

**Автономная некоммерческая общеобразовательная организация
«Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы**

(АНОО «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы)

XX научно-практическая конференция «Старт в инновации»

**Лихеноиндикация состояния атмосферы по
количественному и качественному составу
лихенобиоты с использованием электронных
технологий**

Авторы работы:

Баранов Г., 7 «Б»

Васин П., 7 «Б»

Нехин В., 7 «Б»

Руководители:

Сальникова Е.И.

Московская область, г. Долгопрудный

2020 – 2012 уч. год

Оглавление

Введение	3
Актуальность работы	3
Цель и задачи	3
Литературный обзор.....	3
Краткая история лихенологии.....	6
Лихеноиндикация	8
Практическая часть	10
Методика	10
Считывание данных	10
Лихеноиндикация	10
Выводы.....	14
На будущий год	14
Машинное зрение.....	14
Список литературы.....	15
Приложения	15

Введение

Актуальность работы

В наше время загрязнение атмосферы является одной из главных проблем человечества. Одним из самых доступных методов оценки состояния воздуха является лишеноиндикация. Этот метод может использоваться с разными целями: оценка состояния атмосферы района, например для выбора места для покупки недвижимости или ежедневных прогулок; оценка состояния экосистем для своевременного принятия мер по сохранению природы. Это относительно простой метод, но на лишеноиндикацию «дедовскими способами» с использованием обычной палетки уходит очень много времени. Использование современных электронных средств и информационных технологий, вероятно, позволит упростить использование метода лишеноиндикации.

Цель и задачи

Цель:

- Оценить состояние атмосферы районов проживания членов нашей команды и прилежащих территорий методом лишеноиндикации.

Задачи:

- 1) Изучить учебные материалы по лишеноиндикации.
- 2) Модифицировать и апробировать методику, по которой будут собираться данные для лишеноиндикации.
- 3) Разработать и апробировать методику обработки фотографий
- 4) Выбрать места сбора лишеноиндикационных материалов.
- 5) Собрать фотографии для лишеноиндикации по разработанной методике.
- 6) Обработать собранные фото.
- 7) Провести оценку состояния атмосферы и лишенобиоты в районах проведения лишеноиндикации.

Литературный обзор

Строение и морфология лишайника

Лишенизированные грибы (лишайники) представляют собой ассоциацию гетеротрофного (гриба) и фотосинтезирующего организмов (микроводоросли или цианобактерии), в результате которой возникает более или менее стабильный таллом специфической структуры. Этот таллом – уникальный организм со своей анатомией, морфологией, физиологией, биохимией и прочими свойствами, которые часто присущи только лишайнику. Гриб обеспечивает механическую и химическую защиту фотобионта, снабжает организм минеральными веществами и водой, обеспечивает якорную (кроме свободноживущих видов) и репродуктивную функции. Водоросли или цианобактерии в двухкомпонентном лишайнике – обеспечивают снабжение организма органическими веществами, в трехкомпонентном же лишайнике (содержит оба фотобионта) водоросль сохраняет прежнюю функцию, а цианобактерия выполняет функцию фиксации азота из атмосферы.

Таллом лишайника формирует гриб. Он чаще всего составляет 90–95 % массы таллома и создает анатомический тип и жизненную форму таллома. Анатомически

слоевища лишайников могут быть только двух основных типов: гомемерные и гетеромерные. (приложение 1.1)

У гомемерных лишайников гифы гриба и клетки фотобионта распределены равномерно по всему таллому (род *Collema*), а у гетеромерных таллом дифференцирован на слои (род *Peltigera*). (приложение 1.2)

Большая часть видов лишайников имеет гетеромерное строение, то есть их слоевище дифференцировано на слои. Основную часть таллома составляют гифы гриба. Они могут варьировать по длине, форме, толщине стенок, ветвлению и т.д.

Часто по аналогии с истинными тканями высших растений слои с определенным образом организованными гифами называют «грибной тканью», плектенхимой. Параплектенхиму образуют более или менее одинаковые по длине и высоте тонкостенные клетки. Правильно вытянутые склеенные вместе клетки, имеющие утолщенные стенки, образуют прозоплектенхиму. Следует помнить, что «грибная ткань» не является истинной тканью, поскольку она не происходит из одной клетки, а представляет собой совокупность грибных гиф, ориентированных строго определенным образом.

Способы взаимодействия гиф гриба с клетками фототрофного партнера различны. Так, гифы могут приклеиваться к клеточной стенке фотобионта (аппрессории), внедряться в клеточные стенки (гаустории), а могут проникать в плазмалемму, нарушая целостность клеточной стенки. Долговременное выживание этой ассоциации зависит от сбалансированного и метаболизма роста симбионтов.

Верхняя поверхность таллома часто покрыта коровым слоем (кортексом). Клетки кортекса имеют толстые клеточные стенки, гифы лежат очень плотно и погружены в желатинизированный клейкий матрикс, основным компонентом которого являются полисахариды. Коровый слой может содержать пигменты, придающие лишайнику окраску. Это позволяет регулировать количество света, проникающего внутрь таллома, обеспечивает газо- и водообмен.

Под верхним коровым слоем лежит слой фотобионта. Он представлен клетками фотобионта, которые оплетает гриб (гонидиями). Этот слой называется водорослевым или гонидиальным или альгальной зоной. Именно здесь происходит синтез органических соединений, необходимых лишайнику. Фотобионт, как и свободноживущие водоросли и цианобактерии, осуществляет процесс фотосинтеза, но в лишайниках значительная часть синтезируемых продуктов (до 80 %) уходит на поддержание жизнедеятельности микобионта. Что и не удивительно, учитывая его массовую долю от таллома лишайника.

