

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА СТРУКТУРУ ЛИХЕНОЦЕНОЗОВ ПРИДОРОЖНОЙ ЗОНЫ ЛЕСОПАРКОВ г. ПЕНЗЫ

IMPACT OF AIR POLLUTION ON THE STRUCTURE OF LICHENOCENOSIS IN THE ROADSIDE AREA OF FOREST PARKS IN PENZA

О. Н. Федосеев, Г. А. Борисов, А. А. Гунин
O. N. Fedoseev, G. A. Borisov, A. A. Gunin

Российская федерация. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Russian Federation. Penza State University of Architecture and Construction
OlegF1962@mail.ru

Произведено исследование влияния концентрации окислов азота и серы на распределение и площадь проективного покрытия лишайниками форофитов, расположенных в придорожной полосе лесопарковых зон г. Пензы. Выяснено, что наибольшую устойчивость к загрязнению имеют накипные лишайники р. *Cladonia*, наименьшую – р. *Parmelia*. При достижении концентрации данных веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов ПДК_{сс} возможно нахождение накипных лишайников на коре деревьев в минимальных количествах, но индекс разнообразия по IAP будет близок к нулю.

The influence of the concentration of nitrogen and sulfur oxides on the distribution and sparing of projective coating with lichens of forophytes located in the roadside strip of the forest areas of Penza was studied. It has been found that the largest resistance to pollution is the scale lichens of the *Cladonia* river, the smallest is the *Parmelia* river. When the concentration of these substances in the atmospheric air of MPC average daily settlements is reached, it is possible to find scale lichens on the tree bark in minimal quantities, but the IAP diversity index will be close to zero.

Ключевые слова: лишайники, лишайноиндикация, загрязнение атмосферного воздуха в городах.

Keywords: lichens, lichenoidication, urban air pollution.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2024-2-64-67>

В условиях антропогенного изменения среды видовое разнообразие лишайников обедняется, что связано с различной приспособительной способностью к условиям среды у разных видов [1]. Применение организмов - биоиндикаторов, отвечающих на загрязнение среды изменением популяционных показателей, имеет ряд преимуществ. С одной стороны, это позволяет уменьшить применение дорогих физико-химических методов анализа. С другой стороны такие организмы суммируют важные для них эффекты загрязнения, что позволяет выяснить скорость изменений, пути и места скопления в экосистемах различных токсикантов, делать выводы о степени опасности для человека и полезной биоты конкретных веществ или их сочетаний [2].

Лишайники, в плане их использования в качестве биоиндикаторов представляют большой интерес. В частности их распределение можно использовать для оценки общей токсичности атмосферного воздуха на линейных источниках выделения загрязняющих веществ, например автодорог. В то же время зона исследования должна иметь экологические ниши для лишайников по показателям влажности и освещенности. Такими местами являются лесопарковые зоны городов.

В связи с этим в исследовании были поставлены следующие задачи:

определить биоразнообразие лишайнофлоры на форофитах придорожных зон в экосистемах, благоприятных по своим параметрам для обитания лишайников;

определить устойчивость различных видов лишайников к основным токсичным компонентам отработавших газов автотранспорта.

Материал и методы. Для проведения исследований были выбраны три парка г. Пензы - ЦПКиО им. Беллинского, скверы, расположенные рядом с библиотекой им. Лермонтова и сквер ДК им. Дзержинского. Исследуемые участки являются зонами отдыха горожан, поэтому чистота воздуха в этих зонах - один из факторов сохранения здоровья жителей Пензы.

Исследования проводились в 2021 - 2023 гг. в три этапа. Материалом для третьего этапа, освещаемого в данной работе, явились результаты измерений площади талломов определенных на высоте форофита 150 см. на 15 участках парков, расположенных в 5 и 10 м от проходящих мимо автодорог. Измерение загрязненности атмосферы производилось газоанализатором УГ-2, аспиратор НП-3М, зонд пробоотборный ЗП-ГХК-ПВ, индикаторные трубки серии ТИ, тестированные в лаборатории экологического мониторинга ФБУЗ ЦГСЭН №59. Идентификация лишайников проводились согласно справочнику-определителю [3].

