

**ОСОБЕННОСТИ БИОРАЗНООБРАЗИЯ ЭПИФИТНОГО ПОКРОВА И ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ДРЕВЕСНОГО СУБСТРАТА И МХОВ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ (г. КРАСНОЯРСК, СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЕ ОТРОГИ ВОСТОЧНОГО САЯНА)**

*Изучен видовой состав эпифитного покрова деревьев, выявлены особенности биоразнообразия мхов, обоснована и оценена возможность использования бриоиндикации в оценке загрязнения территорий.*

*Исследованиями установлено, что видовое разнообразие мхов на березе в лесопарковой зоне г. Красноярска (48 видов) выше по сравнению с территорией ГПЗ «Столбы» (21 вид), что связано с более высокими концентрациями элементов (64) в пылевых накоплениях древесного субстрата в городе.*

**Ключевые слова:** биоразнообразие, эпифитные мхи, береза, элементный состав, атмосферное загрязнение, бриоиндикация.

*T.N. Otnyukova, A.T. Dutbaeva, A.M. Zhizhaev*

**BIODIVERSITY PECULIARITIES OF THE EPIPHYTIC COVER AND ELEMENT STRUCTURE OF WOOD SUBSTRATUM AND MOSSES IN THE CONDITIONS OF VARIOUS POLLUTION LEVEL (KRASNOYARSK CITY, EAST SAYAN NORTHWEST SPURS)**

*Tree epiphytic cover specific structure is studied, moss biodiversity peculiarities are revealed and possibility of brioindication use in the territory pollution estimation is proved and estimated.*

*It is determined on the basis of the research that moss biodiversity on the birch in the Krasnoyarsk city park belt (48 species) is higher in comparison with the SPR "Stolby" territory (21 species) that is connected with higher element concentrations (64) in the wood substratum dust accumulation in the city.*

**Key words:** biodiversity, epiphytic mosses, birch, element structure, atmospheric pollution, brioindication.

**Введение.** Мохообразные являются неотъемлемой частью фитоценозов, особый интерес представляют мхи, растущие на коре деревьев. Кора дерева является поглотителем и накопителем загрязняющих веществ и элементов из атмосферы, а мхи, использующие кору дерева как субстрат для поселения, – биоиндикаторами химического состава атмосферных выпадений. Бриоиндикация (индикация с использованием мхов) основана на изучении изменений эпифитного мохового покрова (биоразнообразие, морфология и жизненность мхов и др.) в связи с составом атмосферного воздуха и свойствами субстрата.

Цель работы – изучить видовой состав эпифитного покрова деревьев, выявить особенности биоразнообразия мхов, изучить элементный состав пылевых накоплений коры и индикаторных видов мхов, обосновать и оценить возможность использования бриоиндикации в оценке загрязнения территорий.

**Методика.** Исследования проводились в лесопарковой зоне города Красноярска (Академгородок) и на территории Государственного природного заповедника «Столбы», в туристско-экскурсионной зоне (ТЭР) в 2010 году. Изучен видовой состав эпифитного мохового покрова стволов березы от основания до высоты 2 м от поверхности земли. Для элементного анализа отобраны доминантные виды эпифитных мхов с различной формы роста: *Pylaisia polyantha* – с плагиотропной формой роста, *Othotrichum speciosum* – с ортотропной формой роста. Образцы мхов отобраны на стволе березы на высоте 1,5–2,0 м от поверхности земли вместе с пылевыми отложениями под дерновинками мхов. Методика элементного анализа изложена в работе [1].

Обработка полученных результатов проведена методом статистического анализа с использованием программы Excel Microsoft.

**Результаты.** Эпифитный покров коры березы богат и разнообразен в лесопарковой зоне города (48 видов мхов) и беднее на территории ТЭР (21 вид) (табл. 1). Покрытие стволов березы мхами также значительно ниже на территории заповедника по сравнению с лесопарковой зоной города. Разнообразие мхов в городе увеличивается за счет видов различной экологии по отношению к факторам среды (например, трофность, увлажненность, освещенность, реакция среды субстрата и т.д.). Все виды поселяются на пылевых отложениях неровной поверхности коры березы. Количество видов на каждом стволе березы в Академгородке достигает 15–25, на территории ТЭР 3–15. Практически на каждом стволе дерева доминируют *P. polyantha* и *O. speciosum*. Под дерновинками мхов толщина минерализованных и гумусированных накоплений

на коре березы в городской среде достигает нескольких миллиметров (до 1 см и более в глубоких трещинах коры), в то время как на территории ТЭР слой пылевых накоплений более тонкий.