Следующий слой — сердцевина или медулла. Этот слой состоит только из грибных гиф и часто является самой старой частью лишайника. Гифы тонкостенные, нитчатые, ветвящиеся, обычно рыхло переплетенные. Чаще всего медулла белая, но может быть желтой, оранжевой, розовой. Основные функции медуллы: создание и поддержание стабильности таллома, газообмен, поглощение и накопление воды, а также питательных веществ. Иногда гифы медуллы служат для прикрепления таллома к субстрату. Такие талломы практически невозможно отделить от субстрата. Есть виды, прикрепляющиеся к субстрату толстым тяжом сердцевинных гиф (гомфом).

Значительное число видов имеет еще и нижний коровый слой, выросты которого служат для прикрепления к субстрату. Это могут быть ризины (с различной морфологией), гомфы или псевдогомфы.

Все лишайники разделяют на макро- и микролишайники. К макролишайникам относят те виды, у которых «невооруженным глазом» можно рассмотреть детали строения

таллома и органов размножения. Микролишайники иногда вообще не видны без лупы, а для выяснения их строения необходимо пользоваться увеличительными приборами и микроскопировать тонкие срезы. Однако очень часто при определении вида макролишайника также необходимо делать срезы талломов и плодовых тел.

Существуют различные системы классификации жизненных форм или биоморф лишайников. Наиболее примитивная система состоит в разделении лишайников на три группы: накипные, листоватые, кустистые. С такой системой знакомят еще в школе. Несколько более сложна современная система классификации биоморф. Она точнее позволяет оценить особенности талломов, что важно прежде всего для определения видов лишайников.

«По расположению талломов относительно субстрата биоморфы группируют в отделы, внутри каждого отдела рассматривают типы, классы и группы жизненных форм. Всего выделяют три отдела жизненных форм:

1) Отдел эндогенных лишайников представлен организмами, слоевище которых развивается внутри субстрата.

2) Отдел свободноживущих лишайников включает виды неприкрепленных к субстрату лишайников.

3) Эпигенные лишайники, развиваются и живут на поверхности субстрата. В свою очередь, делятся на три типа в зависимости от того, как таллом ориентирован по отношению к субстрату: плагиотропные (горизонтально распростертые по субстрату), плагио-ортотропные (часть таллома горизонтально ориентирована, а часть — вертикально) и ортотропные (вертикально ориентированные).

Поскольку число видов эндогенных и свободноживущих лишайников относительно невелико, рассмотрим более подробно отдел эпигенные лишайники.

Эпигенные лишайники, в свою очередь, делятся на три типа в зависимости от того, как таллом ориентирован по отношению к субстрату: плагиотропные (горизонтально распростертые по субстрату), плагио-ортотропные (часть таллома горизонтально ориентирована, а часть — вертикально) и ортотропные (вертикально ориентированные).

Среди плагиотропных выделяют классы накипных, умбиликатных и листоватых (листовых) жизненных форм.

Накипные (или корковые) представляют собой различного вида и цвета корочки, иногда достаточно однородные — группа однообразно-накипных. Однообразные — отнюдь не означает одинаковые: часть таких видов является лепрозными (порошистыми), другие — зернисто-бородавчатыми, плотнокорковыми, трещиноватыми или ареолированными. Наряду с однообразно накипными широко распространена группа чешуйчатых биоморф.

Листоватые лишайники имеют более или менее выраженный плагиотропный таллом с легко различимой верхней и нижней поверхностью. Важными таксономическими признаками являются размеры лопастей, их окраска, форма и конфигурация, а также наличие/отсутствие нижнего корового слоя и морфология прикрепляющих структур. Различают широколопастные и узколопастные ризоидальные, а также вздутолопастные неризоидальные жизненные формы листоватых лишайников.». Учебный определитель лишайников средней России.

Умбиликатные лишайники формируют таллом из одной или нескольких пластин, прикрепленных к субстрату одним или реже несколькими гомфами.

Краткая история лихенологии

До конца XVII века естествоиспытатели мало интересовались лишайниками, поскольку не вполне понимали, что это за организмы. Их считали экскрементами земли, камней или деревьев, полагали, что они — результат разложения высших растений или, напротив, что они образованы соками растений. Первые описания лишайников известны из «Истории растений» Теофраста, который указал два лишайника — *Usnea* и *Rocella*, которые уже тогда использовали для получения красящих веществ. Теофраст предполагал, что они представляют собой наросты деревьев или водоросли. В XVII веке было известно всего 28 видов. Впервые в 1694 году, в своей системе выделил лишайники в отдельную систематическую группу (в составе мхов) французский врач и ботаник Жозеф Питтон де Турнефор.

«Дж. Р. Тоурнфор (Tournefort) впервые отнес лишайники к растениям и выделил их в отдельную группу. Со времен К. Линнея (с середины XVIII века), началась эра систематики — период массового описания видов этой группы растений (как считали в то время). Хотя к 1753 году было известно свыше 170 видов, Карл Линней описал только 80, охарактеризовав их как «скудное крестьянство растительности», и включил вместе с печёночниками в состав «наземных водорослей». Зеленые клетки в лишайниках обычно считали ассимиляционной тканью. В 1825 году появилась работа К.Ф. Вальрота (Wallroth) о функции зеленых клеток, которые он назвал гонидиями. По мнению Вальрота, гонидии — репродуктивные органы, развивающиеся как проростки или почки на нитях и дающие начало новому растению. Его идеи о гонидиях получили признание современников. Микроскопирование показало, что гонидии оплетены бесцветными нитями. Сходство нитей с грибными гифами, а гонидий со свободноживущими водорослями уже в то время отмечалось многими ботаниками. В результате возникло и укрепилось мнение о лишайниках как об автономных растениях, имеющих собственный ранг, тождественный рангу грибов и водорослей.

Датой рождения лихенологии считают (по данным wikipedia) 1803 год, когда ученик Карла Линнея, Эрик Ахариус опубликовал свой труд «Методы, с помощью которых каждый сможет определять лишайники» («*Methodus, qua omnes detectos lichenes ad genera redigere tentavit*»). Он выделил их в самостоятельную группу и создал систему, основанную на строении плодовых тел, в которую вошли 906 описанных на то время видов.

