

*Колесник Аким Алексеевич, оператор научной роты ГВМУ МО РФ,
Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург*

e-mail: akim.44@yandex.ru

*Слукин Кирилл Данилович, оператор научной роты ГВМУ МО РФ,
Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург*

e-mail: keria24dragon@mail.ru

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА Г. ПСКОВА РАЙОНА «ЗАПСКОВЬЯ» МЕТОДОМ ПОЛЕОТОЛЕРАНТНОСТИ

Аннотация: Одним из общепринятых подходов в изучении проблемы состояния окружающей среды является контроль за выбросами вредных веществ и оперативное принятие мер при превышении нормативов. Для этого часто используют биоиндикацию, где ключевым является измерение параметров воздействия загрязнителей на живые организмы. Метод полеотолерантности позволяет провести анализ качества воздуха в широком диапазоне факторов окружающей среды, в том числе в уникальном микроклимате городов. Основная цель работы – это определение качества атмосферного воздуха в городе Пскове. Для этого было выполнено комплексное исследование 3 зеленых зон, имеющих разную интенсивность движения транспорта и расстояние до промышленных объектов.

Ключевые слова: лишеноиндикация, загрязнение, атмосферный воздух, лишенобиота, Псков.

Abstract: One aspect of environmental care involves monitoring emissions of harmful substances and promptly taking measures when the norms are exceeded. To achieve this, bioindication is often used, which entails measuring the impact of pollutants on living organisms. The field tolerance method allows for the analysis of

air quality across a wide range of environmental factors, including within the unique microclimate of cities. The main objective of the study is to assess the quality of atmospheric air in the city of Pskov. To achieve this, a comprehensive investigation of three green zones with varying levels of traffic intensity and distances from industrial facilities was conducted.

Keywords: lichen indication, pollution, atmospheric air, lichen biota, Pskov.

Введение. Стремительное развитие человечества характеризуется глубоким вовлечением нехарактерных для природных экосистем химических элементов, что открывает новые адаптационные возможности для организмов. Поиск отклонений в онтогенетическом процессе флоры и фауны позволяет лучше понять механизмы формирования приспособлений организмов к меняющимся условиям среды.

Лишайники являются уникальной симбиотической группой организмов, из-за своего строения они могут заселять природные зоны недоступные другим растениям [1], но в тоже время сильнее всего подвержены влиянию человеческой деятельности. Низкая резистентность лишенобиоты к фторводородам, хлорводородам и диоксидам серы [1], а также ее широкое биоразнообразие и приуроченность к различным субстратам позволяет проводить мониторинг качества воздуха в городах без использования специальной аппаратуры. Удешевление способов мониторинга окружающей среды позволяет создать эффективные методы поддержания экологической безопасности страны, что особенно востребовано в городах-промышленных центрах, где на создание безопасной инфраструктуры контроля выброса вредных веществ не всегда выделяется достаточно средств [2].

В качестве объекта исследования был выбран район “Запсковье” города Пскова из-за большого количества зеленых насаждений, резкого контраста между различными его частями и наличием как мест с высокой антропогенной нагрузкой, так и рекреационных зон.

Материалы и методы. В 3-х скверах была собрана коллекция лишайников,

состоящая из 60 экземпляров. Для определения видовой принадлежности использовались определители лишайников СССР. Выпуск 1 - 5 под редакцией Абрамова И.И. (1971 - 1978) [3], а также реактивы 10 % раствор гидроксида калия (KOH) и раствор парафенилендиамина [C₆H₄(NH₂)₂].

Оценка проективного покрытия дается по 10-балльной шкале (таблица 1). Площадь проективного покрытия вычисляется по шкале Браун-Бланке, которая вычисляется следующим образом: рамку 20 x 20 см с сеточкой накладывают на ствол на высоте 1.5 - 1.7 метров и фиксируют. Затем определяют число *a* единичных квадратов, в которых лишайники занимают на глаз больше половины площади квадрата, и им приписывают покрытие, равное 100%; определяют число *b* квадратов, в которых лишайники занимают менее половины площади квадрата, и им приписывают покрытие, равное 50%. Общее покрытие в процентах вычисляют по формуле: $R = (100a + 50b) / c$ (*c* – число исследованных площадок).

Таблица 1. Проективное покрытие, выраженное баллами по Трассу Х.Х.

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

Для определения принадлежности лишайника к классу устойчивости использовалась таблица классов чувствительности лишайников и типов местообитаний эпифитных лишайниковых сообществ [4]:

Используя эти таблицы, можно рассчитать индекс полеотолерантности. Принцип основан на использовании соотношения проективного покрытия ствола дерева лишайниками, суммарного количества видов лишайников и лишайников доминантного вида.

