МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Геоэкологии, природопользования и экологической безопасности

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

БАКАЛАВРА

На тему:

Картирование участка вдоль Мурманского шоссе по степени загрязнения воздуха методом лихеноиндикации

Исполнитель Сергеев Родион Сергеевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат биологических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Рижия Елена Яновна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой _____
(подпись)
кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Дроздов Владимир Владимирович
(фамилия, имя, отчество)
«10» июня 2022 г.

Санкт–Петербург
2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3

1. Характеристика лишайников 7

1.1 Строение лишайников 7

1.2 Классификация лишайников 9

1.3 Размножение лишайников 10

1.4 Питание лишайников 11

1.5 Значение лишайников в природе и жизни человека 12

1.6 Многообразие лишайников 13

2. Роль лишайников в мониторинге 17

2.1 Основные факторы, воздействующие на лишайники 17

2.2 Лишайники – индикаторы загрязнения 18

3. Существующие методы лихеноиндикации 25

3.1 Активная лихеноиндикация 25

3.2 Пассивная лихеноиндикация 25

4. Место сбора материала 27

4.1 Район исследования 27

4.2 Влияние дорог на окружающую среду 28

5. Результаты измерений на пробных трансектах 31

Заключение 43

Список использованной литературы 45

Приложение А 48

Приложение Б 49

Приложение В 50
Приложение Г 51
Приложение Д 52
Приложение Е 53

Введение

Люди в процессе своей жизнедеятельности оказывают огромное влияние на окружающую среду: строят города, предприятия, дороги, а также эксплуатируют все это, производя и потребляя товары. Несмотря на развитие «зеленых» технологий – использование возобновляемой природной энергии, различные фильтры на предприятиях, вторичная переработка отходов, а также транспорт, работающий на электроэнергии, и по сей день происходит огромное негативное воздействие на окружающую среду, что приводит к изменениям в природе и её элементах (атмосфере, почве и гидросфере). Всё это приводит к множеству проблем, нарушающих жизнедеятельность всех живых организмов, в том числе и людей.

Чтобы контролировать воздействие на среду, необходимо подобрать методы, способные определить степень влияния антропогенных факторов. Биологический мониторинг является системой, которая представляет собой наблюдение за изменениями, происходящими в атмосферном воздухе, землях, лесах и водных объектах, уникальными экологическими системами, а также влияние на живые организмы, то есть флоры и фауны, при воздействии на них поллютантов (загрязняющих веществ). Мониторинг производится при антропогенном воздействии в таком порядке 1) наблюдение 2) оценка 3) прогноз изменений [18].

Для наибольшего эффекта исследований необходимо выбирать виды, наиболее остро реагирующие на загрязнения. К таким живым организмам относится и лишайники – группа организмов из царства грибов, формирующих облигатный симбиоз с водорослями и цианобактериями. Особенности их строения и физиологический ответ на внешние воздействия определяют их как идеальных кандидатов на роль биологических индикаторов. Уже начиная с XIX в., ученые обнаружили эти особенности и начали их использовать в научных целях. Метод, который использует лишайники как индикаторы загрязнения,

назвали лихеноиндикация. И даже не смотря на новые технологии, метод остается актуальным.

Целью данной выпускной квалификационной работы является исследование воздействия линейного загрязнителя – шоссейной трассы на окружающую среду методом лихеноиндикации.

Объектом исследования являются лишайники, на которые потенциально оказывается влияние загрязняющих веществ от шоссе.

Для достижения поставленной цели необходимо решить определенные задачи:

- Изучить методы лихеноиндикации и выбрать из них подходящий для оценки воздействия линейного загрязнителя на участок территории;
- рассмотреть строение и некоторые особенности физиологии лишайников, которые делают их биологическими индикаторами;
- выбрать участок для сбора материала для лихеноиндикации и провести сбор проб лишайников;
- определить список видов лишайников и уровень их жизненности для определения уровня загрязненности атмосферного воздуха в выбранном районе.

Для исследования был выбран участок вдоль Мурманского шоссе (автомобильная дорога общего пользования федерального значения Санкт-Петербург — Петрозаводск — Мурманск — Печенга — Борисоглебский), по трём основным причинам:

- Это протяженная дорога (1592 километра) с большой транспортной нагрузкой;
- Вдоль неё можно выбрать участок с равномерной лесной растительностью;
- Вдоль шоссе располагается множество населенных пунктов и

предприятий, и, определив уровень загрязненности на территории рядом с шоссе, выявить возможное воздействие загрязнителя на человека.

Работа выполнена по материалам научных статей, технических регламентаций и обработки собственных сборов.

1. Характеристика лишайников

В научно-техническом энциклопедическом словаре приводиться такое определение: «Лишайник – это организмы, образованные грибом и микроскопическими водорослями, обычно одноклеточными, традиционно их относят к низшим растениям» [19].

1.1 Строение лишайников

Лишайник имеет сложное строение, которое совмещает в себе как элементы грибов, так и водорослей. Если быть точным, его слоевище образовано гифами (клетками гриба) и нитями или отдельными клетками водорослей, расположенных между ними [17].

Выделяют два типа подобных структур слоевища, их используют как основные типы микроскопической структуры:

- Гомеомерный;
- Гетеромерный.

Гомеомерный лишайник состоит из верхней и нижней коры, представляющей собой сплошной слой из клеток гриба, в то время как внутренняя часть наполнена беспорядочными клетками водорослей, переплетенных с грибными нитями.

Гетеромерное строение лишайника отличается слоем, в котором сосредоточены все клетки водорослей, его, называют – гонидиальный слой, а внизу под ним лежит сердцевина, представляющая собой рыхло расположенные нити грибов.

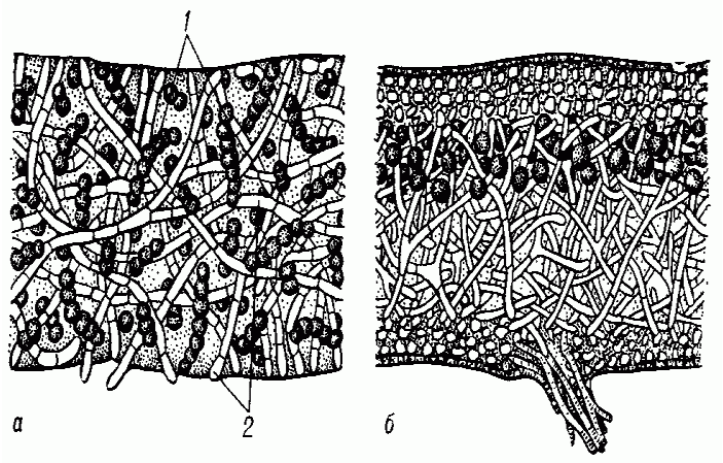

Рисунок 1. Строение лишайника: а – гомеомерного, б – гетеромерного, 1 – клетки водорослей, 2 – нити грибов

Наружным слоем лишайника выступает коровый слой, являющий собой слой грибных нитей с более толстыми хитиновыми стенками, и при помощи тех гифов, которые отходят от нижней коры, лишайник крепится к поверхности, на которой произрастает. У некоторых из видов лишайников отсутствует нижний коровый слой, и тогда они используют для прикрепления гифы, идущие из сердцевины.

Водоросли, которые находятся в лишайниках, представляют собой зелёные, желто-зелёные, сине-зелёные и бурые водоросли. В симбиоз с грибом могут вступать представители 28 родов водорослей, представители которых в основном встречаются в природе в свободном состоянии.