Огромным событием для биологии явилось открытие дуалистической природы лишайников. 10 сентября 1867 года на ежегодном собрании членов Швейцарского Общества Естественной истории в маленьком городке Рейнфельден профессор Симон Швенденер (Schwendener) из Базеля заявил в своем докладе: «...я все больше убеждаюсь в том, что гонидии и нити в талломе лишайника не связаны генетически и что это грибные нити, растущие на водоросли. И лишайники являются не автономными растениями, а грибами, связанными с водорослями». Можно по праву считать и эту дату днем рождения лихенологии как науки.

В том же году российский ботаник и физиолог растений А.С. Фаминцын и его ученик И.В. Баранецкий опубликовали результаты своих экспериментов по развитию гонидий трех различных родов лишайников. Ими был сделан ряд интересных выводов, один из которых являлся основополагающим: лишайниковые гонидии — не что иное, как некоторые свободноживущие одноклеточные водоросли.

В течение нескольких десятилетий большинство систематиков отрицали теорию Швенденера о двойственной природе лишайников, несмотря на наличие доказательств, свидетельствующих в ее пользу, полученных как самим автором, так и некоторыми

другими исследователями. Многие известные лишенологи критиковали эту теорию, прибегая не только к научным аргументам, но и к агрессивной атаке. Такое неприятие было вызвано двумя основными соображениями:

1) Уверенностью в том, что различные организмы не могут жить ни в теснейшем контакте, ни один в другом

2) Невозможностью представить себе, как столь распространенные на Земле организмы, каковыми являются лишайники, могут состоять из разных компонентов.

С. Швенденер считал одним из веских доказательств правильности своей теории тот факт, что никому не удастся вырастить лишайник только из гонидии или только из аскоспоры. Он предложил попытаться прорастить аскоспоры определенного вида лишайника на колонии соответствующих водорослей. Такие эксперименты были выполнены в разных лабораториях в нестерильных условиях: П. Рис (Reese, 1872) ставил эксперименты на представителях рода *Collema*, Е. Шталь (Stahl, 1877) — на *Endocarpon*, Дж. Бонье (Bonnier, 1876) — на *Xanthoria*. В ряде случаев удалось вырастить талломы, но получить плодовые тела не удалось.

Следует отметить, что и в современных условиях синтез лишайника из его компонентов является весьма сложной задачей, требующей тщательного подбора условий стерилизации и сред культивирования. Впервые Е.А. Томасу (Thomas) в 1939 году удалось не только разделить *Cladonia pyxidata* на фото- и микобионт и поддерживать их в культуре, но и ресинтезировать новый полноценный таллом. В настоящий момент ресинтезировано более 30 видов лишайников. Основной вклад в создание и развитие экспериментальной лишенологии внесли работы Вернона Ахмаджана (V. Ahmadjan).

С момента установления дуалистической природы лишайников лишенологи спорят о характере взаимоотношений мико- и фотобионта в теле лишайника. Вначале многие ботаники считали, что «таллом лишайника — консорциум, компоненты которого образуют цельную единицу, так же как различные ткани высшего растения, объединяясь, дают индивидуум». Важным этапом в понимании того, чем же все-таки является лишайник, послужило введение в 1869 году Антоном де Бари (de Bary) понятия «симбиоз». Симбиоз (греч. *σῦμ* — с, *βίος* — жить, проживать), по де Бари, — длительная или постоянная совместная жизнь организмов разных биологических видов. На примере лишайников де Бари развил теорию мутуалистического симбиоза, при котором оба компонента полезны друг другу, и противопоставил его паразитизму. С. Швенденер считал взаимоотношения партнеров в лишайнике паразитическими, а микобионт назвал «мудрым паразитом». Он писал: «...хозяин — гриб, паразит, выживающий за счет других, в рабстве у него зеленые водоросли, которые он собирает вокруг себя. Он оплетает их как паук свою жертву тонкими нитями, но паук высасывает все из своей жертвы и выбрасывает ее, а гриб стимулирует водоросль к более высокой активности и стимулирует разрастание колоний». Крупнейший российский лишенолог начала XX века А.А. Еленкин полагал, что гриб является и паразитом, и сапрофитом: он питается как за счет живых клеток водоросли (паразит), так и за счет мертвых клеток, убивая водоросль собственными токсинами (сапрофит). Еленкин ввел даже термин «эндопаразитосапрофитизм» — внутренний паразитизм гриба на водоросли с элементами сапрофитизма.

Разногласия среди лишенологов о характере взаимоотношений партнеров имеют место и в наши дни. В самом деле, отношения между грибом и водорослью весьма сложны и охватывают диапазон от содружества организмов до буйного, разрушающего фотобионт заболевания. В любом живом лишайнике водоросли способны репродуцироваться быстрее, чем разрушаться, иначе организм «съест сам себя».

Исходя из приведенного выше определения симбиоза, лишайник, несомненно, является симбиотическим (симбиотрофным) организмом, а вот какой это симбиоз — следующий вопрос. При некоторых условиях он может быть мутуалистическим, может стать антагонистическим (вплоть до гибели водоросли), а в стабильных условиях эта ассоциация скорее всего представляет собой контролируемый паразитизм. Лишайник — классический пример симбиоза с диапазоном от мутуализма до паразитизма. В природе масса симбиотических связей (например, микориза, растительно-животные и простейшие, коралловые полипы и водоросли и т.д.). Однако лишайниковый симбиоз — абсолютно уникальное явление, поскольку только лишенизация приводит к образованию совершенно нового организма.

Различные трансформации, имеющие место при образовании лишайника, восхитили многих биологов, и они, в развитие идей Ч. Дарвина, оценили симбиоз как движущую силу эволюции. Лишайники были использованы как ключевой пример, когда в 1909 году русский биолог К. Мережковский развил концепцию симбионтицизма, постулирующую образование новых видов через симбиоз.» Учебный определитель лишайников средней России.