Для определения степени комфортности условий среды произрастанию лишайнофлоры воспользовались методикой измерения проективного покрытия А.В. Пчёлкина и А.С. Боголюбова [4].

Статистическую обработку и кластерный анализ условий существования лишайников проводили с помощью программы Statistica 10 Copyright © StatSoft, Inc 1984–2011.

Результаты и обсуждение. Исследования лишайнофлоры парков города Пензы показали, что видовой состав имел самое высокое разнообразие в большом лесопарке им. Белинского. На остальных участках количество встречающихся видов не превышало пяти. Также и наибольшее проективное покрытие форофитов было обнаружено в ЦПКиО им Белинского.

Таблица 1

Видовой состав лишайников лесопарковой зоны г. Пензы

Виды лишайников	Участки		
	ЦПКиО им. Белинского	Парк библиотеки им. Лермонтова	Сквер ДК им. Дзержинского
<i>Кустистые</i>			
Ramalina synensis	+	+	
Evemia mesomorpha	+	+	
Usnea longissima	+		
<i>Листоватые</i>			
Parmelia utophyllodes		+	+
Parmelia sulcata	+		
Parmelia olivacea	+		
Hypogymnia physodes	+		
Physcia aipolia	+		
Physcia adscendens	+		
<i>Накипные</i>			
Cladonia sp.	+	+	+
Artopyrenia gemmata.		+	

Количество видов четко коррелирует со средним уровнем загрязнения атмосферного воздуха данных участков. Так в парке им. Белинского, с наименьшими показателями средней загрязненности воздуха (NO_x : $C \pm m = 0,011 \pm 0,002$ мг/м³; SO_2 : $C \pm m = 0,010 \pm 0,001$ мг/м³) зафиксировано наибольшее разнообразие видов лишайников - 9. Для сравнения, на других участках данные показатели находились в следующих пределах. Участок 2 – парк библиотеки им. Лермонтова - 5 видов, уровни загрязнения: NO_x $C \pm m = 0,041 \pm 0,005$ мг/м³; SO_2 : $C \pm m = 0,027 \pm 0,004$ мг/м³. На третьем участке – сквере ДК им. Дзержинского обнаружено всего два вида. Уровни загрязнения атмосферного воздуха по оксидам азота были наибольшими - $C \pm m = 0,054 \pm 0,003$ мг/м³, по диоксиду серы $C \pm m = 0,021 \pm 0,002$ мг/м³.

Наибольшую встречаемость обнаружил вид накипного лишайника рода Cladonia. Он был нами зафиксирован в составе лишайнофлоры на всех участках. Не было его только в местах наибольших загрязнений в точках, расположенных в непосредственной близости от автодорог.

В целях классификации и упрощения исследования мы произвели объединение некоторых точек. Типизация точек, на которых производилась съемка проективного покрытия может также показать какие местообитания являются наиболее благоприятными с точки зрения возможности обитания там представителей лишайнофлоры, а соответственно и в отношении влияния на другие организмы, в том числе и на человека.

Результаты кластерного анализа, произведенного по усредненным значениям измеренных параметров окружающей среды для выделенных в нашем исследовании местообитаний представлены на рисунке 1.

Условия обитания лишайников в городской среде, а также их видовое разнообразие распределялись по следующим группам биотопов:

Группа 1: лесная автодорога (2), поворот автодороги (1), автодорога у парка по ул. Советской (7), парк площади Советской (8), парк вдоль улицы Белинского (9), сквер библиотеки им. Лермонтова вдоль ул. Лермонтова (10). Данные точки в основной своей массе представляют собой разрезы, перпендикулярные линейному источнику загрязнения или открытому участку местности. Вдоль этих разрезов большинство факторов следы, также как и разнообразие лишайнофлоры изменяется по градиенту.

