

УДК 574.21:582.29:504.3

ЭПИФИТНЫЕ ЛИШАЙНИКИ СЕВЕРНОЙ МЕЩЕРЫ В ЛОКАЛЬНОМ ЭКОМОНИТОРИНГЕ

Зыков И.Е.

ГОУ ВО «Государственный гуманитарно-технологический университет»,
Орехово-Зуево, e-mail: zikov-oz@yandex.ru

Рассмотрена роль эпифитных лишайников в биоиндикации атмосферного загрязнения природных и антропогенных биогеоценозов. Чувствительность лишайников к атмосферному загрязнению определяется их способностью аккумулировать токсические вещества главным образом за счет водорослевого слоя, обладающего более высоким уровнем метаболической активности. Отмечено, что негативное влияние на лишайники оказывают диоксид серы, фториды, хлориды, оксиды азота, углерода, увеличение концентрации которых в атмосферном воздухе приводит к смещению pH коры в сторону более кислой реакции и, как следствие, к нарушениям их размножения и развития. Целью исследования является изучение изменения состояния лесных биоценозов по реакции эпифитных лишайников на присутствие в воздухе поллютантов. Методом пассивной лишайноиндикации установлено изменение площади проективного покрытия и видового состава эпифитных лишайников под воздействием поллютантов, образующихся в результате горения торфяников в окрестностях пос. Озеретский и д. Войново-Гора городского округа Орехово-Зуево Московской области за 2014–2024 гг. Приведен список видов лишайников, пригодных для биоиндикации в смешанных лесах средней полосы России с классами полеотолерантности. Подтверждена возможность использования эпифитов для целей локального экомониторинга, в том числе с привлечением групповой работы обучающихся.

Ключевые слова: лишайноиндикация, эпифитные лишайники, проективное покрытие, поллютанты

EPHYPHYTIC LICHENS OF THE NORTHERN MESCHERA IN LOCAL ECOMONITORING

Zykov I.E.

State University of Humanities and Technology, Orekhovo-Zuyevo,
e-mail: zikov-oz@yandex.ru

The role of epiphytic lichens in the bioindication of atmospheric pollution in natural and anthropogenic biogeocenoses is considered. The sensitivity of lichens to atmospheric pollution determined by their ability to accumulate toxic substances, primarily through the algal layer, which has a higher level of metabolic activity. It is noted that sulfur dioxide, fluorides, chlorides, nitrogen oxides, and carbon oxides have a negative effect on lichens. An increase in their concentration in the atmospheric air leads to a shift in the pH of the bark towards a more acidic reaction, resulting in impaired reproduction and development of lichens. The purpose of this study is to investigate the changes in the state of forest biocenoses based on the response of epiphytic lichens to the presence of pollutants in the air. The method of passive lichenoidication revealed a change in the area of the projective coating and species composition of epiphytic lichens under the influence of pollutants formed a result of gorenje burning in vicinity of the village of Ozeretskiy and the village of Voynovo-Gora in the Orekhovo-Zuyevo urban district of the Moscow region over the period 2014–2024. A list of lichen species suitable for bioindication in mixed forests of central Russia with field tolerance classes provided. The possibility of using epiphytes for local ecological monitoring purposes, including group work by students, been confirmed.

Keywords: lichenoidication, epiphytic lichens, projective coating, pollutants

Введение

Эпифитные лишайники – одни из наиболее чувствительных биоиндикаторов атмосферного загрязнения, позволяющих быстро и достоверно оценивать состояние воздуха природных [1] и антропогенных биогеоценозов [2]. Среди них есть чувствительные формы, погибающие при малейшем загрязнении, среднечувствительные, сменяющие погибшие чувствительные виды, и выносливые формы, толерантные к загрязнению. Последние произрастают в городах и других населенных пунктах, приспособившись к антропогенным условиям. Чувствительность лишайников к загрязнению объясняется тем, что они не способны выделять в окружа-

ющую среду поглощаемые ими токсичные вещества. В отличие от высших растений лишайники всей поверхностью абсорбируют из воздуха и воды многие химические вещества и аккумулируют их [3–5]. Максимально чувствительным к атмосферным загрязнениям является водорослевый слой лишайников, обладающий более высоким уровнем метаболической активности. Из компонентов загрязненного воздуха наиболее выраженное отрицательное влияние на него оказывает диоксид серы (SO_2), который уже в концентрации $0,08\text{--}0,1\text{ мг/м}^3$ действует на хлоропласты клеток водоросли, нарушая в них процесс фотосинтеза, а в концентрации $0,5\text{ мг/м}^3$ вызывает гибель таллома. Известна способность

лишайников реагировать на загрязнение воздуха фторидами, хлоридами, оксидами азота, углерода, озоном [6, 7]. В то же время лишайники слабо чувствительны к токсичным для других организмов тяжелым металлам, накапливающимся в их тканях в значительных количествах, а также к радиоактивным изотопам [8].