Водоросли в составе лишайников становятся устойчивыми к более большим температурным показателям и способны перенести длительную засуху, а также изменяются внешне, но, если их выделить из тела лишайника и культивировать в искусственной среде, они снова приобретают черты, свойственные свободноживущим водорослям.

Слоевища лишайников различаются по размерам, форме, строению и окраске. Цвет слоевища зависит от пигментов, находящихся в оболочках гиф и плодовых телах. Видоспецифичные пигменты у лишайников проявляются под

действием освещения, и на местах с избыточным уровнем освещения будут появляться лишайники с более яркой окраской, чем в затемнённых.

1.2 Жизненные формы лишайников

Слоевища лишайников имеют разнообразные вариации строения. По внешнему строению их разделяют на три большие категории [16]:

- накипные;
- листоватые;
- кустистые.

А Б В

Рисунки 2, 3 и 4. А – накипной; Б – листоватый; В - кустистый

- Накипные лишайники имеют форму корочки, плотно сросшейся с субстратом, на котором они произрастают. Толщина такой корочки может быть как едва заметной, так и достигать до 0,5см, а диаметр – от пары миллиметров до 25-30см. Слоевище накипных лишайников может быть также лепрозным (в виде мучнистого налета на субстрате), мелких пластинок или находиться внутри субстрата (горной породы или коры дерева), тогда о наличии лишайника может говорить только более темная кайма в том месте, где находится край слоевища лишайника. Основным субстратом для накипных

видов являются: горные породы, кора деревьев и кустарников, почва, гниющая древесина, а также разнообразные антропогенные субстраты (бетон, кирпич, рубероид, резина и др.).

- Листоватые лишайники по форме похожи на листовидные пластинки и располагаются горизонтально на месте произрастания. Обычно имеют округлую форму до 20 см в диаметре. Особенность, которая характерна для этих видов лишайника, является неоднородность окраса и строения слоевища. Чаще всего на нижних частях слоевища образуются так называемые ризоиды – это органы, представляющие собой собранные в тяжи гифы, крепящие лишайник к субстрату. По сравнению с накипными видами, листовые считаются более высокоорганизованными формами лишайника.

- Кустистые лишайники в свою очередь имеют форму повисающего или прямостоящего кустика. Они крепятся небольшими участками нижней части своего слоевища к субстрату, на котором произрастают. С возрастом у таких лишайников, растущих на почве, может отмирать нижняя часть, и они перестают быть прикрепленными к субстрату. Кустистые лишайники представляют собой наиболее продвинутый этап развития слоевища лишайников. Слоевища кустистых лишайников имеют размеры от пары миллиметров до 40-50 см, иногда достигая 7-8 м в длину (эпифитные виды рода *Usnea*) [20].

1.3 Размножение лишайников

Наиболее простым способом размножения лишайников является вегетативное. Это происходит при отделении кусочков слоевища и их разнесению ветром, по воде или при помощи животных, после чего в условиях, пригодных для развития, они прирастают к субстрату и дают новые слоевища.

У листоватых и кустистых лишайников так же существуют соредии и изидии. Это особые вегетативные образования, которые формируются в поверхностных или более глубоких слоях и также используются для вегетативного размножения.

Соредиями размножаются около 30% лишайников. Соредия представляет собой несколько клеток водоросли, окруженных клубочком гифов гриба. Они образуются в содержащем водоросли слое внутри слоевища. Когда соредии сформировались, верхний коровый слой разрывается, образуя сораль, и соредии разносятся ветром, после чего, попав в приемлемые условия они образуют новые слоевища, тем самым распространяя лишайник.

1.4 Питание лишайников

Из-за особенностей строения у лишайников крайне нестандартное питание, так как они состоят из двух элементов, который каждый по-своему получает питательные вещества. Так гриб является гетеротрофным организмом, а водоросль – автотрофом.

Органическими веществами лишайник обеспечивают клетки его водоросли, используя для этого фотосинтез. Гриб впитывает своей поверхностью воду из атмосферных осадков и водяных паров (таким же образом могут поступать внутрь лишайника минеральные вещества, в том числе токсиканты), из субстрата при помощи гифов гриб может извлекать некоторые органические вещества, питаясь осмотрофно (всасывая воду с растворенными веществами).

Важным компонентом в питании лишайника выступают азотистые соединения. В зависимости от типа фотобионта у лишайников могут

встречаться два способа получения азота – если в составе присутствуют цианобактерии, лишайник способен заниматься азотфиксацией, если зелёные водоросли – азот поступает в лишайник, как в случае зеленых растений, в виде растворимых солей (нитратов, нитритов, аммонийных соединений).

Чтобы процесс фотосинтеза происходил в достаточной мере для того, чтобы лишайники получали все необходимые питательные вещества, нужен свет, если же им недостаточно освещённости - это может препятствовать их развитию. Оптимальным местом для их жизни являются хорошо освещённые участки субстрата.

Не смотря на свою исключительную устойчивость к засухе, вода для лишайников так же крайне важна, ведь дыхательные и обменные процессы в их организме происходят только во влажной среде.

1.5 Значение лишайников в природе и жизни человека

Очень важная для нас особенность лишайника – это его высокая чувствительность к изменению в окружающей среде, например, при высокой запылённости или загазованности воздуха они не способны расти. Именно по этой причине они ценятся как индикаторы загрязнения.

Лишайники принимают активное участие в круговороте веществ в среде, так, например, способность к вырабатыванию органических веществ, при помощи своей фотосинтезирующей части, в таких местах, где не способны выживать другие растения, является важным элементом почвообразования, когда после окончания своей жизнедеятельности они отмирая образуют гумус, способствующий созданию благоприятных условий для произрастания более сложных растений.

Помимо этого, многие животные, в том числе лоси, олени другие парнокопытные используются в употреблении их в пищу, например, к таким лишайникам относится цетрария исландская, которую также называют ягель или олений мох. Некоторые из них применяются людьми в кулинарии, например, цетрария для изготовления желе. Птицы иногда собирают лишайники как материал для создания своего гнезда.

Если говорить об использовании их людьми, то помимо пищи, лишайники используются ещё и в промышленности, например, при окрашивании ткани в текстильной промышленности или для придания духам стойкости в парфюмерной. Есть так же случаи, когда при создании лекарств применяют виды имеющие антибактериальные свойства (уснея).

1.6 Многообразие лишайников

Не считая водной поверхности и мест, постоянно покрытых льдом, лишайники можно встретить практически в любой точке Земного шара.

Существует разделение лишайников на основе их приуроченности к субстрату, на котором селится лишайник:

- эпифитные виды (селятся на коре деревьев)
- эпилитные виды (селятся на каменистых поверхностях)
- эпигейные виды (селятся на земле)
- эпиксильные виды (селятся на древесине)

Подобная классификация говорит лишь о их предпочтениях при выборе субстрата, есть даже случаи, когда лишайник переходит с одной поверхности на

другую. Так, например, в горных районах и на севере России можно встретить эпигейные лишайники, которые селятся на коре дерева.

Эпифитные виды лишайника зачастую имеют предпочтения в выборе породы дерева, на котором они селятся, по причине разной кислотности коры и неровностей поверхности – так например одни виды предпочитают берёзы, а другие осины и дубы.

Виды, которые способны обитать в различных местах и на различной поверхности называют эвритопными. Они способны расти на различных поверхностях, в том числе человеческого происхождения, таких как стекло, бетон и металл. Процессы приспособления лишайников к субстратам антропогенного происхождения в своей работе «Лишайники Санкт-Петербурга. 2 Изменения лихенофлоры за 270 лет» подметила Малышева Н. В. [7].

