

УДК 504.3.054

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В РАЙОНЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ МЕТОДОМ ЛИХЕНОИНДИКАЦИИ

Малышкин Н.Г.*ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», Тюмень,
e-mail: malyshkin81@rambler.ru*

В качестве индикаторов состояния окружающей среды часто используют растительные организмы. Одними из наиболее чувствительных к изменению химического состава атмосферного воздуха растительных организмов являются лишайники. Они реагируют на начальные изменения качества атмосферного воздуха под влиянием антропогенных источников и применяются в качестве биологического индикатора. В статье приведены результаты лишайноиндикации состояния атмосферы в районе деятельности промышленного предприятия, расположенного на территории г. Тюмени. Предприятие осуществляет комплекс работ при изготовлении металлоконструкций, в результате которых в атмосферу поступают загрязняющие вещества, оказывающие воздействие на живые организмы. В процессе выполнения работы проводили сбор и определение лишайников, проекцию лишайников определяли методом линейных пересечений. В ходе исследований был изучен видовой состав лишайников, выявлены морфологические изменения слоевищ, определено проективное покрытие и проведено ранжирование видов по их чувствительности к загрязнению атмосферы. На обследуемой территории выявлено 11 видов лишайников, относимых к 7 родам (*Physcia*, *Parmeliopsis*, *Parmelia*, *Pertusaria*, *Ramalina*, *Xanthoria*, *Ochrolechia*). Преобладали накипные и листовые формы. Кустистые формы образовывали компактные и мелкие талломы. Проективное покрытие снижалось в направлении рассеивания примеси от источника. С целью выявления степени загрязнения атмосферы применены лишайноиндикационные индексы. Проведен расчет индекса полевотолерантности и индекса экологической чистоты атмосферы. На основании проведенных расчетов было установлено, что уровень загрязнения атмосферы в районе деятельности промышленного предприятия можно оценить как средний. В результате представлена возможность использования лишайноиндикации в системе экологического мониторинга окружающей природной среды.

Ключевые слова: лишайники, лишайноиндикация, чувствительность, проективное покрытие, промышленное предприятие, качество атмосферного воздуха

ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC AIR CONDITION IN THE AREA OF ACTIVITY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES BY THE METHOD OF LICHENOINDICATION

Malyshev N.G.*State Agrarian University of Northern Zauralye, Tyumen, e-mail: malyshkin81@rambler.ru*

As indicators of the environmental state often use plants organisms. One of the most sensitive plant organisms to changes in the chemical composition of atmospheric air are lichens. They respond to initial changes in the quality of atmospheric air under the influence of anthropogenic sources and are used as a biological indicator. The article presents the results of lichenoidication of the state of the atmosphere in the area of activity of an industrial enterprise located in the territory of Tyumen. The company carries out a set of works in the manufacture of metal structures, as a result of which pollutants enter the atmosphere, affecting living organisms. In this work, we collected and determined lichens; the projection of lichens was determined by the method of linear intersections. In the course of the research, the species composition of lichens was studied, the morphological changes of the thalli were identified, the projective cover was determined and the species were ranked according to their sensitivity to atmospheric pollution. In the surveyed area, 11 species of lichens were identified, attributable to 7 genera (*Physcia*, *Parmeliopsis*, *Parmelia*, *Pertusaria*, *Ramalina*, *Xanthoria*, *Ochrolechia*). Cortical and leaf forms prevailed. Bushy forms formed compact and small thalli. The projective cover decreased in the direction of dispersion of the impurity from the source. In order to identify the degree of pollution of the atmosphere, lichen-index indices were applied. The calculation of the index of tolerance and the index of ecological purity of the atmosphere was carried out. Based on the calculations, it was found that the level of air pollution in the area of activity of an industrial enterprise can be assessed as average. As a result, the possibility of using lichenoidication in the system of environmental monitoring of the environment is presented.

Keywords: lichens, lichenoidication, sensitivity, projective cover, industrial enterprise, air quality

Экологическая обстановка городской среды зависит от множества факторов. К ним относят как естественные, так и антропогенные факторы. Одним из показателей экологического неблагополучия территории является качество атмосферного воздуха. Уровень загрязнения атмосферы зависит от количе-

ства выбрасываемых вредных веществ и их химического состава, от высоты источника, и от климатических условий, определяющих перенос, рассеивание и превращение выбрасываемых веществ [1, с. 8].