Группа 2: сквер в парке им. Белинского (3), ул. Лермонтова (6), перекресток ул. Октябрьская (11). Условия среды схожи с предыдущими, но градиент изменения факторов среды выражен гораздо сильнее.

Группа 3: только одна точка с уникальными условиями (12) – западная часть парка ДК им Дзержинского вдоль ул. Октябрьская, защищенная с запада высоким зданием.

Группа 4: точки, расположенные в глубине парковой зоны с относительно чистым воздухом, высокой влажностью и затененностью - центр парка им. Белинского (4, 5), северная часть парка ДК им. Дзержинского (13).

Группа 5: Середина парковой зоны с хорошим освещением и умеренным загрязнением (14, 15).

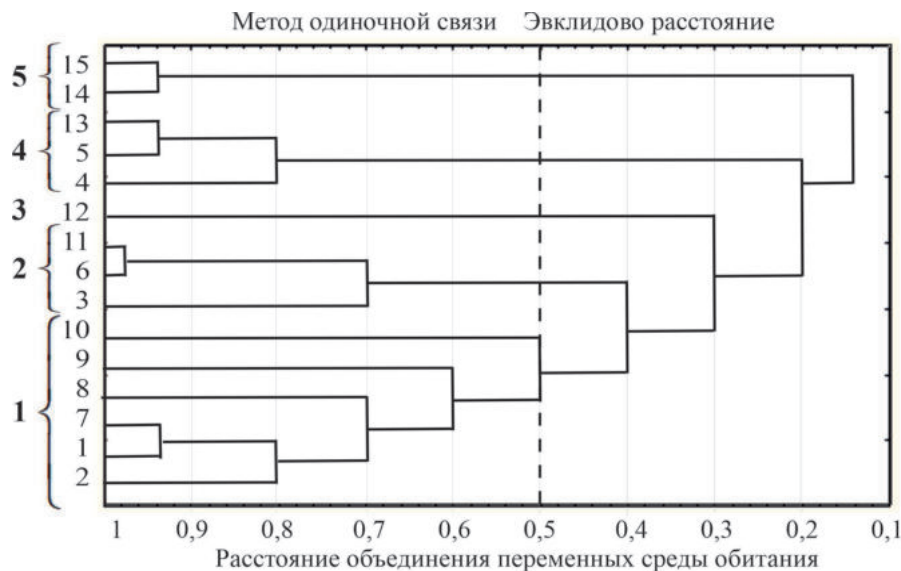


Рисунок 1 – Дендрограмма кластерного анализа местообитаний лишайников по параметрам загрязненности атмосферного воздуха, относительной влажности, освещенности и индекса разнообразия лишенофлоры

Из таблицы 1 видно, что общие изменения структуры лишеносинузид под воздействием загрязнения проявляются в уменьшении числа чувствительных видов, смене субстратов и увеличении обилия устойчивых к загрязнению атмосферы видов, которым причисляются накипные лишайники рода *Cladonia*¹. Выявлены следующие изменения в видовом составе лишайников в условиях загрязнения: обеднение его видового состава, изменение спектра жизненных форм (уменьшение доли кустистых и, в меньшей степени, листоватых лишайников), сокращение числа видов, проявляющееся в снижении индекса разнообразия по IAP. Подобную картину наблюдали и ранее [5].

В основе изменения видового состава лишайниковых сообществ под влиянием загрязнения лежит дифференциальная чувствительность различных видов к воздействию поллютантов. Так данные, касающиеся распространения видов, и мониторинг по определению концентраций загрязняющих веществ в местах их произрастания позволяют составить точные количественные шкалы чувствительности видов к различным загрязнителям [6]. В нашем случае данную закономерность можно проиллюстрировать зависимостью индекса разнообразия по IAP от уровня концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (рисунок 2).