Важным фактором, влияющим на состояние эпифитных лишайников, является естественная кислотность коры. Для проведения исследований автором выбрана береза бородавчатая (*Betula pendula* L.) с кислой реакцией коры (рН 3,4–3,7). Кроме березы к таким древесным породам относятся сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), ель обыкновенная (*Picea abies* (L.) H. Karst.), лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.) и пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.). При увеличении в атмосферном воздухе концентрации SO_2 (в меньшей степени оксидов азота и углерода) происходит смещение рН коры в сторону более кислой реакции, что приводит к нарушениям размножения и развития эпифитных лишайников. Их талломы окрашиваются в беловатый, коричневатый или фиолетовый цвета, становятся более толстыми, ограниченными по площади, обильно покрываются соредиями, сморщиваются и отмирают.

Для организации экомониторинга посредством пассивной лишеноиндикации требуется соблюдение следующих правил:

1) наблюдение за лишайниками нужно проводить на постоянных учетных площадках на протяжении длительного времени;

2) пробные площадки должны быть заложены в гомогенных по составу и возрасту фитоценозах с одинаковыми биотическими и абиотическими условиями;

3) модельные деревья на пробных площадках должны быть по возможности постоянными, одновозрастными, не иметь видимых повреждений и принадлежать к одной из основных лесообразующих пород;

4) при использовании переменных пробных площадок и модельных деревьев их количество необходимократно увеличить для получения достаточного объема статистически достоверной информации.

Цель исследования – изучить изменение состояния лесных биоценозов по реакции эпифитных лишайников на присутствие в воздухе поллютантов.

Материалы и методы исследования

Степень загрязнения воздуха определена в окрестностях пос. Озерецкий (55°49'32" с.ш. 39°04'04" в.д.) и д. Войново-Гора (55°50'38" с.ш. 39°03'36" в.д.)

Орехово-Зуевского района Московской области в 2014 и 2024 гг. с помощью пассивной лишеноиндикации по стандартной методике. Изучение лишайников проведено на двух постоянных учетных площадках, заложенных в близких по составу и возрасту фитоценозах со сходными абиотическими условиями. Формула древостоя на первой площадке – 7Б+3С+1Д, на второй площадке – 9Б+1С; степень сомкнутости крон соответственно 40 и 47–49%. Для определения проективного покрытия использованы постоянные промаркированные модельные деревья березы бородавчатой 40–45-летнего возраста, не имеющие видимых признаков ослабления и антропогенного воздействия.

Обе учетные площадки заложены к северо-западу от пос. Озерецкий: первая – в 500 м, вторая – в 2 км от поселка в окрестностях д. Войново-Гора. Обе площадки расположены между автодорогой, идущей от пос. Озерецкий к д. Дубровка и Марково и мелиоративной канавой. Расстояние от площадок до дороги около 70 м. В юго-западном направлении за дорогой расположен лесной массив, в северо-восточном за канавой – заброшенный торфяник, заросший травянистой сорной растительностью и кустарником и имеющий местами ширину от 500 до 1000 м.

Для определения проективного покрытия использована прозрачная сетка площадью 100 см², разбитая на ячейки размером 1х1 см. В обоих локалитетах измерения проведены на 10 стволах, на каждом с четырех сторон света на высоте около 150 см от поверхности почвы.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты измерений представлены в табл. 1–4.

Общее проективное покрытие в процентах (R) вычисляли по формуле:

$$R = (100a + 50b) / c,$$

где а – число квадратов с покрытием более 50%; в – число квадратов с покрытием менее 50%; о – число пустых квадратов; с – общее число квадратов (а + в + о).

В 2014 г. на первой учетной площадке проективное покрытие лишайниками стволов деревьев составило 17,4%, на второй площадке – 10,6%. В 2024 г. эти показатели соответственно равнялись 14,5 и 21,4%. На тех же площадях количество отмерших талломов в 2014 г. составило соответственно 15 и 40–45%, в 2024 г. – 45–50 и 12–15% от общей площади проективного покрытия в каждой точке.