Для оценки состояния атмосферы и выявления степени воздействия антропоген-

ных источников на ее показатели современная наука предлагает различные методы. В последнее время широкое распространение получило зонирование состояния городских природно-технических систем на основе геоэкомониторинга. В качестве индикаторов используют растительные сообщества [2, с. 1; 3, с. 4].

При оценке состояния атмосферного воздуха необходимы организмы, проявляющие высокую чувствительность к колебаниям атмосферных составляющих. Применяемые индексы лишеноиндикации позволяют адекватно оценивать состояние среды обитания в урбоэкосистемах, уменьшать субъективность биоиндикации, повышать ее точность и прогностическую ценность [4, с. 93].

Целью данной работы является оценка состояния атмосферного воздуха в районе деятельности промышленного предприятия методом биоиндикации.

Материалы и методы исследования

Для оценки состояния атмосферного воздуха применяли метод лишеноиндикации. Оценка проводилась по нескольким направлениям: определение видового состава лишайников, оценка проективного покрытия, визуальные наблюдения за морфологией слоевища лишайника, оценка по показателю полеотолерантности и анализ с помощью лишеноиндикационных индексов. Учитывали только эпифитные лишайники. При их учете был использован метод линейных пересечений. Закладка пробных площадок проводилась по 8 румбам на расстояниях 50, 100 и 300 м от промплощадки. Выбранные точки были установлены на основании расчетных полей концентраций примеси по удалению от источника выброса.

На обследуемой территории проводили сбор лишайников и их определение в лабораторных условиях по «Определителю лишайников СССР» под редакцией А.Н. Окснера [5] и атласу-определителю [6].

Результаты исследования и их обсуждение

Из всех экологических групп лишайников наибольшей чувствительностью обладают эпифитные лишайники, т.е. лишайники, растущие на коре деревьев. По мере увеличения химической нагрузки на атмосферный воздух сначала исчезают кустистые, затем – листовые и накипные формы лишайников [7].

Один из методов оценки качества воздуха основан на использовании видового

состава лишайников изучаемой территории и установлении отсутствия или присутствия чувствительных видов, поскольку их представители быстро повреждаются или исчезают уже при низких концентрациях некоторых загрязнителей. Видовой состав лишайников в районе проведения исследований был представлен 11 видами, которые были отнесены к 7 родам. Род *Physcia* был представлен 3 видами (*Ph. aipolia*, *Ph. ciliata*, *Ph. caesia*) (табл. 1). Из жизненных форм преобладали накипные и листоватые, кустистые были представлены одним видом – *Ramalina pollinaria*.

Видовой и количественный состав лишайников был выше в северном направлении от источника выброса и составил 6 видов. В западном, южном и восточном направлениях от источника загрязнения наблюдалось обеднение видового состава, что может быть обусловлено рассеиванием примеси от источников выброса в этих направлениях (табл. 2).

Из выявленных видов очень часто на обследуемой территории встречался один вид – *Physcia aipolia* (частота встречаемости 100%); часто (50%) 4 вида – *Physcia caesia*, *Xanthoria polycarpa*, *Ramalina pollinaria*, *Parmelia caperata*. Остальные виды встречались редко.

Учитывая факт наибольшей чувствительности к загрязнению атмосферы у кустистых лишайников, установлено, что в северном направлении от источника встречается кустистая форма *Ramalina pollinaria*. В восточном направлении этот вид был зафиксирован, но размеры таллома снижались в два раза. На остальных учетных площадках кустистые формы лишайников не отмечались.

Долговременное воздействие даже малых концентраций загрязняющих веществ в окружающей среде вызывает у лишайников такие повреждения, которые не исчезают вплоть до гибели их слоевищ, это влияет на их рост и развитие, а следовательно, и на геометрию [8]. Изменения морфологических показателей талломов при длительном воздействии на них загрязняющих веществ проявляется так же в смене окраски. Визуальные наблюдения за морфологией слоевища лишайника, по сравнению с контрольным участком, не показали видимых изменений в окраске тел, но при этом наблюдалось образование компактных и мелких талломов, что связано с замедлением их развития. Уменьшение размеров таллома лишайников было харак-

терно для листовых и кустистых жизненных форм. Жизнеспособность лишайников была умеренная, но встречались лишайники с высокой жизнеспособностью и здоровым слоевищем.