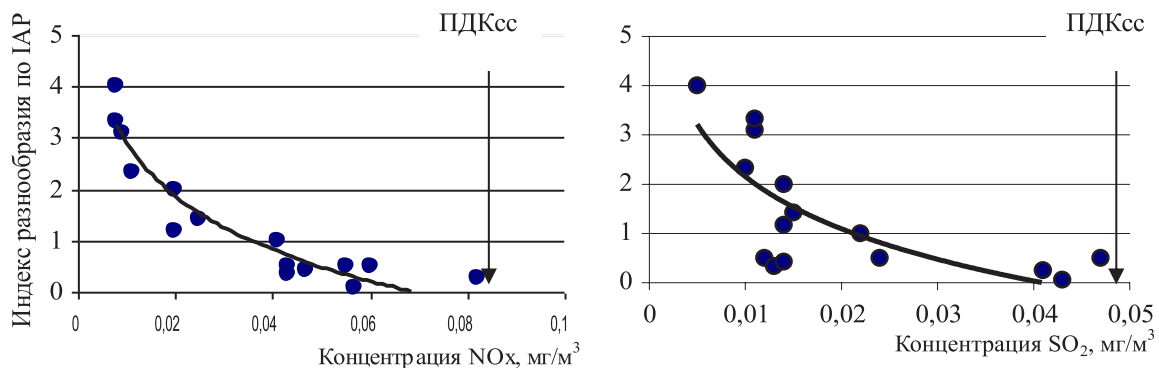


Рисунок 2 – Зависимость индекса IAP от загрязненности атмосферного воздуха

Данная зависимость носит отрицательный характер и в большинстве случаев оказалась достоверной для нижнего порога вероятности. Коэффициент корреляции зависимости IAP от содержания в воздухе окислов азота оказался высоким ($r_{\text{м}} = -0,86 \pm 0,14$; достоверность по Стьюденту 6,12; стандартные значения критерия Стьюдента 2,2-3,0-4,2).

Показатель силы влияния фактора загрязнения воздуха данным загрязняющим веществом $\eta_{\text{x}}^2 \pm m_{\text{px}2} = 0,75 \pm 0,10$; достоверность по Фишеру 7,53; стандартные значения 3,5-6,0-11,3. В отношении зависимости индекса разнообразия от содержания в воздухе сернистого ангидрида ситуация оказалась примерно похожей, хотя значения критериев связи получились несколько ниже предыдущих ($r_{\text{м}} = -0,62 \pm 0,22$; $t = 2,88$; $t_{\text{ст}} = \{2,2-3,0-4,2\}$); $\eta_{\text{x}}^2 \pm m_{\text{px}2} = 0,41 \pm 0,24$; $F = 1,75$; $F_{\text{ст}} = \{3,5-6,0-11,3\}$).

В исследовании Geebelen W. и Hoffman M. [7], посвященном определению относительной эффективности различных биоиндикационных методов с использованием эпифитов, был проведен анализ IAP. В нем была показана наибольшая корреляция значений концентрации диоксида серы в атмосфере и индексов, основанных на

анализе распространения избранных индикаторных видов лишайников. Это эвритоппные виды, но с некоторыми ограничениями в распространении, связанными с кислотностью среды. Для анализа предложены 17 индикаторных видов. В нашем исследовании из них обнаружен только один и из указанных родов – *Usnea* и дополнительно обнаружено 7 видов из 5 родов.

Индексы, основанные на учете всех видов эпифитов, включая и мхи, не дают более высокой корреляции с величиной содержания диоксида серы в атмосфере. В нашем исследовании при увеличении содержания окислов серы и азота в атмосферном воздухе снижается видовое разнообразие лишайнофлоры, самыми неустойчивыми в загрязнении оказываются листовые формы, самыми устойчивыми – накипные, в частности род *Cladonia*.

По возрастанию устойчивости к загрязняющим веществам все встреченные виды можно расположить в следующем порядке: *Parmelia sulcata*, *Parmelia olivacea*, *Hypogymnia physodes*, *Physcia aipolia*, *Physcia adsendens*, *Usnea longissima*, *Ramalina synensis*, *Evemia mesomorpha*, *Arctopyrenia gemmata*, *Parmelia utophyllodes*, *Cladonia* sp.