Существует даже такая специфичная группа лишайников, как эндолитные виды, которые селятся внутри каменистых поверхностей, и эндофлеоидные – внутри коры дерева. Большое количество лишайников, селящихся на каменистых породах, разрушают их при помощи кислоты, которую выделяют, тогда обнаружить лишайник становится непросто, только по окрашенной зоне на субстрате, которая маркирует край слоевища.

Эпифитные виды способны селится и на листьях вечнозелёных растений, такое можно встретить в России, на Кавказе. Поселяясь на листьях чайного куста, они выглядят как беловатые и зеленоватые пятна [12].

Лишайники принимают участие в укреплении почвы, так например, селясь на обочине дороги, они могут не давать развиваться эрозии, а в Каракумах на песчаных почвах можно встретить талломы *Aspicilia vagans*, которая покрывает и скрепляет их.

После грибов и водорослей одними из первых поселенцев каменистых пород являются лишайники. Они начинают разрушать каменный субстрат,

подготавливая мелкозем для поселения высших растений.

При прямом воздействии слабых кислот могут разрушаться кальциевые породы, а с образованием растворимых соединений разрушению поддаются базальтовые и гранитные. Когда грибные грифы проникают в уже имеющиеся трещинки вглубь каменистого субстрата, увлажняясь, они разбухают, разрывая камень образовавшимся давлением. И хотя подобный процесс очень замедлен во времени из-за скорости роста лишайника, они все равно могут оказать крайне сильное воздействия на сооружения людей, разрушая их.

В зоне тундры, где лишайники выступают главным питанием северных оленей в зимние периоды, наблюдается их наибольшая биомасса. Случается, что на каменистых ландшафтах над биомассой высших растений преобладает биомасса эпилитных лишайников. Отношение числа видов лишайников к числу видов высших растений называют лишайниковым индексом. Этот индекс максимален в субантарктических и субарктических районах. Но в целом распространение лишайников довольно тесно коррелирует с распространением высших растений: районы, богатые эндемичными видами высших растений, богаты и эндемичными видами лишайников.

При заселении лишайниками субстрата можно наблюдать сукцессионную смену видов. Первыми поселяются виды, обладающие большим коэффициентом размножения. В основном это накипные виды с малоразвитым талломом и продуцирующие большое количество мелких аскоспор, легко переносимых ветром. К этой же группе можно отнести и некоторые листоватые лишайники, обладающие сравнительно небольшим талломом и продуцирующие большое количество соредий и изидий. Затем поселяются листоватые виды, которые по отношению к накипным являются более агрессивными; таллом агрессивных видов, развиваясь, угнетает медленнорастущие накипные виды. Однако некоторые накипные лишайники для защиты выделяют антибиотики и образуют вокруг себя "зону отчуждения". Затем развиваются кустистые виды и

листоватые лишайники с крупными лопастями, и образуется климаксовое сообщество.

Разумеется, климаксовые лишайниковые ассоциации различны для различных типов субстрата. Для эпифитных видов это зависит от характеристик растений-форофитов [8].

Одним из главным конкурентом лишайников является мох, и очень часто лишайники проигрывают, за исключением случаев, связанных с быстрорастущими лишайниками имеющих крупные листовые формы.

В условиях загрязнения воздуха преимущество получают эвритопные и нитрофильные виды, устойчивые к загрязнению.

2. Роль лишайников в мониторинге

2.1 Основные факторы, воздействующие на лишайники

Важную роль в мониторинге лишайники играют, потому что остро реагируют на характер и состав субстрата, на котором они растут, а также состав воздуха и микроклиматические условия.

К основным факторам, которые воздействуют на лишайники, можно отнести следующие: температура, освещённость и влажность, но главное для нас это воздействие на них поллютантов. Различные виды лишайников приспособлены к разным значениям влажности, температуры и освещенности, например, кустистые лишайники из рода Рамалина (*Ramalina*) предпочитают более влажные условия обитания на высоте от 30 до 50 см.

Лишайники способны обитать в экстремальных условиях. Так, несмотря на то, что оптимальные температуры для большинства лишайников находятся в диапазоне +10 - +25 °С, к фотосинтезу они способны и когда температура опускается до -25 °С или поднимается до +35 °С, однако при этом снижается интенсивность этого процесса. В пример можно привести лишайников из районов субарктики и субантарктики, а также зон высокогорья, именно здесь наиболее проявляется способность лишайников к фотосинтезу при отрицательных температурах. Именно отличия в строении от других растений помогает их жизнедеятельности, так как вода в лишайниках содержится между гифами гриба. Однако уже при высокой температуре, лишайники проигрывают высшим растениям, так как фотосинтез лишайников останавливается при достижении температуры окружающей среды свыше +35 °С, в то время как растения фотосинтезируют и при температуре в +45 °С.

Интересная особенность, присущая лишайникам – это способность очень быстро поглощать влагу из таких источников, как дождь и снег, роса и туман, иногда (у определенных лишайников) набирая воду в 40 раз больше, чем их сухая масса. Из-за этой особенности можно встретить лишайники, способные существовать в пустыне, где увлажнение крайне неравномерное и скудное.

2.2 Лишайники – индикаторы загрязнения

Учитывая высокую продолжительность жизни лишайников, они удобно подходят для датировки возраста субстрата, на котором они поселились, путем измерения их слоевища. Подобные измерения могут давать данные за десятилетия и даже тысячелетия. Основные причины, почему лишайники так глобально используются в качестве биологических индикаторов – это их распространение на всём Земном шаре и сильная реакция на воздействие извне, при этом они слабо изменяются сами и делают это более продолжительное время, чем другие организмы.

После того, как лишайники начали использовать как биологические индикаторы антропогенного воздействия, они приобрели достаточную известность. Первые заметки о том, что они способны активно реагировать на загрязнение появились еще в XIX веке. Заметив, насколько сильно отличается видовой состав в местах с большой антропогенной нагрузкой, например, города и предприятия, и места за их пределами, учёные стали выделять зоны, соответствующие разной степени загрязненности и, соответственно, приуроченные к ним виды лишайников. Было замечено, что в крупных индустриализированных городах при более высоком загрязнении атмосферного воздуха, можно встретить меньше видов лишайников, и их жизнеспособность ниже.

Это же подмечает в своей научной работе «Лишайники Санкт-Петербурга. 1 Современная лихенофлора и ее анализ» Малышева Н. В., где наибольшее количество видов было обнаружено в местах с наименьшей антропогенной нагрузкой [5].

Р. Сернандер, ученый из Швеции, был одним из первых, кто начал работать в этом направлении. Тогда в Стокгольме, он впервые создал разделение на три зоны: в первой, так называемой лишайниковой пустыне, лишайников практически нет, во второй проявляется слабое жизнеспособность лишайников, её назвали зоной соревнования, и третьей является оптимальная зона для произрастания лишайников, проще говоря, нормальная зона.

После более глубокого изучения жизнедеятельности лишайников, было выявлено, что при загрязнении по очереди пропадают разные формы лишайников: первыми исчезающими формами являются кустистые, после чего пропадают листоватые, ну а последними, наименее восприимчивыми, оказались накипные.