Определяют индекс полеотолерантности (ИП) для определения чистоты воздуха по формуле:

$$ИП = \sum_{i=1}^n \frac{a_i c_i}{c_n}$$

где c_n – общее проективное покрытие; a_i – класс полеотолерантности i -го вида, определяемый по таблице в соответствии с видом лишайника, c_i – проективное покрытие i -го вида.

Полученный индекс соотносится с оценочной шкалой (таблица 2) [5] концентрации SO_2 в атмосфере, благодаря чему можно определить уровень загрязненности воздуха.

Таблица 2. Индекс атмосферной чистоты

Индекс полеотолерантности	Концентрация SO_2 в атмосфере, мг/м ³	Класс качества воздуха
0	Более 0,3	Лишайниковая пустыня
1-2	Менее 0,01	Очень чистый
2-5	0,01-0,03	Чистый
5-7	0,03-0,08	Относительно чистый
7-10	0,08-0,10	Умеренно загрязненный
10	0,10-0,30	Сильно загрязненный

Основная часть. В 2023 году обследовались 3 зеленые зоны района “Запсковье” (рисунок 1). В парковых зонах была проведена экспозиция лишайников на 60 деревьях вида *Tilia cordata*, отобранных так, чтобы условия их произрастания были примерно одинаковыми. Была выбрана общая порода

деревьев для всех объектов исследования, поскольку на рост эпифитных лишайников влияет кислотность коры, её структура и особенности развития кроны.

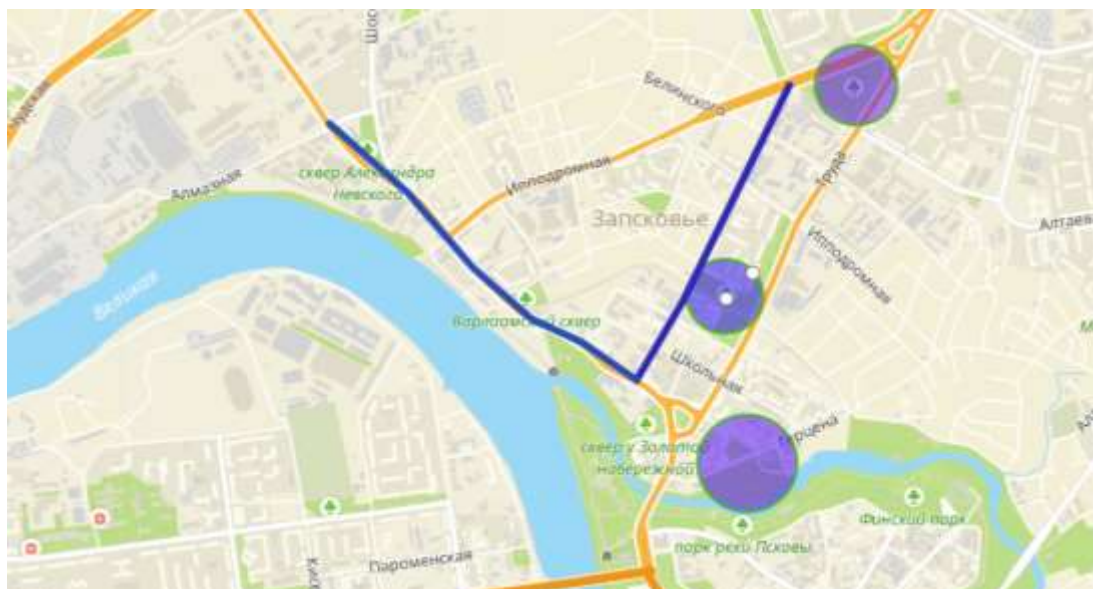


Рисунок 1. Объекты исследования в 2023 года

В ходе работы была составлена систематика встреченных видов, которая включает: 15 видов лишайников эпифитов, относящихся к 6 семействам и 8 родам, среди которых был обнаружен один краснокнижный вид *Ramalina fraxinea* [6].

Таблица 3. Систематика встреченных видов

Семейство	Род	Вид
<i>Teloschistaceae:</i>	<i>Caloplaca:</i>	<i>Caloplaca cerina</i> (Ehrh. ex Hedw.) Th. Fr., 1861
	<i>Xanthoria:</i>	<i>Xanthoria parietina</i> (L.) Th. Fr., 1860
<i>Lecanoraceae:</i>	<i>Lecanora:</i>	<i>Lecanora allophana</i> (Ach.) Rohl
		<i>Lecanora carpinea</i> (L.) Vainio, 1888
		<i>Lecanora chlarotera</i> Nyl., 1872
<i>Parmeliaceae:</i>	<i>Parmelia:</i>	<i>Parmelia sulcata</i> Taylor, 1836