Развитие лишенологии активно продолжается и в наши дни.

Лишеноиндикация

Лишеноиндикация – это метод биоиндикации, при котором лишайники выступают тест-организмами.

Биоиндикация – оценка «качества» среды и/или тенденций её изменения.

Для биоиндикационных исследований лишайники используются практически во всем мире. Это обусловлено целым рядом причин:

- Лишайники — отличные биоаккумуляторы. Они поглощают воду из воздуха вместе с растворенными в ней веществами и накапливают эти вещества в талломе, содержание элементов в талломах адекватно отражает их содержание в воздухе.
- Симбиотическая природа лишайников не допускает нарушения установившегося между партнерами равновесия: как только один из партнеров повреждается, погибает лишайник, поэтому лишайники, в целом, весьма чувствительны к различным изменениям среды, в частности, к изменению состава воздуха.
- Собственная изменчивость лишайников достаточно низка, что позволяет выявлять воздействия, связанные именно с изменениями среды.
- Метаболизм лишайников происходит во все сезоны, то есть за состоянием лишайников или их сообществ можно наблюдать круглый год.
- Повсеместное распространение лишайников позволяет проводить лишеноиндикационные работы во всех регионах Земли.

Обычно выделяют 4 группы устойчивости лишайников: устойчивые, умеренно-устойчивые, умеренно-чувствительные или средне-чувствительные и чувствительные.

Как правило, наиболее чувствительны к загрязнению кустистые виды, а наиболее устойчивы — накипные. Это легко объясняется разницей в площади поглощающей поверхности. Устойчивость/чувствительность видов определяется не только поглощающей поверхностью, большое значение имеет индивидуальная устойчивость вида. Существует ряд морфологических и биохимических механизмов защиты, к которым относится, например, плотность кортекса, высокая буферная емкость клетки, наличие вторичных метаболитов — антиоксидантов, способность к энзиматической детоксификации загрязняющих веществ и пр. Устойчивые виды, как правило, обладают целым набором таких механизмов. Так же на устойчивость лишайника к загрязнению часто влияют внешние факторы. Развитие адаптационных механизмов привело к появлению таких

лишайников, которые весьма редко встречаются в «чистых» регионах (при фоновом уровне загрязнения воздуха). Примером может служить *Lecanoga conizaeoides* — лишайник, метко охарактеризованный В. Ахмаджаном как «продукт индустриальной революции». Этот вид обильно развивается только при значительном количестве двуокиси серы в воздухе, занимая экологические ниши других видов, исчезающих при таком уровне загрязнения.

Интересные результаты получены ботаником В.В. Горшковым на Кольском полуострове. (Лишайники. Удивительные организмы и индикаторы окружающей среды. И. А. Шапиро) Изучая действие сернистого газа и полиметаллической пыли на лишайники, он проанализировал состояние лишайнобиоты сосновых лесов на разных расстояниях от комбината «Североникель». Для этого на стволах деревьев отмечали участки площадью 100 см², на которых подсчитывали количество эпифитных лишайников и определяли их видовой состав. В фоновом районе, на расстоянии 60 км от комбината, было обнаружено 70 видов лишайников. Среднее суммарное покрытие стволов деревьев составляло 11,2%, а количество пустых, не занятых лишайниками площадок - 13% общего числа исследованных. В 30 км от комбината среднее суммарное покрытие уменьшилось в 5 раз, а количество площадок без лишайников увеличилось в 4 раза. Здесь оказалось 22 вида лишайников. В 15 км от источника загрязнения среднее суммарное покрытие составляло всего 0,01% значения, характерного для незагрязненного района, и 90% всех исследованных площадок оказалось не занято лишайниками. Наконец, в 8 км от комбината располагалась настоящая «лишайниковая пустыня».

Чувствительность видов зависит также от вида загрязнения (например, кислое/щелочное) и в значительной степени определяется факторами среды. Так, один и тот же вид, растущий в регионе с высокой относительной влажностью, менее устойчив, чем тот же вид в засушливых районах. Вид, обитающий на щелочном субстрате, более устойчив к кислому загрязнению, чем тот же вид, растущий на кислом субстрате. Например, вид на коре широколиственной породы более устойчив к кислому загрязнению, чем тот же вид на коре хвойной породы.

В 1912 году Р. Сернандер (R. Sernander), изучая эпифитные лишайники городов Швеции, разделил территорию города на три зоны:

- 1) «лишайниковая пустыня» — участки, на которых лишайников нет;
- 2) «зона борьбы» — участки в городе, где встречается небольшое число видов, чаще всего это накипные виды, но могут быть и листоватые, как правило, слабо жизнеспособные (некротизированные, стерильные и пр.);

3) «нормальная зона», где можно обнаружить все виды лишайников, характерных для данного климата и субстрата. Эти зоны наносили на карты городов Европы (картировали территорию) и характеризовали загрязнение воздуха этих городов с помощью лишайников-эпифитов. Такой подход получил свое развитие и распространился по всему миру. Обратив внимание на существование индивидуальной устойчивости видов к загрязняющим веществам (чаще всего к двуокиси серы), лишайнологи создавали региональные шкалы устойчивости видов. Примером региональной шкалы служит шкала Д.Л. Хаксворта и Ф. Роуза (D. Hawksworth, F. Rose), (Учебный определитель лишайников средней России.) разработанная ими для Англии и Уэльса. Впоследствии были созданы региональные шкалы для большого числа территорий на всех континентах земного шара.