Таблица 1

Лихенометрическая съемка (проективное покрытие)
в районе пос. Озерецкий в 2014 г.

№ деревя	а					в					о					с
	С	Ю	З	В	Σа	С	Ю	З	В	Σв	С	Ю	З	В	Σо	
1	2	7	28	0	37	4	16	9	4	33	95	76	62	97	330	400
2	0	0	0	0	0	2	2	0	6	10	96	99	100	95	390	400
3	24	0	15	0	39	14	0	11	0	25	57	100	79	100	336	400
4	4	2	0	0	6	20	6	11	0	37	73	94	90	100	357	400
5	4	9	0	0	13	23	15	0	8	46	74	75	100	92	341	400
6	15	0	0	0	15	40	2	1	0	43	45	98	99	100	342	400
7	0	60	6	4	70	0	24	13	7	44	100	13	84	89	286	400
8	1	0	0	0	1	5	1	2	1	9	95	99	97	99	390	400
9	14	0	8	19	41	33	0	18	14	65	48	100	74	72	294	400
10	3	0	32	0	35	3	0	12	4	19	97	100	53	96	346	400
Всего	257					331					3413					4000

Источник: составлено автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 2

Лихенометрическая съемка (проективное покрытие)
в районе д. Войново-Гора в 2014 г.

№ деревя	а					в					о					с
	С	Ю	З	В	Σа	С	Ю	З	В	Σв	С	Ю	З	В	Σо	
1	28	3	22	0	53	39	13	27	0	79	32	82	54	100	268	400
2	1	23	0	7	31	0	43	3	14	60	99	31	99	80	309	400
3	66	2	19	2	89	21	11	14	4	50	13	86	68	94	261	400
4	2	0	0	1	3	18	15	9	0	42	79	85	91	100	355	400
5	38	10	16	4	68	31	18	16	14	79	30	72	70	81	253	400
6	2	32	3	0	37	15	12	5	0	32	83	87	91	100	361	400
7	33	1	35	0	69	37	11	25	4	77	27	88	41	98	254	400
8	1	0	1	0	2	12	11	12	2	37	87	89	87	98	361	400
9	6	16	39	0	61	8	35	32	0	75	86	49	29	100	264	400
10	5	4	14	0	23	11	13	22	3	49	83	83	65	97	328	400
Всего	406					580					3014					4000

Источник: составлено автором на основе полученных данных в ходе исследования.

На обеих учетных площадках доминирующим видом является пармелия бороздчатая – *Parmelia sulcata* Tayl. В 2024 г. на первой площадке она составила более 70% от общей площади проективного покрытия. Кроме того, здесь обнаружены кладония бахромчатая – *Cladonia fimbriata* (L.) Fr. (20–25% от площади проективного покрытия) и канделярия одноцветная – *Candelaria concolor* (Dicks.) Stein. (единичные талломы). На второй учетной площадке в 2024 г. пармелия бороздчатая составила более 75% от общей площади проективного покрытия, пармелопсис бледнеющий – *Parmelopsis pallescens* (Hoffm.) Hillm. – около

20%, гипогимния вздутая – *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. и пармелия козлиная – *P. caperata* (L.) Ach. были представлены отдельными талломами [9].

Приведенные результаты отражают динамику загрязнения воздуха в исследуемом районе. До 2014 г. у южной окраины пос. Озерецкий длительное время существовал очаг пожара на торфянике, вызвавший более сильное загрязнение воздуха в поселке и его окрестностях по сравнению с удаленным участком у д. Войново-Гора. Это подтверждают сравнительные результаты площадей проективного покрытия и отмерших талломов (табл. 1, 2).

Таблица 3

Лихенометрическая съемка (проективное покрытие)
в районе пос. Озерецкий в 2024 г.

№ деревя	а					в					о					с
	С	Ю	З	В	Σа	С	Ю	З	В	Σв	С	Ю	З	В	Σо	
1	20	0	12	3	35	24	0	16	14	54	54	100	72	85	311	400
2	22	0	2	7	31	36	0	12	18	66	41	99	88	75	303	400
3	15	0	6	9	30	8	20	23	55	106	75	80	72	37	264	400
4	4	2	0	1	7	11	13	16	6	46	86	85	84	92	347	400
5	7	4	27	1	39	51	12	32	9	104	43	84	40	90	257	400
6	22	0	9	5	36	21	0	19	31	71	57	99	72	65	293	400
7	74	0	67	33	174	16	0	28	42	86	10	100	5	25	140	400
8	34	7	13	1	55	34	21	18	0	73	31	73	69	99	272	400
9	21	0	16	23	60	33	0	26	11	70	47	98	58	67	270	400
10	27	0	2	2	31	28	0	7	7	42	45	100	95	91	327	400
Всего	498					718					2784					4000

Источник: составлено автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 4

Лихенометрическая съемка (проективное покрытие)
в районе д. Войново-Гора в 2024 г.

