

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИШАЙНИКОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

The use of lichens to determine the level of air pollution

М. В. Маргоева, студент

О. В. Чепуштанова, кандидат биологических наук

И. В. Рогозинникова, кандидат биологических наук

Уральский государственный аграрный университет

(Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42)

Рецензент: Скворцова Е. Г., кандидат экономических наук

Аннотация

В данной статье рассматривается метод биоиндикации уровня загрязнения воздушной среды вредными веществами при помощи лишайников, а также описан алгоритм действий при данном методе анализа. Лишайники могут использоваться для определения загрязнения воздуха, так как некоторые вещества, такие как SO₂, HF, HCl, оксиды азота и озон, оказывают вредное воздействие на них, активизируя окислительные процессы. Лихеноиндикацией можно выявить повышенное содержание пылевых частиц и вредных газов в атмосфере. Чем сильнее загрязнен воздух, тем меньше видов лишайников встречается и меньше их площадь разрастания на древесной коре. Также они могут быть сигнализаторами повышенной радиоактивной зараженности воздуха и субстрата, на котором произрастают.

Ключевые слова: воздушная среда, лишайники, лихеноиндикация, лихенофлора, мониторинг, анализ, загрязнение, пылевые частицы, вредные газы, биоиндикация.

Summary

This article discusses the method of bioindication of the level of air pollution by harmful substances using lichens, and also describes the algorithm of actions for this method of analysis. Lichens can be used to determine air pollution, as some substances, such as SO₂, HF, HCl, nitrogen oxides and ozone, have a harmful effect on them, activating oxidative processes. Lichen indication can reveal an increased content of dust particles and harmful gases in the atmosphere. The more polluted the air, the fewer lichen species are found and the smaller their area of growth on the tree bark. They can also be signalers of increased radioactive contamination of the air and the substrate on which they grow.

Keywords: air environment, lichens, lichen indication, lichenoflora, monitoring, analysis, pollution, dust particles, harmful gases, bioindication.

Введение

Технологическое развитие человечества – это и благо, и недуг. Больше всего страдает окружающая среда. Антропогенный фактор отразился на всех составляющих природы – воздухе, воде, земле. И это невозможно не заметить: запрещается купаться во многих водоемах; в земле и поверхностных водах откладывается большое количество ядохимикатов, нитратов и нитритов; становится трудно дышать, когда над городами поднимается смог. Качество воздуха, например, в Екатеринбурге, на 04.11.2023 хорошее по индексу AQI США [17], однако оно нередко опускается до среднего уровня. На сегодня основными загрязнителями воздуха являются:

- взвесь твердых частиц (уличная пыль, продукты горения, сажа от старых дизельных автомобилей, частицы сигаретного дыма, и прочие), размером менее 2.5 микрон (0.0025 мм) (показатель PM_{2.5});

- взвесь твердых частиц диаметром 10 микрометров или меньше (дым, пыль, сажу, соли, кислоты и металлы) (показатель PM₁₀);

- NO₂ (оксид азота);

- O₃ (приземный слой озона);

- SO₂ (оксид серы), главным антропогенным источником выбросов является сжигание топлива для отопления жилых помещений, производства электроэнергии и в двигателях внутреннего сгорания;

- CO (угарный газ) [16].

Результаты исследования

Следить за состоянием воздуха можно при помощи механических датчиков воздуха, установленных на разных участках местности или при помощи биоиндикаторов. Самыми распространенными из последних являются необычные представители растительного мира – лишайники. Возникновение метода лишайноиндикации, который заключается в использовании лишайников для определения степени загрязненности воздуха, имеет давнюю историю. Этот метод считается достаточно простым, и его использование даже доступно школьникам, как подтверждают практические исследования [6].

Великий академик Климент Аркадьевич Тимирязев называл лишайники «растениями-сфинксами», такое наименование связано с загадочной природой данных представителей флоры [6]. Лишайники – это крепкая «спайка» двух организмов, состоящая из грибных гифов, которые образуют основу структуры, и водорослей, которые находятся между гифами. Грибные гифы формируют нижний и верхний коровые слои, определяющие форму и цвет растения. [6].

Лишайники могут использоваться для определения загрязнения воздуха, так как некоторые вещества [19]. Например, кустистым лишайникам требуется очень чистый воздух для роста, тогда как листоватые лишайники терпят незначительные загрязнения. На сильно загрязненных территориях лишайники встречаются редко, и только накипные [18].

Наукой и практикой доказано, что с помощью лишайноиндикации можно оценивать загрязненность атмосферного воздуха пылевыми частицами. Так, длительное исследование, проведенное с 2002 по 2017 годы в районе разработки Средне Тиманского бокситового рудника Республики Коми [11] показало, что на участках, примыкающих к производственным объектам рудника, эпифитные лишайники на начальном этапе наблюдений массово отмирали, зафиксировано резкое снижение проективного покрытия талломов. В зоне, более отдаленной от производства, уменьшение наростов растений происходило более плавно. Однако, в середине проводимого опыта (2010-2011 гг.) наметилась положительная динамика роста лишайника, за счет образования компактных талломов, в следствии его неминуемой адаптации к повышенному содержанию пыли в воздухе. На условно фоновой территории лишайники неизменно покрывали стволы и ветви деревьев за все время наблюдений [11]. Таким образом, данная картина показывает, что пылевое загрязнение не так страшно для данных представителей флоры, однако все равно имеет отрицательное воздействие на рост талломов. А значит людям, прибывающим в подобных местах, следует тщательно подходить к мерам защиты своего организма во избежание хронических обструктивных болезней легких, силикозов [2] и заболеваний кожи.