Было доказано, что загрязняющее вещество, которое влияет на лишайники самым отрицательным образом, является двуокись серы (SO_2), так как уже с концентраций 0,03-1мг/м^3 начинается воздействие на большое количество видов лишайников. Воздействие SO_2 сопровождается появлением бурых пятен в хлоропластах водорослей, а концентрация в 0,5мг/м^3 и вовсе смертельна для всех видов естественно произрастающих лишайников. Хотя существую виды, относящиеся к токсикотолерантной группе, способные выносить условия загрязнения воздуха. Другие вещества, кроме двуокиси серы, которые губительно воздействуют на лишайники – это окись углерода (CO, CO2), окислы азота (NO, NO2), соединения фтора [10].

Но и помимо загрязняющих веществ, существуют другие особенности городов, которые мешают хорошей жизнеспособности лишайников. К ним относятся микроклиматические условия: меньше света, температура выше в

среднем на 1-3° и более сухой воздух в сравнении с естественной средой.

Поэтому лишайники выступают именно как биологические индикаторы антропогенной нагрузки, проследив негативное воздействие от выбросов производств, транспорта и др.

Была выделена группа лишайников, которая сильнее всего реагировала на изменения среды – ею стала группа эпифитных лишайников, т.е. лишайники, растущие на коре деревьев [14].

Основные черты лишайников, из-за которых они обладают высокой чувствительностью, являются:

- симбиотическая природа (лишайник - симбиоз гриба и водоросли с сложным метаболическим равновесием между этими двумя организмами);
- большая абсорбционная поверхность (все вещества, включая газообразные и растворенные в воде поллютанты, поглощаются всей поверхностью таллома);
- высокая гидрофильность;
- среда обитания (осадки, стекающие по стволу, содержат значительно более высокие концентрации поллютантов, чем осадки на открытых местах);
- длительность жизни.

Именно исходя из этих положений лишайники-эпифиты стали использовать наиболее часто как биоиндикаторы. Для расчета собранных данных и картографирования местности в наше время используются различные индексы, один из которых распространен больше других и крайне удобен для использования – это Индекс чистоты атмосферы, IAQ (Index of Atmosphere Quality).

Индекс чистоты атмосферы (IAQ) находится по данной формуле:

$$IAQ = \sum_{i=1}^{n} \frac{QiCi}{10},$$

где Qi - экологический индекс определенного i-того вида (или индекс токсифобности, или индекс ассоциированности), Ci – показатель обилия данного i-того вида, n - количество видов.

Экологический индекс Q определяет количество видов, сопутствующих данному виду на всех заложенных в работе площадках вместе с определяемым видом. Например, если на 15 площадках вместе с i видом селится еще 11 видов, то сложив их с данным видом, мы получим Q равный 12. Проще говоря, это количество видов, которые удалось обнаружить на данной площадке.

Для оценки показателя покрытия (в процентах) используется 10-бальная шкала [15]:

Таблица 2.1.

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%

При заложении площадок для исследования нужно выбирать места, где для лишайников будет достаточно света, то есть не использовать сильно затемнённых участков лесов и парков.

Сначала находится индекс для каждого дерева, которые используются при исследовании, после чего эти находится средняя величина по площадке.

Чем больше показатель IAQ, тем чище воздух местообитания. IAQ сильно зависит от видового разнообразия. Значение IAQ может быть равно любому

числу от 0 и до бесконечности.

Помимо этого, индекс частоты атмосферы IAQ коррелирует с концентрацией SO2 в воздухе (по Трассу, 1985) [1].

Таблица 2.2. Корреляция IAQ и концентрации SO2

IAQ	Концентрация SO2, мг/м3
0 - 9	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

Индекс чистоты атмосферы IAQ используют, чтобы создавать карты загрязнений, соединяя между собой зоны с близкими значениями при помощи изолиний.

Бывают случаи, когда используется так называемая шкала витальности, где характеристика жизнеспособности зависит от степени повреждения талонов. Выделяется пять категорий:

- Нормальные талломы;
- Слегка поврежденные;
- Средне поврежденные;
- Сильно поврежденные;

- Мертвые.

При помощи лишайников можно установить систему биологического мониторинга, наблюдая за изменениями загрязненности в продолжительный период времени, основываясь на состоянии растений. Что бы это сделать измеряют проективное покрытие двумя способами, или на постоянных пробных площадках или непостоянных. Обычно постоянные площадки предназначены для мониторинга районов с потенциально высоким загрязнением, п не постоянный при минимальном. После измерения площадок находятся среднее значения покрытия для всей изучаемой территории и через некоторый промежуток времени, измерив эти же площадки вновь, можно пронаблюдать изменения и по шкале чувствительности увидеть происходящие изменения загрязнения.

Шкалы чувствительности лишайников, выраженные в баллах - это ранжированный ряд видов, выстроенный в соответствии с их чувствительностью к загрязнению. Их строят, руководствуясь методом линейной ординации, для этого прокладывают несколько трансект в направлении от источника загрязнения в сторону более чистых участков, и смотрят, как меняется видовой состав лишайников [11].

При помощи шкал чувствительности можно найти индекс полеотолерантности (IP), этот индекс позволяет найти условия загрязнения воздуха, основываясь на определении найденных видов. Он вычесляется по следующей формуле:

$$I.P. = \sum_{i=1}^{n} \frac{a_i \cdot c_i}{C_{in}}$$

где n – количество видов на пробной площадке, a_i – класс полеотолерантности определённого вида (1-10), c_i – проективное покрытие вида, C_{in} – сумма баллов проектного покрытия всех видов.

Вычисляется индекс полеотолерантности для всей площадки в среднем для всех модельных деревьев. Значения IP могут принимать значения от 1 до 10, и в случаях, когда лишайников нет совсем 0. Чем выше значение, тем более загрязнена атмосфера.

Так же как и индекс чистоты атмосферы, индекс полеотолерантности так же коррелируется со среднегодовыми концентрациями SO2:

Таблица 2.3

IP	Концентрация SO2, мг/м3	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

3. Существующие методы лихеноиндикации

Подразделяют две большие группы методов лихеноиндикации: активная и пассивная лихеноиндикация

3.1 Активная лихеноиндикация

При активной лихеноидикации используется трансплантационный метод. Его суть в том, что берут лишайники или участки субстрата вместе с ними из чистых районов и пересаживают (трансплантируют) в загрязненном районе, где хотят производить исследование. После чего изучается их реакция через периодические измерения. Так же в эту группу входит процедура по переносу и изучению лишайника в лаборатории, воздействуя на них разными загрязняющими веществами.

Скорость, с которой лишайник отмирает, является индикатором силы воздействия. Так сначала происходит снижение толщины его поверхности и начинает развиваться болезнь нарушающая образование хлорофилла в клетках водорослей, а репродуктивная функция поддается изменению или вовсе перестает работать.

3.2 Пассивная лихеноиндикация

В основу пассивного метода лежит процесс наблюдения за лишайниками непосредственно в их месте обитания, отражая изменения в численности и

видовом составе. Для измерения используют два типа площадок – постоянные и переменные. Постоянные площадки используются для многолетних измерений, а переменные для краткосрочных. Важным показателем, который учитывается при измерениях, является процент проективного покрытия. Его измеряют для каждого отдельного дерева и среднее на каждой точке. Проследив изменения, происходящие по этому показателю как со всеми лишайниками, так и с видами по отдельности, при использовании необходимых индексов и шкалы чувствительности видов, можно предположить как изменяется загрязнение во времени и пространстве.