<i>Physciaceae:</i>	<i>Phaeophyscia:</i>	<i>Phaeophyscia ciliata</i> (Hoffm.) Moberg, 1977
		<i>Phaeophyscia nigricans</i> (Flörke) Moberg, 1977
		<i>Phaeophyscia orbicularis</i> (Neck.) Moberg, 1977
	<i>Physcia:</i>	<i>Physcia aipolia</i> (Ehrh. ex Humb.) Fürnr., 1839
		<i>Physcia adscendens</i> (Fr.) H. Olivier, 1882
		<i>Physcia stellaris</i> (L.) Nyl., 1856
		<i>Physcia tenella</i> (Scop.) DC. E. Dahl, 1937
<i>Ramalinaceae:</i>	<i>Ramalina:</i>	<i>Ramalina fraxinea</i> (L.) Ach., 1814
<i>Scoliciosporaceae:</i>	<i>Scoliciosporum:</i>	<i>Scoliciosporum chlorococcum</i> (Graewe ex Stenh.) Vězda, 1978

Для оценки загрязнения атмосферы используется методика, описанная в предыдущей главе, а также данные из таблицы №1 (проективное покрытие, выраженное баллами по Трассу), таблицы классов чувствительности лишайников и типов местообитаний эпифитных лишайниковых сообществ и индекса атмосферной чистоты (таблица 2).

Видам, которые были определены ранее был присвоен уровень толерантности к поллютантам. Используя таблицу №1, проективное покрытие лишайников было переведено в балльную систему. Полученные данные подставляются в формулу для расчета индекса полеотолерантности.

В таблице №4 представлен индекс полеотолерантности для сквера Пограничников.

Таблица 4. Индекс полеотолерантности для эпифитной лишайнобиоты зеленых насаждений сквера Пограничников

Вид	Проективное покрытие, %	Класс устойчивости
<i>S. chlorococcum</i>	7,8	10
<i>X. parietina</i>	22,2	9
<i>Ph. orbicularis</i>	15,6	9
<i>C. cerina</i>	2,2	8
<i>Ph. tenella</i>	6,7	7
<i>Ph. nigricans</i>	6,7	7
<i>Ph. adscendens</i>	6,7	7
<i>P. sulcata</i>	1,1	7
<i>Ph. stellaris</i>	1,1	7
<i>L. carpinea</i>	13,3	6
<i>L. alophanta</i>	4,4	6
<i>L. chlarotera</i>	1,1	5
<i>Ph. aipolia</i>	8,9	5
<i>R. fraxinea</i>	1,1	5
<i>Ph. ciliata</i>	1,1	5
Индекс полеотолерантности участка		7,26

В сквере Пограничников наибольшим проективным покрытием обладает *Xanthoria parietina*. Покрытие зависит, в том числе, от степени устойчивости организма к загрязнителям. Для *X. parietina* устойчививаость равна 9, что означает возможность развития организма при высоком антропогенном влиянии. Такой же устойчивостью обладает *Ph. orbicularis* (15,6%) и *S. Chlorococcum* (7,8%). Однако если посмотреть на виды с меньшей устойчивостью: *R. fraxinea*, *Ph. ciliata*, *Ph. aipolia*, *L. Chlarotera* можно отметить, что их общая площадь относительно остальных лишайников статистически незначительна. Этим отношением объясняется высокий показатель ИП. По индексу атмосферной чистоты (табл. 2) скверу Пограничников присваивается “Умеренно загрязненный” класс качества воздуха.

В таблице №5 представлен индекс полеотолерантности для Образского сквера.

Таблица 5. Индекс полеотолерантности для эпифитной лишенобиоты зеленых насаждений
Образского сквера

Вид	Проективное покрытие, %	Класс устойчивости
<i>S. chlorococcum</i>	9,1	10
<i>X. parietina</i>	24,7	9
<i>Ph. orbicularis</i>	18,2	9
<i>C. cerina</i>	3,9	8
<i>Ph. tenella</i>	6,5	7
<i>Ph. nigricans</i>	7,8	7
<i>Ph. adscendens</i>	3,9	7
<i>P. sulcata</i>	1,3	7
<i>Ph. stellaris</i>	1,2	7
<i>L. carpinea</i>	11,7	6
<i>L. alophanta</i>	2,6	6
<i>L. chlarotera</i>	1,3	5
<i>Ph. aipolia</i>	7,8	5
Индекс полеотолерантности		7,47

В Образском сквере также умеренно загрязненный воздух (табл. 2), но из-за отсутствия некоторых неустойчивых к загрязнениям видов ИП для этого участка выше, чем у сквера Пограничников и составляет 7,47. Стоит отметить проективное покрытие двух фоновых видов: *X. parietina* (24,7) и *Ph. orbicularis* (18,2) – является самым высоким из всех представленных объектов исследования. Можно предположить, что это связано с угнетенным состоянием лишайников-конкурентов, которые неспособны размножаться в агрессивной среде.