Создание региональных шкал и соответствующее ранжирование видов встречающихся в данном регионе лишайников позволило картировать территории многих городов, то есть соотносить наличие конкретных видов лишайников с загрязнением воздуха в данном районе города. Чаще всего при картировании городов или любых территорий исследуемую площадь разбивают на квадраты одинакового размера и обследуют в центре (или по углам) каждого квадрата лишайники, обитающие на стволах живых деревьев. При этом можно учитывать число видов в квадрате, набор видов, например, устойчивые или чувствительные виды встречены в данном месте, соотношение

устойчивых/чувствительных видов и т.д. Такой подход позволяет получать и количественные оценки состояния лишенобиоты, учитывая встречаемость и покрытие каждого вида. При использовании лишеноиндикации для сравнения различных районов города между собой по степени загрязнения следует минимизировать возможное влияние на рост лишайников других факторов: свойств субстрата, освещенности, влажности, вытаптывания и пр. Для этого обычно обследуют эпифитные лишайники на одной древесной породе (или на деревьях с близкими свойствами коры), рассматривают только прямостоящие деревья близкого возраста, растущие в примерно одинаковых условиях. Подобная стандартизация данных позволяет строить специальные индексы, характеризующие состояние загрязнения данной территории (квадрата). Эти индексы учитывают состав лишенобиоты, покрытие видов, их встречаемость, иногда степень жизненности видов (балльные оценки) или определяемые заранее оценки чувствительности каждого вида к загрязнению. В некоторых случаях сравнивают интенсивность фотосинтеза, состояние фотобионта, проницаемость мембран, количество токсичных элементов в талломе.

Практическая часть

Методика

Для оценки состояния атмосферы мы использовали данную методику: через каждые 100 метров на выбранной прямой, с северной стороны дерева, на расстоянии примерно 30 см от ствола дерева и 1.5 м от земли фотографировались лишайники. В работе учитывалось процентное покрытие площади дерева лишайниками, их видовое разнообразие и их устойчивость к загрязнению атмосферы. Материал для оценки покрытия деревьев лишайниками собирался с деревьев не менее 15-17 см в лесах и не менее 20 см в черте города. Мы не встретили ни одного явно кустистого лишайника, и поэтому, лишеноиндикация по площади покрытия дерева будет давать небольшую погрешность.

Мы рассматривали только макролишайники т.к. определение микролишайников по фото件不可能 из-за упомянутых в теории причин.

Фотографии мы обрабатывали в одной из самых доступных программ PowerPoint, а данные в Excel.

Считывание данных

Шаги обработки:

- 1) Разделить фото ствола дерева (без фона) на максимально большие квадраты.
- 2) Полученные квадраты вставить в PowerPoint, накладываем на них прозрачную таблицу 10*10
- 3) Заполняем каждую клетку таблицы числами 0, 1, 2. 0 – если покрытие лишайником клетки < 25%, 1 – если покрытие лишайником клетки 25 – 75%, 2 – если покрытие лишайником клетки > 75%.
- 4) Заполненную таблицу копируем в Excel, суммируем все данные и результат делим на 2, получается процентное покрытие.

Готовая, обработанная фотография – приложение 2

Теоретически, можно взять весь ствол дерева одним длинным изображением и наложить таблицу на него, но практически для нас это оказалось менее удобно.

Лишеноиндикация

Оценку состояния атмосферы проводили на четырех участках:

Район станции МЦД Лианозово, г.Москва:

В таблице – Лианозово, места сбора лишеноиндикационных материалов - приложение 3.1, на графиках первая точка. Среднее покрытие площади стволов деревьев лишайниками – 28%.

Долгопрудненская набережная канала им. Москвы и г. Долгопрудный:

В таблице – Долгопрудный, места сбора лишеноиндикационных материалов - приложение 3.2, на графиках вторая точка. Среднее покрытие площади стволов деревьев лишайниками – 44%.

Лес возле деревни Грибки. Леспаркхоз “Клязьминский”:

В таблице – Леспаркхоз К., места сбора лишеноиндикационных материалов - приложение 3.3, на графиках третья точка. Среднее покрытие площади стволов деревьев лишайниками – 35%.

Лосиный Остров (возле МКАД):

В таблице – Лосиный Остров, места сбора лишеноиндикационных материалов - приложение 3.4, на графиках 4 точка. Среднее покрытие площади стволов деревьев лишайниками – 43%.

Таблица 1.

Видовой состав лишайников в точках сбора

Вид	Устойчивость к загрязнению атмосферы	Районы, где обнаружен. Состояние на момент обнаружения.
Buellia punctata	Умеренно-устойчивый	Лосиный остров. Встречается часто, на лиственных (чаще всего молодых и умерших) деревьях, иногда имеет апотеции.
Caloplaca flavorubescens	Средне-чувствительный	Лосиный остров. Встречается редко, без апотециев.
Cladonia macilenta	Средне-чувствительный	Леспаркхоз К., Лосиный Остров. Встречается не часто, в отдельных местах на коре берёз, часто окружён мхом, редко с апотециями.
Parmelia saxatilis	Умеренно-устойчивый	Есть везде. Во всех районах встречается часто, на лиственных породах деревьев.
Parmelia sulcata	Средне-чувствительный	Есть везде, кроме Лианозово. Во всех районах встречается часто, на лиственных породах деревьев, но всегда без апотециев.
Parmelina tiliacea	Средне-чувствительный	Леспаркхоз К., Лосиный Остров. На лиственных породах деревьев, всегда без апотециев.
Physcia caesia	Умеренно-устойчивый	Есть везде. Во всех районах встречается часто, на лиственных породах деревьев, всегда без апотециев.
Physcia dubia	Устойчивый	Есть везде. Во всех районах встречается часто, на лиственных породах деревьев, апотеции встречаются редко.
Vulpicida pinastri	Средне-чувствительный	Лосиный остров. Встречается редко, апотециев нет.
Xanthoria fallax	Умеренно-устойчивый	Лианозово, Лосиный Остров. Встречается часто, на лиственных породах деревьев, иногда с апотециями.

Xanthoria parietina	Устойчивый	Есть везде. Во всех районах встречается часто, на лиственных породах деревьев, часто с апотециями.
Xanthoria sp.	Умеренно-устойчивый	Есть везде. Во всех районах встречается часто, на лиственных породах деревьев, часто с апотециями.