№ деревя	а					в					о					с
	С	Ю	З	В	Σа	С	Ю	З	В	Σв	С	Ю	З	В	Σо	
1	1	2	1	0	4	4	11	56	1	72	94	86	44	100	324	400
2	23	1	0	0	24	24	10	3	9	46	53	89	97	91	330	400
3	59	3	30	26	118	33	14	51	21	119	8	83	19	53	163	400
4	12	0	1	1	14	31	4	0	15	50	57	96	99	84	336	400
5	11	1	6	19	37	17	51	8	17	93	74	48	85	63	270	400
6	0	10	7	17	34	3	19	7	19	48	98	69	87	64	318	400
7	6	0	0	1	7	11	0	8	11	30	82	99	92	90	363	400
8	16	0	2	0	18	13	0	3	1	17	69	99	91	100	365	400
9	6	0	1	0	7	20	0	9	9	38	73	100	90	92	355	400
10	0	6	0	5	11	17	9	49	20	95	83	85	51	75	294	400
Всего	274					608					3118					4000

Источник: составлено автором на основе полученных данных в ходе исследования.

В последующие годы вблизи пос. Озерецкий эпизодически возникали локальные очаги возгорания, которые постепенно захватывали новые участки торфяника. В 2024 г. здесь помимо пожара на торфянике возник очаг лесного низового пожара, что, безусловно, увеличило степень загрязнения воздуха в этой части фитоценоза. Лишайники отреагировали на подобные нарушения экологической обстановки изменением степени проективного покрытия и соотношения площадей

между живыми и погибшими талломами (табл. 3, 4).

Экологическая значимость исследованных биотопов определяется их устойчивостью, которая обеспечивается за счет способности к полному замещению одних видов лишайников другими, что может послужить своеобразным индикатором наличия загрязнения. Виды лишайников, пригодные для биоиндикации в смешанных лесах средней полосы России, с классами полевотолерантности представлены в табл. 5.

Таблица 5

Виды лишайников смешанных лесов европейской части России
с классами полеотолерантности

Виды лишайников	Типы местообитания	Класс
<i>Usnea hirta</i> (L.) Wigg. emend. Mot.	Естественные экосистемы без значительного антропогенного воздействия	1
<i>Evernia prunastri</i> (L.) Ach.	Естественные (редко) и слабо измененные под воздействием человека местообитания (редко)	2
<i>Lecanora allophana</i> (Ach.) Rohl.	Естественные (часто) и слабо измененные (часто) местообитания	3
<i>Graphis scripta</i> (L.) Ach.	Естественные (часто), слабо и умеренно измененные (реже) местообитания	4
<i>Lecidea glomerulosa</i> Steud.	Естественные, а также слабо и умеренно измененные (с равной вероятностью) места обитания	5
<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl.	Естественные (относительно редко) и умеренно измененные антропогенно местообитания (часто)	6
<i>Parmelia olivacea</i> (L.) Ach. emend. Nyl.	Умеренно измененные (часто) и антропогенно измененные (редко) местообитания	7
<i>Parmeliopsis ambigua</i> (Wulf.) Nyl.	Умеренно и сильно измененные под воздействием человека местообитания (с равной вероятностью)	8
<i>Parmelia caperata</i> (L.) Ach.	Сильно измененные антропогенно местообитания (часто)	9
<i>Lecanora conizaeoides</i> Nyl. ex Cromb.	Очень сильно антропогенно измененные экосистемы (встречаемость и жизненность видов низкие)	10

Источник: составлено автором на основе [10].

Основные принципы и методы лишайноиндикации также могут с успехом использоваться в школьной проектной деятельности для организации целостной системы, направленной на развитие теоретических знаний, практических умений и навыков обучающихся [11, 12].