Далее представлен анализ собранных по парку Строителей данных.

Таблица 6. Индекс полеотолерантности для эпифитной лишенобиоты зеленых насаждений парка Строителей

Вид	Проективное покрытие, %	Класс устойчивости
<i>S. chlorococcum</i>	7,4	10
<i>X. parietina</i>	18,5	9
<i>Ph. orbicularis</i>	16	9
<i>Ph. tenella</i>	8,6	7
<i>Ph. nigricans</i>	14,8	7
<i>Ph. adscendens</i>	8,6	7
<i>L. carpinea</i>	2,5	6
<i>Ph. aipolia</i>	8,6	5
Индекс полеотолерантности		6,22

Для парка Строителей (табл. 6) ситуация куда более благоприятная: по шкале чистоты атмосферного воздуха ему присуждается “Относительно чистый” класс (табл. 2). Такая картина обусловлена более равномерным распределением показателей покрытия видов как с высокой устойчивостью, так и с низкой; что делает этот парк самым благоприятным с точки зрения жизнедеятельности лишайников.

В целом, для исследованных зон характерна умеренная загрязненность, связанная с выхлопными газами проезжающих автомобилей. Это утверждение подтверждается относительно чистым воздухом для парка Строителей, поскольку он находится вдали от активного транспортного движения, а река Пскова, протекающая рядом, создает благоприятный микроклимат. Ситуация в сквере Пограничников и Образском сквере выглядит хуже, но там также были встречены виды с низкой степенью устойчивости к загрязнению воздуха. В особенности, необходимо отметить сквер Пограничников, обладающий самым высоким видовым разнообразием, несмотря на свое расположение в центре крупного района города “Запсковья”.

Таким образом общий уровень загрязнения объектов, согласно проведенным исследованиям, граничит с опасным, поскольку ПДК в сутки для SO₂ не должен превышать значения в 0,05 мг/м³ [7]. Согласно проведенной

работе, для 2/3 зеленых насаждений, этот показатель превысил норму, что может негативно сказываться на здоровье людей с хроническими болезнями дыхательных путей.

Заключение. Во время изучения особенностей распределения эпифитных лишайников было установлено, что лишайники, имеющие низкую устойчивость к загрязнению, обладают большей площадью покрытия в парке Строителей, что связано с относительно чистым воздухом на этом участке. Самую низкую среднюю площадь покрытия имеют лишайники, находящиеся в Образском сквере, поскольку согласно индексу атмосферной чистоты, определенному в ходе работы, имеет концентрацию SO_2 в атмосферном воздухе в пределах от 0,08 до 0,10 мг/м³. Согласно ПДК, такая концентрация превышает допустимый уровень и оказывает негативное влияние не только на талломы лишайников, но и на людей. Наибольшее видовое разнообразие было обнаружено в сквере Пограничников, эта особенность распределения позволяет сделать вывод о том, что условия окружающей среды этого участка являются оптимальными для наибольшего числа видов. При этом, концентрация диоксида серы (SO_2) выше нормы, что косвенно подтверждается высокой площадью проективного покрытия фоновых видов.

Библиографический список:

1. Бязров Л. Г. Лишайники в экологическом мониторинге. – Научный мир, 2003.
2. Давыдова И.С., Гапоненко А.В. Проблема загрязнения атмосферного воздуха в городах // Sciences of Europe. 2017. №14-2.
3. Абрамов И. И., Макаревич М. Ф. (ред.). Определитель лишайников СССР том 1 - 5. – Наука. Ленингр. отд-ние, 1971 - 1978.
4. Трасс Х.Х. Лихеноиндикационные индексы и SO_2 // Биогеохимический круговорот веществ в биосфере. М.: Наука, 1987. С. 111-115.
5. Трасс Х.Х. Классы полеотолерантности лишайников и экологический мониторинг // Проблемы экологического мониторинга и

моделирования экосистем. Л.: Гидрометеиздат, 1984. - С. 144 – 159.

6. Красная книга Псковской области / под. ред. А. В. Истомина. — Псков: Изд-во ПсковГУ, 2014. — 544 с. — 1000 экз.— ISBN 978-5-00028-038-6.

7. Mary O. Amdur, Walter W. Melvin, Philip Drinker. Effects of Inhalation of Sulphur Dioxide by Man (англ.) // The Lancet. — Elsevier B.V, 1953. — 1 October (vol. 262 (iss. 6789)). — P. 758—759. — ISSN 0140-6736. — doi:10.1016/S0140-6736(53)91455-X.