В таблице 1 представлено видовое разнообразие лишайников в различных точках сбора. Табличные данные позволяют сделать вывод о том, что такие виды лишайников как *Vulpicida pinastri*, *Buellia punctata* и *Caloplaca flavorubescens* встречаются только в парке Лосинный остров, который является особо охраняемой природной территорией, в то время как виды рода *Xanthoria*, рода *Parmelia* и рода *Physcia* встречаются на всех изученных территориях. Некоторые из видов лишайников. Наши фото некоторых видов представлены в приложении 4.

Оценка зависимости видового разнообразия лишайников (кол-во видов) от удаленности от антропогенных объектов показана на рисунке 1. Видно, что количество видов увеличивается по мере удаления от антропогенных объектов (МКАД, Дмитровское ш., Савеловская железная дорога). Удаление на диаграмме считалось от ближайшего объекта.



Рисунок 1. Видовое разнообразие лишайников в зависимости от удаленности от антропогенных объектов.



Рисунок 2. Процентное покрытие площади деревьев лишайниками

Помимо частоты встречаемости различных видов лишайников, мы изучали процент покрытия лишайниками коры деревьев. Следует отметить, что в городской черте этот параметр необходимо применять с осторожностью в связи с тем, что не всегда можно установить, как долго то или иное дерево растет в данной местности. Так в Москве в последние несколько лет высаживают в парках растения возрастом более 10-15 лет с вполне сформировавшейся кроной на высоте 2-х метров от уровня почвы. Диаметр таких растений может составлять более 15 см, на них могут обнаруживаться лишайники, однако сформированы они совсем в других условиях. Поэтому для наших целей мы использовали растения, диаметр которых был более 20 см. На рисунке 2 видно, что максимальные площади покрытия деревьев лишайниками наблюдаются в парке Лосинный остров и в городском парке Долгопрудного. Минимальные значения в парке Лианозово. Это ожидаемые результаты: антропогенная нагрузка в районе парка Лианозово (г.Москва, рядом расположена Лианозовская промзона с действующими предприятиями: Лианозовским молочным комбинатом и Лианозовским инструментальным заводом – оборонное предприятие, Дмитровское и Алтуфьевское шоссе, линия Савловской железной дороги) значительно выше, чем в Долгопрудном и в Лосином острове. Несколько выбивается из этой логики лес возле деревни Грибки. Вероятно, необходимо изучить более подробно территорию вокруг деревни.

Оценка зависимости площади покрытия деревьев лишайниками от удалённости от антропогенных объектов (антропогенными объектами названы объекты, в значительной степени загрязняющие атмосферу, такие как автодороги с плотным движением и т.д.) представлены на рисунке 3. На диаграмме видно, что площадь покрытия лишайниками рядом с дорогой и на расстоянии 1 км от дороги приблизительно одинакова, и незначительно отличается при удалении от дороги объекта на расстояние 5 км. (Лосинный Остров)

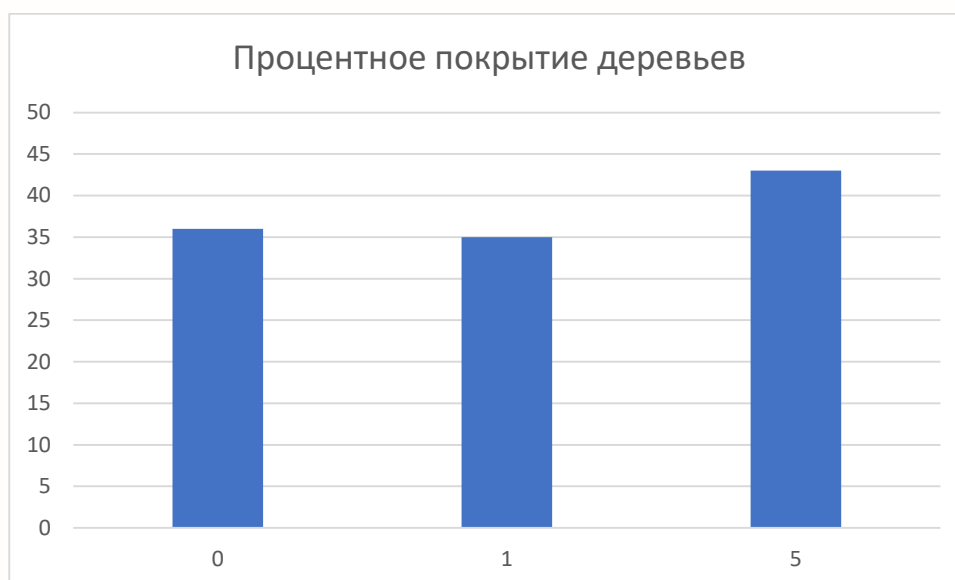


Рисунок 3. Зависимость площади покрытия деревьев лишайниками от удалённости от антропогенных объектов

Выводы

1. К сожалению, мы обнаружили не так много видов лишайников, и среди них нет чувствительных к загрязнению. Так же, у очень небольшого количества лишайников, в особенности у умеренно-устойчивых и средне-устойчивых, были найдены плодовые тела. Это свидетельствует о проблемах с экологией на севере Москвы.
2. В Долгопрудном, лишайников заметно больше, чем в мытищинском лесу, хотя в городе загрязнение атмосферы явно выше из-за автомобилей. Это доказывает, что большое количество лишайников не означает отсутствие загрязнителей атмосферы.

На будущий год

Машинное зрение

Хорошо конечно, использовать программы Office, но даже с ними лишеноиндикация занимает много времени. Мы решили попытаться создать нейросеть для определения лишайников и оценки площади покрытия ими дерева с наивысшей скоростью.

Программировали мы на языке Python, в среде разработки Colaboratory (Google Colab). Мы выбрали Python т.к. для этого языка есть множество библиотек для работы с машинным зрением и Colaboratory т.к. эта среда позволяет работать с программой на машине Google, следовательно, можно не скачивать ничего на устройство, с которого мы работали, что удобно при работе со слабым компьютером т.к. программа компилируется и выполняется на устройстве Google или при невозможности скачивания программ на устройство.