При изучении проективного покрытия лишайников на поверхности деревьев используют два метода:

- Метод палетки представляет собой наложение на ствол дерева специальной сетки, обычно размером 10 на 10 см, на высоте в 150 см и считая по клеткам измеряют площадь, в процентах %, которую занимают лишайники;

- Примерно то же самое происходит при методе линейных пересечений, только здесь используют мерную ленту, которую на уровне в 150 см оборачивают вокруг ствола и считывают размеры, перекрывающие тела лишайников, после чего рассчитывают это в процентах от общей длины окружности. Именно данный метод я собираюсь использовать в своей работе.

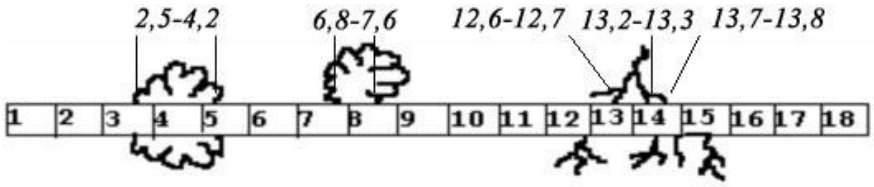

Рисунок 5. Метод линейных пересечений

4. Место сбора материала

4.1 Район исследования

Район исследования расположен на 49 км Мурманского шоссе, между поселком Синявино и садоводческим массивом Восход. Посёлок расположен в северо-западной части Ленинградской области на автодороге Р21 (Е 105) (Санкт-Петербург — Петрозаводск — Мурманск) «Кола».

Недалеко от района исследования находится Ладожское озеро. Поселок Синявино известен тем, что в нем расположена птицефабрика «Северная» — тайско-российское предприятие компании Charoen Pokphand Foods (с 1997 года), крупнейшая птицефабрика на северо-западе России, основанная в 1986 году.

Рисунок 6. Местонахождение точки сбора материала.

4.2 Влияние дорог на окружающую среду

Автомобильные дороги, как антропогенные объекты, способны настолько сильно воздействовать на окружающую среду, что их считают главным фактором ландшафтных нарушений. Основные проблемы, которые вызывают прокладки трасс, являются: рассечение природных территорий на отдельные друг от друга участки; снижение продуктивности почв; развитие эрозии, оползней, суффозий, приводящие к изменению уровня грунтовых вод, осушению и подтоплению.

Автомобильные дороги – это источники образования большого количества пыли, которая затем скапливается в приземном воздушном слое. Это происходит потому, что при взаимодействии дорожного покрытия и шин автотранспорта происходит процесс их истирания, при котором в воздух поступают продукты, смешанные с твёрдыми частицами отработавших газов и грязью, которая заносится с почвы прилегающей к дороге. Из всего этого и образуется огромное количество пыли, загрязняющей атмосферный воздух у дорог и переносящейся на большие расстояния. Исходя из вышесказанного, состав такой пыли будет определяться в зависимости от покрытия дорого, автомобильного топлива и типа почвы, прилегающей к дороге [13].

Дорожное покрытие бывает разного типа, например, щебёночное и гравийное, булыжное и грунтовое, асфальтобетон и цементобетон. На грунтовых и гравийных покрытиях образуется наибольшее количество пыли. Если покрытие дороги — это гравий, то в состав пыли будет входить много диоксида кремния, а если дорожное покрытие грунтовое, то почти на 100% пыль будет состоять из кварцевых частиц. Еще одна особенность есть у асфальтобетонных дорог, от них в пыль кроме всего прочего входят частицы краски и пластмассы из-за нанесенных линий разметки полос.

Кроме природных материалов, таких как гравий, щебень и песок, при строительстве дорог применяют отходы разных производств. К таким материалам, например, относятся вяжущие материалы. Преимущество асфальтобетонных покрытий в том, что за условный год эксплуатации они подвергаются меньшему изнашиванию, чем цементобетонные. В отечественной практике при изготовлении дорожных покрытий из асфальтобетонов применяют асбестовые отходы, что неизбежно ведет к последующему выделению асбестовой пыли. Такая пыль, а также частицы вяжущих материалов из каменноугольных смол и дегтей чрезвычайно канцерогенны. Кроме того, при истирании асфальтобетонов в окружающую среду поступает кадмий. На асфальтобетонных покрытиях шины (источник кадмия) изнашиваются быстрее, чем на бетонных. С адгезивными свойствами покрытий связана степень пылевого загрязнения придорожного пространства, а перенос пыли, в свою очередь, во многом определяется метеоусловиями, в частности, скоростью ветра, например, при скорости 15 м/с дорога на 70-90 % очищается от пылевой взвеси [6].

Таким образом, дорожные загрязнения по источникам их образования можно условно подразделить на следующие виды:

- выпадающие из атмосферы (под действием гравитационных сил или с дождевыми каплями);

- наносимые ветром или ливневыми и талыми водами на дороги с прилегающих неблагоустроенных территорий (продукты эрозии почвы, органические загрязнения, мусор и т.п.);

- являющиеся результатом движения АТС и пешеходов (продукты истирания асфальта и автомобильных шин, загрязнения с колес автотранспорта, масла и нефтепродукты).

Летние загрязнения на дорогах носят общее название – смёт. Под смётом понимают загрязнения, которые с помощью подметально-уборочных машин или вручную могут быть собраны с дорожных покрытий. Наибольшую опасность в составе смёта представляет собой пыль, особенно мелкодисперсная, способная подниматься в воздух.

5. Результаты измерений на пробных трансектах

Для проведения лихенометрических измерений на выбранном участке леса в направлении от дороги было проложено пять трансект, шириной около 3м) вглубь леса (рисунок 7) и взято по три пробных точки на каждой из них на трех разных расстояниях от дороги: в 24м, 74м и 124м. Всего по итогу данные были собраны с 15 разных точек (рисунок 8).

Рисунок 7. Заложенные трансекты

Рисунок 8. Участок измерения с примерным нахождением точек

В каждой точке было выбрано 3 модельных дерева на которых измерялись лишайники методом линейных пересечений при помощи мерной ленты, с измерением толщины их ствола. После чего площадь проективного покрытия лишайников, а так же по возможности подсчитывались и определялись виды.

Линия 1

Таблица 5.1.

Линия 1. Точка 1. На удалении в 24 м от дороги.	
Порода	Рябина обыкновенная (Sorbus aucuparia L.)
Ствол	27,0 см, 24,5 см, 21,2 см
Площадь покрытия в %	18,9%, 8,2%, 15,6%
Виды лишайников	Xanthoria parietina, Phycia adscendens, Buellia punctata

Таблица 5.2.

Линия 1. Точка 2. На удалении в 74 м от дороги.	
Порода	Рябина обыкновенная (Sorbus aucuparia L.)
Ствол	47,3 см, 18,8 см, 28,1 см
Площадь покрытия в %	18,0%, 7,5%, 20,6%
Виды лишайников	Lecanora chlarotera, Amandinea punctata, Buellia sp.

Таблица 5.3.

Линия 1. Точка 3. На удалении в 124 м от дороги.	
Порода	Рябина обыкновенная (Sorbus aucuparia L.)
Ствол	33,7 см, 37,2 см, 16,2 см
Площадь покрытия в %	9,8%, 3,2%, 19,1%
Виды лишайников	Lecanora chlarotera, Lecanora allophana, Scoliciosporum chlorococcum, Perthusuria sp., Buellia sp., Lepraria incana

Линия 2

Таблица 5.4.

Линия 2. Точка 1. На удалении в 24 м от дороги.	
Порода	Рябина обыкновенная (Sorbus aucuparia L.)
Ствол	23,5 см, 22,5 см, 20,4 см
Площадь покрытия в %	5,3%, 20,9%, 28,0%
Виды лишайников	Xanthoria parietina, Phycia adscendens, Lecanora varia

Таблица 5.5.