Применение данного метода будет очень показательно вблизи птицефабрик, поскольку это производство считается вредным в основном из-за большого количества микроскопической пыли от содержания сельскохозяйственной птицы.

Также имеются научные труды, описывающие применение лишайников для определения уровня радиоактивного загрязнения [4, 9, 7, 1]. В 1950-х годах начались исследования по изучению влияния радиоактивных веществ на эти организмы. После проведения многочисленных опытов некоторые из представителей этих симбиотических ассоциаций были признаны лучшими в поглощении радиоактивных изотопов из окружающей среды [1]. В 2019 году исследователи Сеглин В. Н. и Храменкова О. М. обнаружили некоторые особенности при изучении лишайников в конкретной зоне: листоватые виды охотнее накапливают радиоцезий, по сравнению с видами с кустистыми формами, где этот показатель примерно в 1,5 раза меньше. Авторы объясняют это различие поверхностью поглощения этих видов, но также отмечают случаи, когда эта закономерность не выполняется. Не обнаружено различий в накоплении радионуклидов между эпифитными и эпигейными видами [12].

Так, лишайники различных видов показывают широкий диапазон значений концентрации радионуклидов, включая как минимальные, так и максимальные показатели. В лишайниковом покрове лесов северной и среднетаежной зоны содержание исследованных радионуклидов примерно одинаково: стронций-90 варьирует от 40-50 до 130-170 Бк/кг, а цезий - от 120-140 до 350-400 Бк/кг [8, 5].

При лишайноиндикации учитывают такие факторы как размеры и форма образований, изменения внешнего вида и типичной окраски, наличие пятен с ухудшенной черно-коричневой окраской, повреждения и их расположение, воздействие грибов-симбионтов [11].

Для определения частоты воздушной среды, прибегая к помощи лишайников, часто используют методику, разработанную Ашихминой Т.Я., Носковой Т.С. «Определение чистоты воздуха по лишайникам» (1977 г.). Степень загрязнения воздуха в таком случае определяется по видовому составу лишайников и по частоте их встречаемости [6].

Для оценки степени покрытия деревьев лишайниками, как правило, мастерят приспособление из толстого полиэтилена, в виде квадрата размером 20х20 см, каждая сторона которого разбита на 10 частей, в результате получается прозрачная сетка (рисунок 1). Приложив ее к стволу дерева, где расположены талломы, можно подсчитать квадратики, где есть лишайники, и определить количество доминирующего вида на исследуемом дереве [15]. Другой прием – способ «палетки», он направлен на измерение процентного отношения площади, покрытой лишайниками, к площади, свободной коры [6].

Затем подсчитывают степень покрытия лишайниками стволов деревьев по видовому составу (накипные, листоватые, кустистые) в процентах с помощью таблицы «Шкала качества воздуха по проектному покрытию лишайниками стволов деревьев» (таблица 1).

После этого можно приступать к вычислению показателя относительной частоты атмосферы (ОЧА) по формуле:

$$\text{ОЧА} = ((\text{Накипные} + 2 \cdot \text{Листоватые} + 3 \cdot \text{Кустистые}) / 30) \cdot 100 \text{ [3].}$$



Рис. 1. Сетка для определения степени покрытия деревьев лишайниками [18]

Таблица 1

Шкала качества воздуха по проектному покрытию лишайниками стволов деревьев [3]

Частота встречаемости (%)		Степень покрытия (%)		Балл оценки
очень редко	менее 5	очень низкая	менее 5	1
редко	5-20	низкая	5-20	2
редко	20-40	средняя	20-40	3
часто	40-60	высокая	40-60	4
очень часто	60-100	очень высокая	60-100	5

В соответствии с принятой методикой, чем ближе показатель ОЧА к единице, тем лучше качество воздуха в данном месте. Существует непосредственная связь между показателем ОЧА и средней концентрацией диоксида серы в атмосфере [3].

Наиболее часто для лишеноиндикации используют эпифитные лишайники рода *Nurogymnia physodes* [11]. Они также распространены и на территории Свердловской области. Исследования ряда авторов [10,14] показывают, что Средний Урал богат данными необычными представителями флоры. В городских, лесных и скалистых зонах обнаружено 240 видов лишайников. Наибольшим числом видов представлены роды *Cladonia*, *Lecanora* и *Caloplaca*, включающие 26, 16 и 12 видов соответственно. Относительно высоким разнообразием характеризуются роды *Chaenotheca*, *Peltigera* (по 9 видов) и *Collema* (8 видов). Причем эпифитная и эпиксильная лишенофлора составляет более половины выявленного видового состава (129 видов). На древесном субстрате в природном парке «Оленья Ручьи» встречаются редкие лишайники *Pertusaria coccodes*, *Leptogium saturninum* и *Nephroma bellum*, их можно встретить только на территории заповедника [10].