К сожалению, обучить нейросеть мы не смогли т.к. мы смогли собрать достаточное количество фотографий только двух родов лишайников - Xanthoria и Parmelia (чтобы различать их не нужны особые навыки и инструменты), для определения видов которых нужен больший обучающий материал. Так же, у нейросети нет графического интерфейса, что сильно осложняет работу с ней.

Возможно, в следующем году мы сможем представить рабочий продукт и провести лишеноиндикацию гораздо большего объёма.

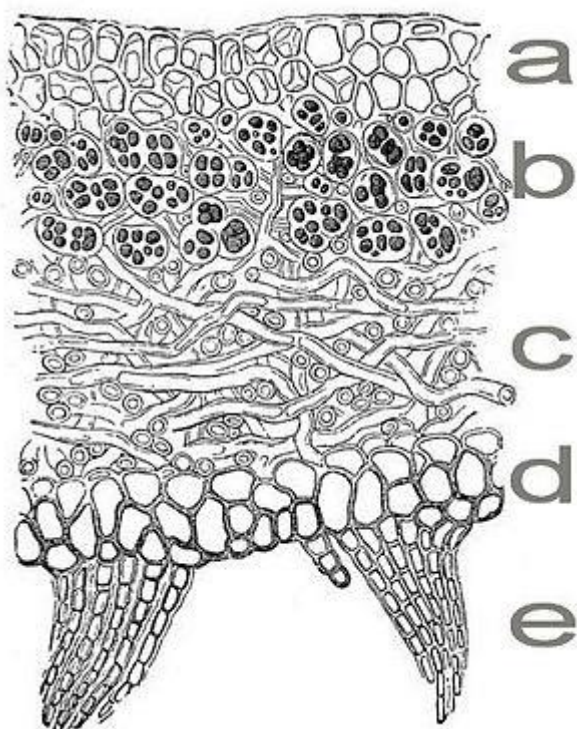
Список литературы

- Учебный определитель лишайников средней России.
- Флора лишайников России. Биология, экология, разнообразие, методы изучения лишайников.
- Лишайники. Удивительные организмы и индикаторы окружающей среды. И. А. Шапиро
- http://www.sevin.ru/menues1/index_rus.html?../laboratories/biazrov_big_msk_2012.html
- <https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=5591>
- <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D1%88%D0%B0%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8>
- <https://compendium.su/biology/entering/128.html>
- <http://www.lichenhouse.narod.ru/10/INDEX.HTM>
- https://www.binran.ru/files/phd/Ezhkin_Thesis.pdf
- <https://ib.komisc.ru/add/old/t/ru/ir/vt/02-60/09.html>

Приложения

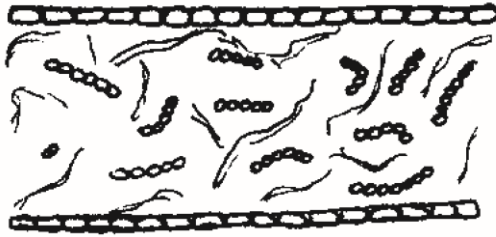
1.1

<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D1%88%D0%B0%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8>



Строение гетеромерного лишайника на примере *Sticta fuliginosa*: а — верхний коровой слой, b — гонидиальный слой, с — медулла, d — нижний коровой слой, е — ризины.

1.2 Учебный определитель лишайников средней России.



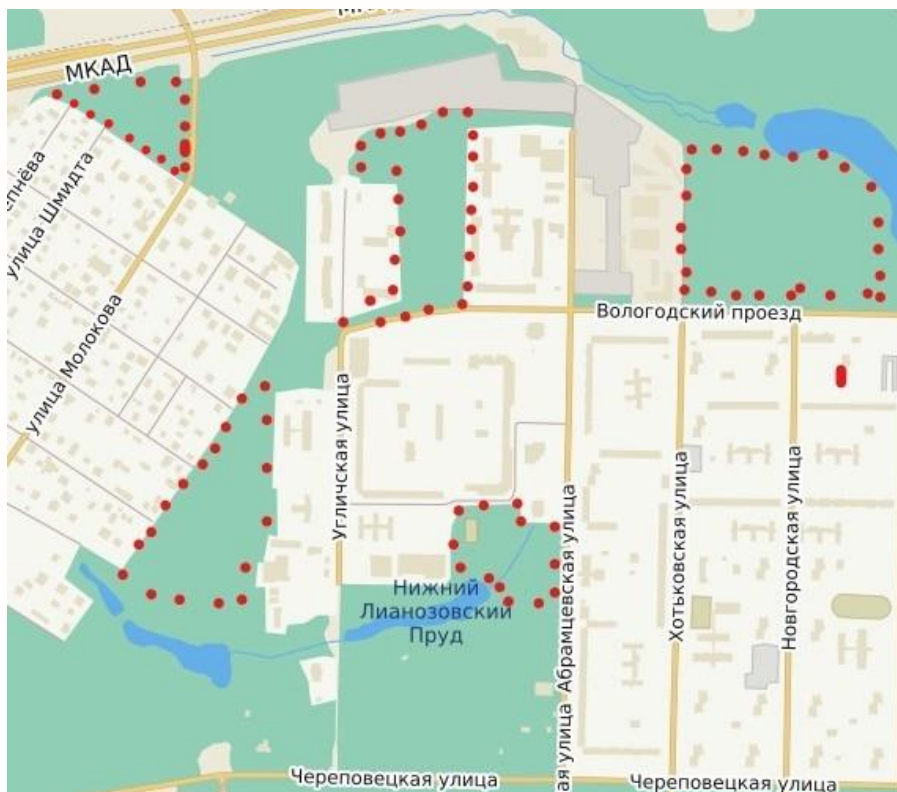
Строение гомеомерного таллома лишайника. Слева — с коровым слоем (Leptogium); б — без корового слоя (Collema).