Количественным показателем, характеризующим площадь покрытия лишайником субстрата, является проективное покрытие. Общее проективное покрытие лишайников было максимальным в северном направлении от источника и составляло 25 %, что соответствовало средней степени покрытия. По остальным направлениям от источника степень проективного покрытия была низкой. Среди различных видов лишайников максимальная площадь покрытия субстрата отмечалась у видов относимых к 7 и 8 классам полеотолерантности – *Parmeliopsis ambigua*, *Xanthoria polycarpa*. Это виды распространяемые на территориях с умеренно и сильно измененными местообитаниями. Несмотря на частую встречаемость на площадках *Physcia aipolia* проективное покрытие этого вида составляло от 2 до 7%. Также необходимо отметить, что степень общего проективного покрытия за пределами обследуемой территории возрастала

до 30–35 %, что подтверждает факт воздействия предприятия на рост и развитие лишайников.

Процедура ранжирования видов по степени чувствительности к загрязнению заключается в распределении выявленного множества видов на то или иное число классов, различающихся реакциями на загрязнение. Виды, наиболее устойчивые к химическому загрязнению атмосферного воздуха, имеют максимальный класс полеотолерантности. Они могут приспосабливаться к условиям измененной среды в отличие от чувствительных видов и могут быть индикаторами загрязнения. По полеотолерантности на обследуемой территории выделялись виды с 3 по 8 классы. Это виды, которые могут произрастать в условиях измененной среды и при этом испытывают различную устойчивость к химическому загрязнению атмосферы (табл. 3).

Для более объективного анализа необходима балльная оценка и ранжирование территории по уровню антропогенной нагрузки. Лихеноиндикационные индексы позволяют выявить степень загрязнения или чистоты атмосферы и полифобии.

Таблица 1

Видовой состав лишайников в районе исследований

Род	Вид
Фисция – <i>Physcia</i>	Фисция аиполия – <i>Physcia aipolia</i> (Ehrh.) Hampe Фисция реснитчатая, или темная – <i>Physcia ciliata</i> (Hoffm.) Du Rietz Фисция сизая – <i>Physcia caesia</i> (Hoffm.) Hampe
Пармелиопсис – <i>Parmeliopsis</i>	Пармелиопсис сомнительный – <i>Parmeliopsis ambigua</i> (Wulf.) Nyl
Пармелия – <i>Parmelia</i>	Пармелия бороздчатая – <i>Parmelia sulcata</i> Tayl Пармелия козлиная, или козья – <i>Parmelia caperata</i> (L.) Ach
Пертузария – <i>Pertusaria</i>	Пертузария шариконосная – <i>Pertusaria globulifera</i> (Turn.) Massal
Рамалина – <i>Ramalina</i>	Рамалина опыленная – <i>Ramalina pollinaria</i> (Liljeb.) Ach
Ксантория – <i>Xanthoria</i>	Ксантория многоплодная – <i>Xanthoria polycarpa</i> (Hoffm.) Vain Ксантория постенная, или настенная, или стенная золотнянка – <i>Xanthoria parietina</i> (L.) Belt
Охролеchia – <i>Ochrolechia</i>	Охролеchia виннокаменная – <i>Ochrolechia tartarea</i> (L.) Massal

Таблица 2

Видовой состав лишайников на пробных площадках по четырем румбам

Точки наблюдений	Виды лишайников
С	<i>Xanthoria polycarpa</i> (Hoffm.) Vain, <i>Physcia caesia</i> (Hoffm.) Hampe, <i>Physcia aipolia</i> (Ehrh.) Hampe, <i>Ochrolechia tartarea</i> (L.) Massal, <i>Ramalina pollinaria</i> (Liljeb.) Ach, <i>Parmeliopsis ambigua</i> (Wulf.) Nyl.
З	<i>Physcia ciliata</i> (Hoffm.) Du Rietz., – <i>Parmelia caperata</i> (L.) Ach., <i>Physcia aipolia</i> (Ehrh.) Hampe
Ю	<i>Xanthoria parietina</i> (L.) Belt, – <i>Xanthoria polycarpa</i> (Hoffm.) Vain, <i>Physcia aipolia</i> (Ehrh.) Hampe
В	<i>Parmelia caperata</i> (L.) Ach, <i>Physcia caesia</i> (Hoffm.) Hampe, <i>Ramalina pollinaria</i> (Liljeb.) Ach, <i>Physcia aipolia</i> (Ehrh.) Hampe

Индекс полеотолерантности (IP) учитывает видовой состав лишайников и вычисляется по формуле:

$$IP = \sum_i^n a_i c_i / C,$$

где a – степень толерантности вида к городской среде, c – ранговая величина покрытия (в баллах), C – степень общего покрытия всех видов (в баллах), n – число видов.

