды.

6) По данным полевых измерений рассчитать показатели загрязненности воздуха – индекс полеотолерантности (IP) (только если проводилось определение видов) и индекс чистоты атмосферы (IAQ) – для всех обследованных площадок. Проанализировать различия между площадками.

7) В случае, если рассчитывались оба показателя загрязненности воздуха (IP и IAQ), сравнить полученные разными способами результаты – как данные индексы отражают различия между площадками и совпадают ли значения концентрации SO_2 в воздухе на разных площадках.