2

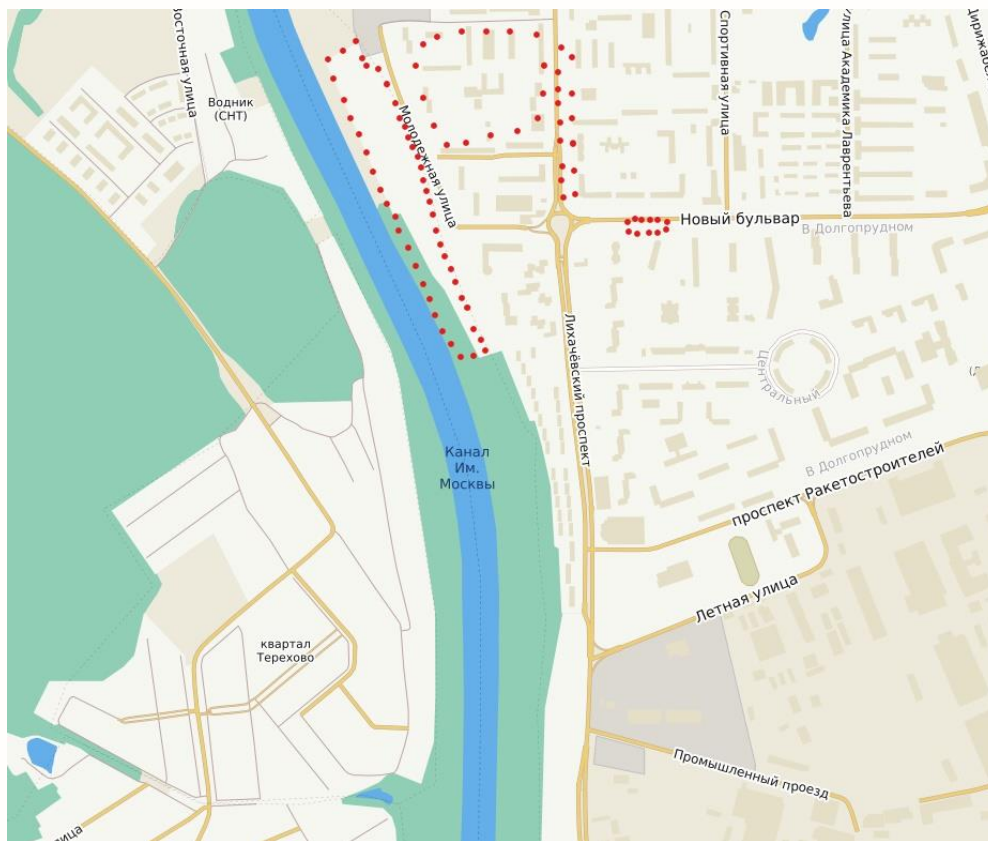


Фото карт - https://www.moscowmap.ru/imap_moscow.shtml. Точками обведены места сбора лихеноиндикационных материалов.

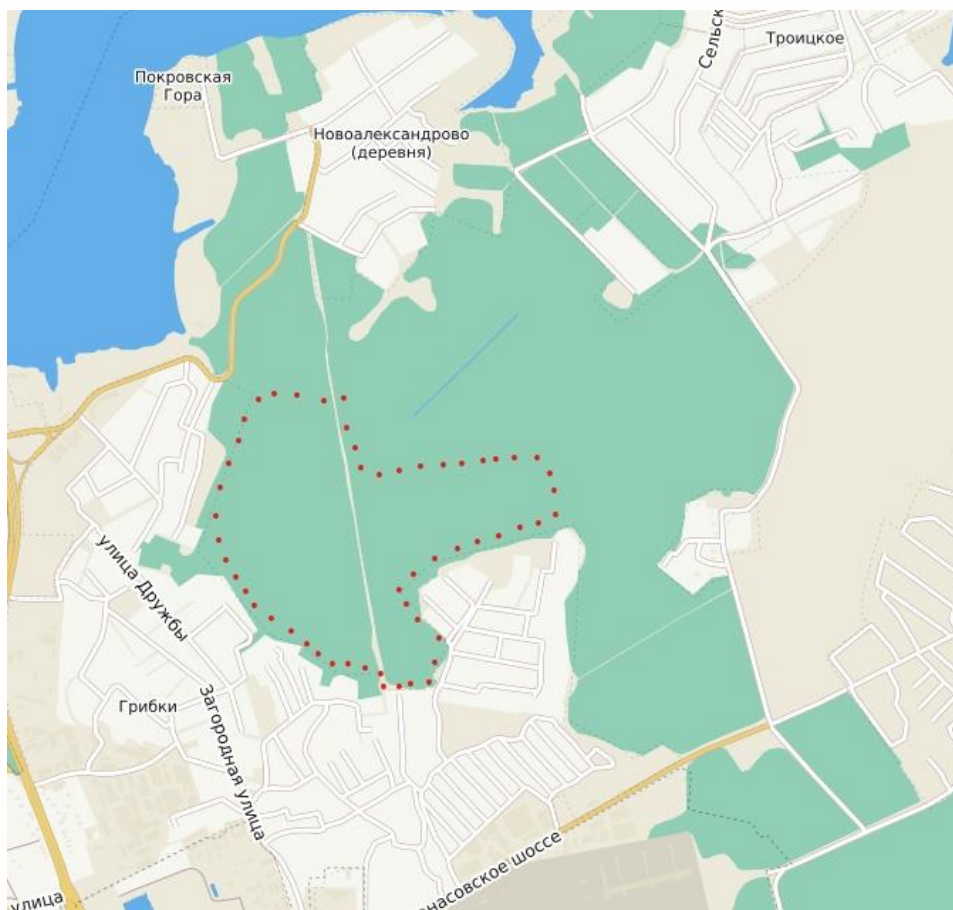
3.1



3.2



3.3



3.4