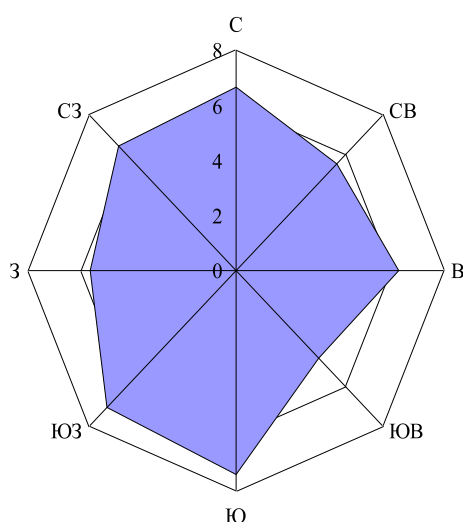
Индекс полеотолерантности в северном, северо-восточном, восточном и запад-

ном направлениях варьировал в пределах от 5 до 7. Следовательно, концентрация SO_2 в воздухе в соответствии со шкалой варьировала от 0,03 до 0,08 мг/м³. Из этого следует, что территория является среднезагрязненной. На юго-востоке от промплощадки индекс входил в промежуток от 2 до 5, следовательно, территория относилась к малозагрязненной. В южном направлении индекс составлял 7–10 баллов, что соответствовало критическому уровню загрязнения атмосферы (рисунок).

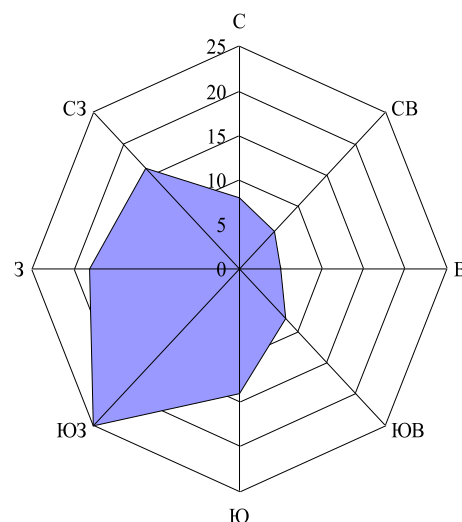
Таблица 3

Распределение видов по классам полеотолерантности

Тип местообитания	Вид	Класс полеотолерантности
Естественные (часто) и антропогенно слабоизмененные местообитания (часто)	Пармелия козлиная, или козья – <i>Parmelia caperata</i> (L.) Ach	3
Естественные (часто), слабо (часто) и умеренно (редко) измененные местообитания	Фисция айполия – <i>Physcia aiipolia</i> (Ehrh.) Hampe	4
Умеренно (часто) и сильно (редко) антропогенно измененные местообитания	Ксантория постенная, или настенная, или стенная золотнянка – <i>Xanthoria parietina</i> (L.) Belt Ксантория многоплодная – <i>Xanthoria polycarpa</i> (Hoffm.) Vain Пармелиопсис сомнительный – <i>Parmeliopsis ambigua</i> (Wulf.) Nyl	7
Умеренно и сильно антропогенно измененные местообитания (с равной встречаемостью)	Рамалина опыленная – <i>Ramalina pollinaria</i> (Liljeb.) Ach Пармелия бороздчатая – <i>Parmelia sulcata</i> Tayl	8



а)



б)

Значение индекса полеотолерантности по различным направлениям от источника загрязнения (а – индекс полеотолерантности; б – роза ветров г. Тюмень)

Индекс чистоты атмосферы (IAQ) определяли по формуле

$$IAQ = \sum \frac{Q_i C_i}{10},$$

где Q_i – индекс ассоциированности i -го вида; C_i – показатель обилия i -го вида.

Индекс чистоты атмосферы коррелирует с концентрацией SO_2 в воздухе. Результаты расчета IAQ на основании разработанной шкалы входят в промежуток от 0 до 9, что соответствует концентрации $0,086 \text{ мг/м}^3$ и более. Сопоставляя полученный показатель с индексом полеотолерантности (IP), выявляется возрастание концентрации SO_2 на $0,006 \text{ мг/м}^3$. При ранжировании этого показателя по шкале полеотолерантности зона условного загрязнения атмосферы будет характеризоваться как сильная.

Выводы

1. В условиях антропогенно измененной среды видовое разнообразие лишайников обедняется, что связано с различной приспособительной способностью к условиям среды у разных видов. Частота встречаемости была максимальной у вида *Physcia aipolia*, относимого к 4 классу полеотолерантности, но проективное покрытие было низким (2–7%), что обусловлено чувствительностью вида к загрязнению атмосферного воздуха. Из жизненных форм преобладали накипные и листоватые лишайники, кустистые формы были представлены одним видом.