Линия 2. Точка 2. На удалении в 74 м от дороги.	
Порода	Рябина обыкновенная (Sorbus aucuparia L.)
Ствол	22,0 см, 14,8 см, 19,8 см
Площадь покрытия в %	10,5%, 32,4%, 7,0%
Виды лишайников	Lecanora chlarotera, Amandinea punctata, Buellia sp.

Таблица 5.6.

Линия 2. Точка 3. На удалении в 124 м от дороги.	
Порода	Рябина обыкновенная (Sorbus aucuparia L.)
Ствол	30,6 см, 25,2 см, 16,8 см
Площадь покрытия в %	3,3%, 18,3%, 8,3%
Виды лишайников	Lecanora chlarotera, Lecanora allophana, Scoliciosporum chlorococcum

Линия 3

Таблица 5.7.

Линия 3. Точка 1. На удалении в 24 м от дороги.	
Порода	Рябина обыкновенная (Sorbus aucuparia L.)
Ствол	18,0 см, 19,2 см, 23,9 см
Площадь покрытия в %	20,0%, 27,6%, 32,2%
Виды лишайников	Xanthoria parietina, Phycia adscendens, Buellia punctata

Таблица 5.8.

Линия 3. Точка 2. На удалении в 74 м от дороги.	
Порода	Рябина обыкновенная (Sorbus aucuparia L.)
Ствол	17,2 см, 13,4 см, 17,8 см
Площадь покрытия в %	25,0%, 25,4%, 20,8%
Виды лишайников	Lecanora chlarotera, Xanthoria parietina, Lecanora allophana

Таблица 5.9.

Линия 3. Точка 3. На удалении в 124 м от дороги.	
Порода	Рябина обыкновенная (Sorbus aucuparia L.)
Ствол	25,6 см, 25,4 см, 24,0 см
Площадь покрытия в %	20,7%, 20,0%, 30,4%
Виды лишайников	Lecanora chlarotera, Lecanora allophana, Scoliciosporum chlorococcum

Линия 4

Таблица 5.10.

Линия 4. Точка 1. На удалении в 24 м от дороги.	
Порода	Рябина обыкновенная (Sorbus aucuparia L.)
Ствол	27,0 см, 14,9 см, 21,6 см
Площадь покрытия в %	30,0%, 16,8%, 7,9%
Виды лишайников	Xanthoria parietina, Phycia adscendens, Buellia punctata, Lecanora varia

Таблица 5.11.

Линия 4. Точка 2. На удалении в 74 м от дороги.	
Порода	Рябина обыкновенная (Sorbus aucuparia L.)
Ствол	18,5 см, 16,9 см, 17,6 см
Площадь покрытия в %	15,1%, 23,7%, 22,2%
Виды лишайников	Lecanora chlarotera, Lecanora allophana, Xanthoria parietina, Amandinea punctata

Таблица 5.12.

Линия 4. Точка 3. На удалении в 124 м от дороги.	
Порода	Рябина обыкновенная (Sorbus aucuparia L.)
Ствол	15,0 см, 16,3 см, 19,5 см
Площадь покрытия в %	26,7%, 23,9%, 29,2%
Виды лишайников	Lecanora chlarotera, Lecanora allophana, Scoliciosporum chlorococcum, Perthusuria sp., Lepraria incana

Линия 5

Таблица 5.13.

Линия 5. Точка 1. На удалении в 24 м от дороги.	
Порода	Рябина обыкновенная (Sorbus aucuparia L.)
Ствол	17,7 см, 27,4 см, 27,5 см
Площадь покрытия в %	6,8%, 31,8%, 7,3%
Виды лишайников	Xanthoria parietina, Phycia adscendens, Buellia punctata

Таблица 5.14.

Линия 5. Точка 2. На удалении в 74 м от дороги.	
Порода	Рябина обыкновенная (Sorbus aucuparia L.)
Ствол	21,1 см, 18,6 см, 25,8 см
Площадь покрытия в %	10,4%, 22,6%, 17,8%
Виды лишайников	Lecanora chlarotera, Lecanora allophana, Amandinea punctata

Таблица 5.15.

Линия 5. Точка 3. На удалении в 124 м от дороги.	
Порода	Рябина обыкновенная (Sorbus aucuparia L.)
Ствол	21,0 см, 21,4 см, 20,7 см
Площадь покрытия в %	35,2%, 33,7%, 31,9%
Виды лишайников	Lecanora chlarotera, Lecanora allophana, Scoliciosporum chlorococcum

Из полученных данных мы можем вывести индекс чистоты атмосферы, IAQ (Index of Atmosphere Quality) и индекс полеотолерантности, IP для каждой точки и средний по всему участку исследования.

Таблица 5.16. Результаты расчётов индексов

Точка	IAQ	IAQ средний	IP	IP средний	Расстояние от дороги, м
Линия 1. Точка 1.	1,3	1,8	8	7,8	24
Линия 2. Точка 1.	1,6		7,1		
Линия 3. Точка 1.	1,7		8,2		
Линия 4. Точка 1.	2,7		7,7		
Линия 5. Точка 1.	1,6		8		
Линия 1. Точка 2.	1,2	1,5	5	5,1	74
Линия 2. Точка 2.	0,9		5		
Линия 3. Точка 2.	1,5		5		
Линия 4. Точка 2.	2,8		5,5		
Линия 5. Точка 2.	1,3		5		
Линия 1. Точка 3.	1,8	1,5	5	5,1	124
Линия 2. Точка 3.	0,9		5		
Линия 3. Точка 3.	1,5		5		
Линия 4. Точка 3.	1,5		5		
Линия 5. Точка 3.	2		5,5		