Заключение

В заключение следует отметить, что, несмотря на ограниченность обследованной территории, автором получены результаты, подтверждающие возможность успешного использования эпифитных лишайников для целей локального экомониторинга. За период исследования в связи со сложившейся экологической обстановкой, являющейся следствием периодически возникающих локальных очагов возгорания на торфянике и очага лесного низового пожара, по соотношению площадей проективного покрытия и отмерших талломов установлено заметное угнетение эпифитных форм в районе пос. Озерецкий и их частичное возобновление в окрестностях д. Войново-Гора. В 2024 г. на обеих учетных площадках отмечено преобладание *P. sulcata*, более выраженное в окрестностях д. Войново-Гора, где кроме нее обнаружены еще три вида эпифитов: *P. pallescens*, *H. physodes* и *P. caperata*.

Для исследовательских биоиндикационных работ по оценке состояния окружа-

ющей среды часто привлекаются и обучающиеся СОШ, которые в ходе проектной деятельности могут также использовать международную платформу iNaturalist, дающую возможность проведения практических полевых исследований. Кроме повышения интереса, облегчения фиксации полученных результатов, платформа позволяет осуществлять коммуникацию исследователей с обучающимися других учебных заведений и сторонними специалистами научно-исследовательских институтов для создания единой региональной системы экомониторинга.

Список литературы

1. Загитова Г.Т., Горшков В.В. Оценка уровня загрязнения окружающей среды в прибрежных зонах северных территорий с использованием лишайников в качестве биоиндикаторов // Арктика и инновации. 2025. № 3 (1). С. 77–81. DOI: 10.21443/3034-1434-2025-3-1-77-81.
2. Зарубина А.П., Толпышева Т.Ю., Сорокина Е.В. Экотоксикологическая оценка состояния городской среды на примере мегаполиса Москвы // Социально-экологические технологии. 2018. № 2. С. 34–51. DOI: 10.31862/2500-2963-2018-2-34-51.
3. Анищенко Л.Н., Сковородникова Н.А., Борздыко Е.В. Химическая лишайноиндикация как основа биомониторинга воздуха в антропогенных экосистемах // Фундаментальные исследования. 2015. № 2–10. С. 2144–2148. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=37372> (дата обращения: 28.07.2025).
4. Малышкин Н.Г. Оценка состояния атмосферного воздуха в районе деятельности промышленного предприятия методом лишайноиндикации // Успехи современного

естествознания. 2018. № 11–2. С. 361–365. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36953> (дата обращения: 25.07.2025).

5. Lan X., Thoning K.W., Dlugokencky E.J. Trends in globally averaged CH₄, N₂O and SF₆ determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements. Version 2025–01. 2022. DOI: 10.15138/P8XG-AA10.

6. Зарубина А.П., Толпышева Т.Ю., Плеханов С.Е. Оценка загрязнения воздушной среды методами биотестирования // Экология и промышленность России, 2016. Т. 20. № 8. С. 44–48. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?ysclid=mer9jmjyvc597443493&id=26483928> (дата обращения: 28.07.2025). DOI: 10.29003/m3533.0514-7468.2019_45_4/519-526.

7. Толпышева Т.Ю., Зарубина А.П. Экотоксикологическая оценка качества городской среды методами бактериальной люминесценции и лишеноиндикации // Жизнь Земли. 2023. Т. 45. № 4. С. 519–526. DOI: 10.29003/m3533.0514-7468.2019_45_4/519-526.

8. Бязров Л.Г. Лишайники – индикаторы радиоактивного загрязнения. М.: КМК, 2005. 477 с.

9. Калюжная И.Ю. Перспективы использования методов лишеноиндикации в экологическом образовании // Вестник МГПУ. «Естественные науки», 2017. № 1 (25). URL: <https://iest-vestnik.mgpu.ru/2021/09/01/perspektivy-ispolzovaniya-metodov-lihenoidikaczii-v-ekologicheskom-obrazovanii/> (дата обращения: 28.07.2025).

10. Трасс Х.Х. Классы полеотолерантности лишайников и экологический мониторинг // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л., 1985. Т. 7. С. 122–137.

11. Смыковская Т.К., Головина Н.Н. Проектный метод развития интеллектуальных умений // Профессиональное образование. 2013. № 5. С. 35–36. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20134240&ysclid=mer9mc33jz629760289> (дата обращения: 28.07.2025).

12. Суматохин С.В. Требования ФГОС к учебно-исследовательской и проектной деятельности // Биология в школе. 2013. № 5. С. 60–68. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19423635&ysclid=mer9nh9x4y567579250> (дата обращения: 28.07.2025).