2. При среднем уровне загрязнения атмосферного воздуха (концентрация SO_2 от $0,03$ до $0,08 \text{ мг/м}^3$) визуальных морфологических изменений таллома не происходит, но реакция кустистых жизненных форм проявляется в образовании компактных и мелких тел. Листоватые и накипные формы характеризовались умеренной жизнеспособностью и имели морфометрически здоровые талломы.

3. По устойчивости к загрязнению атмосферы виды распределялись с 3 по 8 классы полеотолерантности. Это виды, произрастающие в условиях от слабо измененных до сильно антропогенно измененных местообитаний. Индекс полеотолерантности (IP) показывает «островное» загрязнение среды от малого, и среднего до критического уровня, в направлении рассеивания

примеси от источника. По индексу чистоты атмосферы зона условного загрязнения характеризовалась как сильная.

Список литературы / References

1. Малышкин Н.Г., Санникова Н.В. Экологический мониторинг: учебно-методическое пособие. Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2017. 128 с.
Malyshkin N.G. Saannykova N.V. Ecological monitoring: educational and methodical manual. Tumen: GAU Severnogo Zaural'ya, 2017. 128 p. (in Russian).
2. Фатнева Е.А. Геоэкологический мониторинг состояния городской среды // Инновационные технологии в науке и образовании. 2016. № 4 (8). С. 27–33. DOI: 10.21661/g-113297.
Fatneva E.A. Geoeological monitoring of the urban environment // Innovative technologies in science and education. 2016. № 4 (8). P. 27–33 (in Russian).
3. Акатьева Т.Г. Использование метода биоиндикации в оценке качества атмосферного воздуха // Современная наука агропромышленному производству: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 135-летию первого среднего учебного заведения Зауралья – Александровского реального училища и 55-летию ГАУ Северного Зауралья, 2014. С. 3–6.
Akatieva T.G. Using the bioindication method in assessing the quality of atmospheric air // Modern science to agro-industrial production: materials of the International scientific and practical conference devoted to the 135 anniversary of the first average educational institution of the Trans-Ural region – Aleksandrovsky real school and to the 55 anniversary of GAU of the Northern Trans-Ural region, 2014. P. 3–6 (in Russian).
4. Анищенко Л.Н. Количественная лишайноиндикация: лишайноиндикационный индекс // Учебные записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки. 2013. № 6. С. 91–93.
Anishchenko L.N. Quantitative lichenoidindication: lichenoidindikatsionny index // Uchebnye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo univrsiteta. Seria: Estestvennye, tehnicieskie i medicinskie nauki. 2013. № 6. P. 91–93 (in Russian).
5. Окснер А.Н. Определитель лишайников СССР. Вып. 2. Морфология, систематика и географическое распространение. Л.: Наука, 1974. 284 с.
Oksner A.N. The determinant of lichens of the USSR. Rel. 2. Morphology, taxonomy and geographical distribution. L.: Nauka, 1974. 284 p. (in Russian).
6. Цуриков А.Г., Храменкова О.М., Листовые и кустистые городские лишайники: атлас-определитель: учебное пособие. М-во образования РБ, Гомельский гос. ун-т. им. Ф. Скорины. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2009. 123 с.
Tsurikov A.G., Hramchenkova O.M., Sheet and bushy city lichens: atlas determinant manual. M-vo obrazovaniya RB, Gomelskii gos. un-t. im. F. Skoriny. Gomel: GGU im. F. Skoriny, 2009. 123 p. (in Russian).
7. Лиштва А.В. Лишениология: учебно-методическое пособие. Иркутск: Изд-во ИркГУ, 2007. 121 с.
Lishtva A.V. Lichenology: educational and methodical manual. Irkutsk: Izd-vo IrkGU, 2007. 121 p. (in Russian).
8. Молчатский С.Л., Казанцев И.В., Матвеева Т.Б. Применение метода фрактального анализа для биоиндикационной оценки состояния окружающей среды // Самарский научный вестник. 2016. № 4 (17). С. 28–31.
Molchatsky S.L., Kazancev I.V., Matveeva T.B. Application of the method of fractal analysis for bioindicative assessment of the state of the environment // Sanarskii nauchnyi vestnik. 2016. № 4 (17). P. 28–31 (in Russian).