Далее на основе полученых индексов можно составвить графики

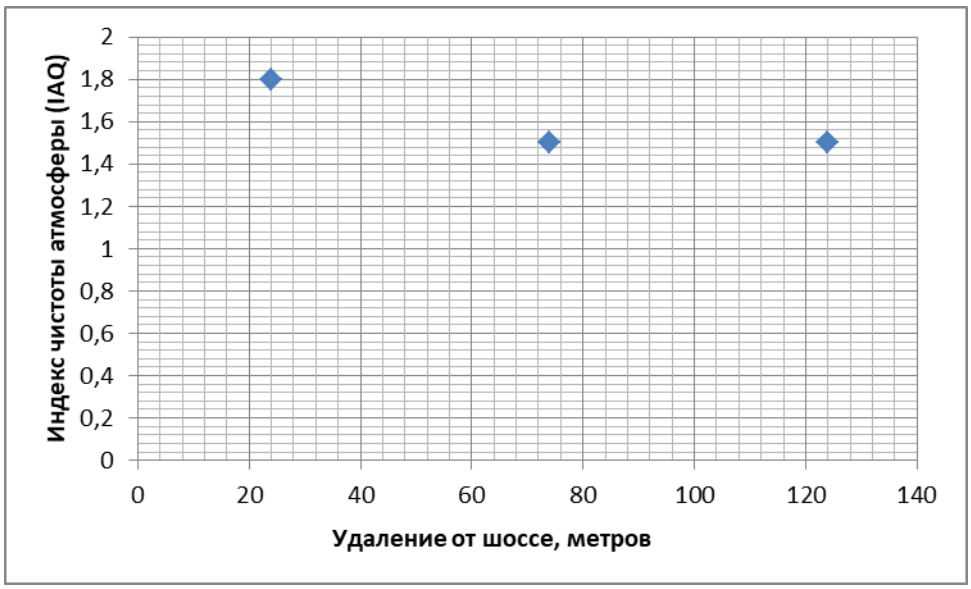

Рисунок 9. График отношения индекса чистоты атмосферы к расстоянию от дороги

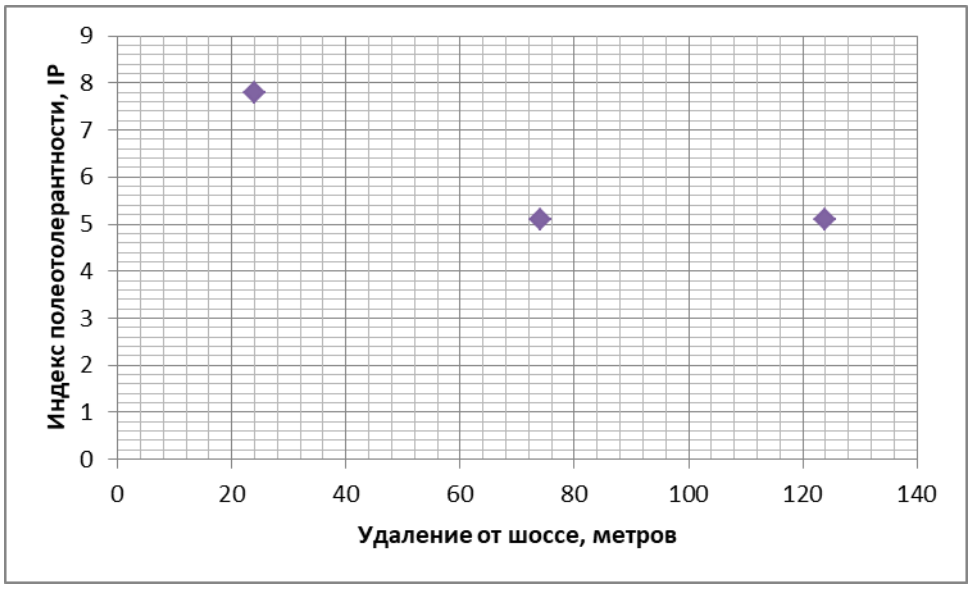

Рисунок 10. График отношения индекса полеотолерантности к расстоянию от дороги

Рисунок 11. Схема участка при корреляции индекса чистоты атмосферы со среднегодовым содержанием SO_2: коричневая зона – условная зона сильного загрязнения с концентрацией (SO_2) выше 0,086 мг/м3.

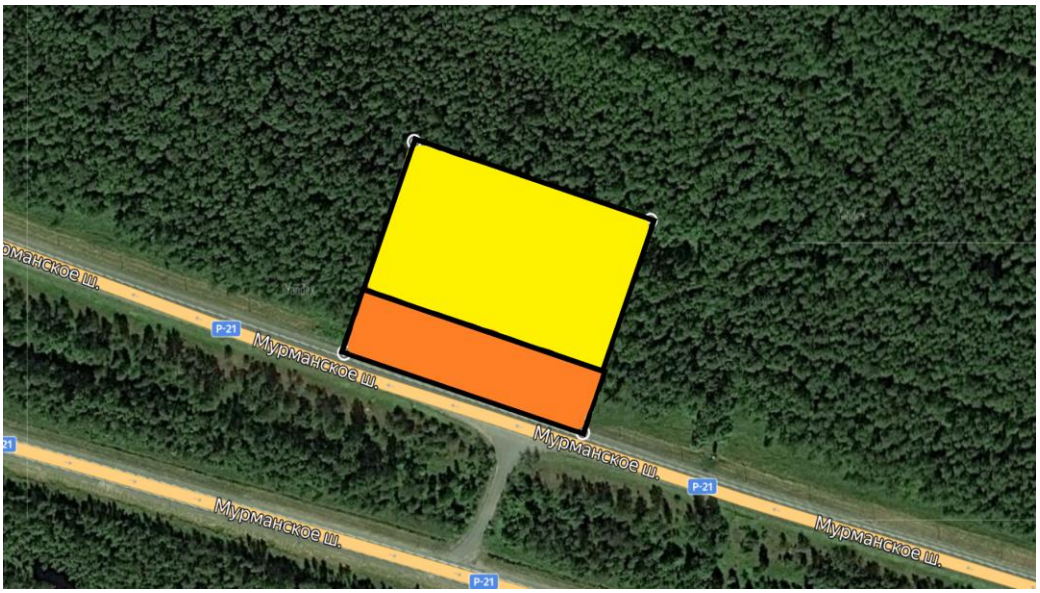

Рисунок 12. Схема участка при корреляции индекса полеотолерантности со среднегодовым содержанием SO_2: оранжевая зона – условная зона сильного загрязнения с концентрацией (SO_2) 0,08 - 0,10 мг/м3; жёлтая зона – условная зона среднего загрязнения с концентрацией (SO_2) 0,03 - 0,08 мг/м3

Оценивая полученные данные, можно утверждать, что на район, в котором проводились исследования, определённо есть антропогенное воздействие. Главным показателем этого выступают виды лишайников, обитающих в этой местности. В непосредственной близости от дороги в большинстве случаев были выявлены по классификации виды с показателями полеотолерантности 7-9, и редко встречающиеся виды с меньшими показателями. В частности, наибольшее распространение здесь получили 3 вида: Фисция восходящая (*Phycia adscendens*), с классом 7 и Ксантория настенная (*Xanthoria parietina*), с классом 8. Это говорит о том, что в этих точках лучше всего приспособились лишайники способные переносить достаточно высокую антропогенную нагрузку, в то время как сильно чувствительных к загрязнению видов обнаружено не было.

Однако при углублении в лес, по направлению от дороги (потенциального источника загрязнения) начинали преобладать виды с классом полеотолерантности 5, что говорит об условиях, меньше подверженных антропогенному воздействию. Наиболее распространённым видом лишайников стала – Леканора нежноватая (Lecanora chlarotera), класс полеотолерантности которой 5.

На основании анализа обнаруженных видов можно сделать вывод о том, что дорога значительно влияет на условия местообитания, и на живые организмы в нем.

Однако сравнивая индекс чистоты атмосферы (IAQ) на участках, в разной степени удаленных от дороги, получается, что вся территория более или менее одинаково загрязнена, и создается впечатление, что атмосфера чище у дороги, чем в лесу. Однако здесь стоит учитывать несколько факторов, которые, вероятно, оказали влияние на эти результаты. Деревья рябины в глубине насаждения являются слишком молодыми и затененными, из-за чего на них не развились крупные слоевища лишайников, а количество видов и площадь

покрытия лишайников является одним из ключевых факторов при расчёте индекса чистоты атмосферы. Тот факт, что возраст дерева, на котором произрастают лишайники, крайне важен для видового разнообразия, неоднократно отмечается в литературе [2, 5].

Учитывая, что освещенность у края леса больше, чем в его глубине, где много затемнённых участков, число видов и площадь покрытия лишайников выше, поэтому значения индексов получились близкие. Например, вид Ксантория настенная (*Xanthoria parietina*) формирует высокую степень покрытия на участках со значительной освещенностью, даже если эта территория испытывает загрязнение, и не любит селиться в затенённых местах.

Известно, что количество лишайников зависит и от особенностей коры дерева-форофита (неровности, кислотности корки): доля лишайников на рябинах во флоре Ленинградской области в среднем составляет всего 16% и около 30 видов, в то время как, например, на березах можно найти до 64 с общей биомассой в 36% [3].