По эвритоппности: *Usnea longissima*, *Parmelia sulcata*, *Parmelia olivacea*, *Hypogymnia physodes*, *Physcia aipolia*, *Physcia adsendens*, *Arctopyrenia gemmata*, *Ramalina synensis*, *Evemia mesomorpha*, *Parmelia utophyllodes*, *Cladonia* sp.

Сравнение наших исследований и исследований, проведенных в рекреационных зонах г. Ставрополя, показали, что из 10 видов, там встречающихся, в нашем случае встретились всего 2. Это свидетельствует о том, что для разных климатических зон видовой состав лишайносинузид отличается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малышкин, Н.Г. Оценка состояния атмосферного воздуха в районе деятельности промышленного предприятия методом лишайноиндикации / Н.Г. Малышкин // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 11-2. – С. 361–365; URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36953> (дата обращения: 19.02.2024).

2. Федосеев О.Н., Хурнова Л.М., Мамина Д.Х. Исследование зависимости проективного покрытия лишайниками форофита от ключевых факторов среды // Естественные и технические науки. №10 (173). – М., Издательство «Спутник+», 2022. С. 71–76.

3. Мучник Е.Э., Инсарова И.Д., Казакова М.В. Учебный определитель лишайников Средней России: учебно-методическое пособие / Ряз. гос. ун-т им. С.А. Есенина. - Рязань, 2011. - 360 с.

4. Пчелкин А.В., Боголюбов А.С. Методы лишайноиндикации загрязнений окружающей среды: методическое пособие. - М.: Экосистема, 1997. С. 27.

5. Малышева Н.В. Биоразнообразие лишайников и оценка экологического состояния парковых ландшафтов с помощью лишайников (на примере парков окрестностей Санкт-Петербурга) // Новости систематики низших растений. С.-Пб., 1996. Т. 31. С. 135–137.

6. Van Dobben H.F., ter Braak C.J.F. Ranking of epiphytic lichen sensitivity to air pollution using survey data: a comparison of indicator scales // Lichenologist, 1999. Vol. 31 (1). P. 27–39.

7. Geebelen W., Hoffman M. Evaluation of bio-indication methods using epiphytes by correlating with SO₂-pollution parameters // Lichenologist, 2001. Vol. 33 (3). P. 249–260.

ФИКСАЦИЯ АЗОТА КЛУБЕНЬКАМИ ГОРОХА ПОСЕВНОГО (*PISUM SATIVUM* L.) ПРИ ПОМОЩИ АЗОТФИКСИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ПОЧВ РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНОВ NITROGEN FIXATION BY PEAS NODULES (*PISUM SATIVUM* L.) USING NITROGEN-FIXING BACTERIA ISOLATED FROM SOILS OF DIFFERENT REGIONS

А. Э. Юницкий, И. В. Налетов, В. С. Заяц

A. E. Unitsky, I. V. Naletov, V. S. Zayats

ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Республика Беларусь

v.zayats@unitsky.com

Unitsky String Technologies, Inc. Minsk. Republic of Belarus

Исследования, проведенные в данной работе, посвящены изучению влияния ассоциации почвенных азотфиксирующих микроорганизмов на формирование клубеньков у растений Гороха посевного (*Pisum sativum* L.) Ассоциации азотфиксирующей бактерий были получены из почв различных регионов мира. Оценка влияния выделенных ассоциаций проводилась на жидкой питательной среде без азота. Оценивался среднесуточный прирост вегетативной массы, а также клубеньки на корнях (масса, количество). По результатам исследований была определена ассоциация микроорганизмов, обладающий наибольшим потенциалом к фиксации азота. Данные результаты указывают на важность рассмотрения альтернативных источников азотфиксирующих микроорганизмов при изучении процессов фиксации азота в природных экосистемах.