Даже почему же не воспользоваться таким даром природы? Обращая внимание на лишенофлору, каждый человек может облегчить себе жизнь, например, при выборе нового участка земли, постройки крестьянско-фермерских хозяйств с организацией выпаса животных, или просто чтобы удостовериться, что воздух в его городе не сильно загрязнен пылью и вредными

газами. В более широком масштабе данные, полученные от лишайников, могут помочь при планировании мероприятий по снижению уровня загрязнения воздуха, а также при проектировании автомобильных дорог, строительстве новых населенных пунктов.

Заключение

Использование лишайников в качестве индикаторов загрязнения воздушной среды отличается качеством и продолжительностью исследования. Отслеживание состояния окружающей среды, включая атмосферный воздух, имеет важное значение для настоящих и будущих поколений нашей планеты. Лишайники были выбраны в качестве объекта глобального биологического мониторинга, поскольку они широко распространены по всему миру и являются очень чувствительными к внешним воздействиям. Чем сильнее загрязнен воздух, тем меньше видов лишайников встречается (может быть только один-два вида вместо множества). Также, чем больше загрязнен воздух, тем меньше площадь покрытия лишайников на древесных стволах [5]. Это позволяет использовать лишайниковую флору в качестве биологического показателя при оценке уровня загрязнения воздуха по различным критериям.

Библиографический список

1. Бязров Л. Г. Лишайники–индикаторы радиоактивного загрязнения. М.: КМК. Litres. 2022. 476 с.
2. Визель А. А., Визель И. Ю. Хроническая обструктивная болезнь легких: состояние проблемы 2016 // Лечащий врач. 2016. Т. 4. С. 78.
3. Дмитренко В. П., Сотникова Е. В., Черняев А. В. Экологический мониторинг техносферы. 3-е изд., стер. СПб.: Лань. 2023. 364 с.
4. Лыгин С. А., Ваниева А. С. Оценка загрязнения воздуха методом лишайноиндикации // Естественные и математические науки в современном мире. 2014. № 18. С. 187-191.
5. Малыш Е. Н. Биоиндикация загрязнения атмосферного воздуха с помощью лишайников // Lichenes. 2010. С. 271-273.
6. Матлаева А. М. Лишайники и их роль в качестве индикаторов окружающей среды // Экология. 2018. С. 1-23.
7. Михеева Е. В., Нифонтова М. Г. Радиоактивное загрязнение окружающей среды: биологические объекты как источник информации для оперативного и долгосрочного мониторинга // Технологии гражданской безопасности. 2008. Т. 5. № 1-2. С. 179-183.
8. Нифонтова М. Г. Накопление ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs лишайниками в условиях эксперимента // Экология. 1976. № 1. С. 89-92.
9. Нифонтова М. Г. Использование лишайников и мхов для оперативного определения радиоактивного загрязнения природной среды // Дефектоскопия. 2005. № 1. С. 80-84.
10. Пауков А. Г., Тептина А. Ю. Лишайники природного парка «Оленьи ручьи» (Свердловская область) // Новости систематики низших растений. 2013. Т. 47. С. 237-252.
11. Пыстина Т. Н. Использование лишайника *hyrogymnia physodes* в качестве индикатора пылевого загрязнения воздушной среды при добыче бокситов карьерным способом // Ответственный редактор. 2023. С. 301-306.
12. Сеглин О. М., Храмченкова О. М. Лесные лишайники как индикаторы загрязнения // Геоэкологические проблемы современности и пути их решения. М., 2019. С. 66-70.
13. Филиппова И. В. Водоросли. Грибы. Лишайники: учебное пособие. Чебоксары: ЧГПУ им. И. Я. Яковлева, 2021. 134 с.

14. *Фролов И. В.* Экологические группы эпифитных лишайников Южного Урала // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. № 1. С. 115-119.
15. *Шилова Н. Д., Кладова Ю.* Комплексное изучение степени загрязнения атмосферного воздуха на различных участках Старооскольского района с использованием биоиндикаторов // Экология и рациональное природопользование агропромышленных регионов. 2015. С. 125-130.
16. Екатеринбург: Прогноз загрязнения воздуха [Электронный ресурс] // Яндекс Погода. Режим доступа: <https://yandex.ru/weather/ru-RU/pollution?lat=56.838011&lon=60.597465>.
17. Качество воздуха в Екатеринбурге [Электронный ресурс] // IQAir. Режим доступа: <https://www.iqair.com/ru/russia/sverdlovsk/yekaterinburg>.
18. Лихеноиндикация на примере города Пскова [Электронный ресурс] // YouTube. Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=4T6laFqVjMw>.
19. Taufik Taufikurahman, Rima Mustika Sari. Using lichen as bioindicator for detecting level of environmental pollution // 3rd International Conference on Mathematics and Natural Sciences at: ITB, Bandung, Indonesia. 2019. P. 388-394.