Так же на обеднение флоры лишайников в Ленинградской области влияют массовые вырубки деревьев, осушения болот, асфальтирование дорог и рекреационное воздействие [9]. Так, например, на месте проведения исследования были обнаружены несколько брошенных покрышек, а так же наличие протоптанных дорожек и выброшенного мусора.

Для более точной оценки чистоты атмосферного воздуха лучше обратиться к индексу полеотолерантности, так как в нем учитывается разнообразие видов лишайников, а не только процент покрытия. Он даёт более точную картину, где более загрязненными участками являются точки в непосредственной близости к трассе, в то время как в глубине лесного насаждения условная зона загрязнения сменяется с сильно загрязненной на умеренную.

По итогу анализа полученных данных, можно с уверенностью заявить, что линейные загрязнители, такие как шоссе, оказывают непосредственное влияние на окружающую природу, в первую очередь, меняя видовое разнообразие лишайников.

Заключение

По результатам проведенной работы было выявлено следующее:

- Лишайники с наибольшими площадями проективного покрытия, растущие в непосредственной близости от дороги имеют высокий класс полеотолерантности;

- Лишайники с наибольшими площадями проективного покрытия, растущие в отдалении от дороги, принадлежат к средним классам полеотолерантности;

- Низкое видовое разнообразие внутри лесного насаждения, скорее всего, связано с присутствием большого числа молодых деревьев, на которых лишайники селятся неохотно из-за свойств коры (кора гладкая, ствол молодого дерева быстро растет в толщину, что приводит к разрывам слоевищ поселившегося лишайника).

На основе собранных данных о видовом составе и проективном покрытии лишайников на обследованной территории были рассчитаны индексы чистоты атмосферы и полеотолерантности, после чего скоррелированы со среднегодовыми концентрациями SO_2. На основе полученных вычислений были созданы диаграммы и карты, отражающие эти показатели.

Исходя из них, можно сделать вывод о серьёзном воздействии шоссе на окружающую среду как линейного загрязнителя, в том числе за счет пыли, состоящей из компонентов созданных трением колёс о поверхность дороги, выхлопных газов и грязи, принесённой с прилегающих почвенных покровов, что вполне согласуется с данными из литературных источников [2].

Также важным фактором, влияющим на площадь проективного покрытия лишайников, является освещённость: она выше на участках рядом с дорогой, в

то время как в глубине леса находятся затенённые участки, что мешает обильному развитию лишайников.

Динамика состояния атмосферного воздуха на исследуемой территории неизвестна. Это открывает возможности для дальнейших исследований по данной теме.

Основными рекомендациями по улучшению состояния атмосферы можно назвать те, которые уменьшат количество пыли, а также изменят состав воздуха:

- Использование транспорта с более экологически чистым потребляемым топливом, например природным газом, а в идеальном случае – машины, работающие на электроэнергии;

- Избегать использования дорожного покрытия с использованием гравия и грунта, на которых образуется наибольшее количество пыли.

Список использованной литературы

1. Оценка загрязнения воздуха методом лихеноиндикации/ А.С. Боголюбов, М.В. Кравченко// «Экосистема», 2001.

2. Лишайники дендрологического парка «Отрадное» ботанического института им. В. Л. Комарова РАН (Карельский перешеек, Ленинградская область)/ Малышева Н.В., Лукс Ю.А., Латманизова Т.М.// Санкт-Петербург (PETROPOLIS) «Наука» 2002.

3. Лишайники Северо-Приморского парка Санкт-Петербурга/ И.С. Степанчикова, Д.Е. Гимельбрант, Л.А. Конорева// Вестник Санкт-Петербуржского университета Сер. 3. 2008. Вып. 3. УДК 582.29.

4. Лихенофлора города Павловска/ Малышева Н.В.// Санкт-Петербург, Бот. журн., 2013г., т. 98, № 12 – С. 1505–1514.

5. Лишайники Санкт-Петербурга. 1 Современная лихенофлора и ее анализ/ Малышева Н.В.// Санкт-Петербург, Бот. журн., 1996г., т. 81, № 6 – С. 23–30.

6. Перспективы и проблемы использования отходов производства асбеста для дорожного строительства/ Булдаков С.И., Дедюхин А.Ю.// Лесной вестник 2008.

7. Лишайники Санкт-Петербурга. 2 Изменения лихенофлоры за 270 лет/ Малышева Н.В.// Санкт-Петербург, Бот. журн., 1996г., т. 81, № 7 – С. 55–72.

8. Краткосрочный биомониторинг лихенофлоры парка ботанического института им. В. Л. Комарова РАН (Санкт-Петербург)/ Малышева Н.В., Связева О.А.// Санкт-Петербург, Новости систематики низших растений, 2009.

9. Видовое разнообразие лишайников на территории Ленинградской области/ Сотник В.Г., Назарова Ю.Н.// Царскосельские чтения, 2014.

10. Трешоу М., Майкл Загрязнение воздуха и жизнь растений / [М. Трешоу, Д.Г. Жиллет, Э. Робинсон и др.]; Под ред. М. Трешоу Пер. с англ. В.И. Егорова, И.М. Куниной Под ред. Т.В. Замараевой, С.М. Семенова. - Л. : Гидрометеоиздат, 1988.

11. Трасс Х.Х. Классы полеотолерантности лишайников и экологический мониторинг // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. - Ленинград: Гидрометеоиздат, 1985.

12. Плантариум. Растения и лишайники России и сопредельных стран: открытый онлайн атлас и определитель растений. 2007—2021 /- Текст: электронный - URL: https://www.plantarium.ru/page/view/item/74671.html (дата обращения: 25.05.2022).

13. Автомобильные дороги и окружающая/ Евгеньев И.Е., Каримов Б.Р.// - М. : ООО "Трансдорнаука", 1997. - 285,[1] с.

14. Сионова Н.А. Биоиндикация загрязнения атмосферного воздуха г. Краснодара с помощью эпифитных лишайников / Н.А. Сионова, С.Б. Криворотов // Географические исследования Краснодарского края: Сб. науч. тр. – Краснодар: Кубан. Гос. ун-т, 2005.

15. Лихеноиндикация загрязнения окружающей среды/ Чеснокова С.М.// Владим. гос. ун-т. Владимир, 1999. 38 с.

16. Курс низших растений/ Горленко М.В.// М., 1981. - 477 с.

17. Лишайники/ Заварзин А.А. и др.// СПб.: Балтийский фонд природы, 2000. — 144 с.

18. Экологический мониторинг: учебное пособие / Р.Н. Апкин, Е.А. Минакова.– 2-е изд., испр. и доп. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2015. – 127 с.

19. Лишайник | это... Что такое Лишайник?/Электронный ресурс - URL:

https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1008435

20. ЛИШАЙНИКИ И ИХ ИЗУЧЕНИЕ/ Харитонов Н.П.// "Исследователь", 2009.

Приложение А.

Рисунок 13. Местность проведения исследования

Рисунок 14. Местность проведения исследования

Приложение Б.

Рисунок 13. Лишайники, обнаруженные на трансекте 1, в точке 1

Приложение В.

Рисунок 14. Лишайники, обнаруженные на трансекте 2, в точке 1

Приложение Г.

Рисунок 15. Лишайники, обнаруженные на трансекте 3, в точке 2

Приложение Д.

Рисунок 16. Лишайники, обнаруженные на трансекте 5, в точке 3

Приложение Е.

Рисунок 17. Лишайники, обнаруженные на трансекте 5, в точке 1