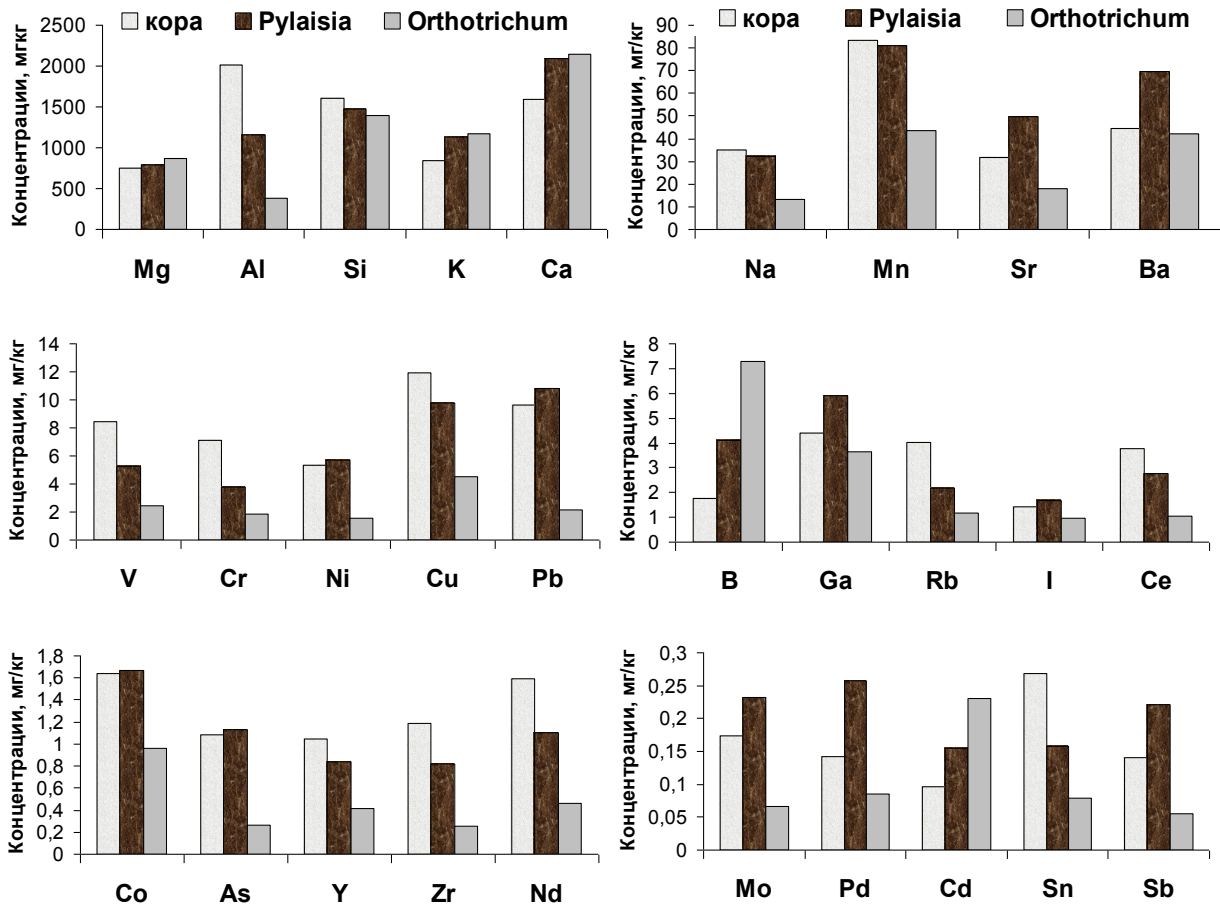
Концентрация большинства элементов пылевых накоплений на коре березы в лесопарковой зоне города (Академгородок) выше по сравнению с территорией заповедника "Столбы" (ТЭР) (табл. 2), достоверность различий между обеими территориями незначима. Наибольшие различия в накоплении элементов отмечены между корой и мхами (рис.). Наиболее высокие концентрации элементов накапливает кора, затем мхи с плагиотропным (*Pylaisia*) и мхи с ортотропным (*Orthotrichum*) ростом. Наблюдаются следующие ряды накопления элементов: 1) запыленная кора > *Pylaisia* > *Orthotrichum*: Li, Na, Al, V, Cr, Mn, Fe, Cu, Ge, Rb, Y, Zr, Nb, In, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Th; 2) *Pylaisia* > кора > *Orthotrichum*: Cl, Ni, Ga, Sr, Mo, Pd, Sb, I, Ba, W, Hg, Pb; 3) *Orthotrichum* > *Pylaisia* > кора: B, K, Ca, Zn, Cd, Au. Кроме того, концентрации ряда элементов (Mg, Si, S, Co, As, Ag и др.) в запыленной коре березы и в дерновинках *Pylaisia* практически равны.

Таблица 1

Список видов мхов, произрастающих на березе (г. Красноярск, Академгородок)

Вид мха	Обозначение	Вид мха	Обозначение
<i>Abietinella abietina</i> (Hedw.) Fleisch.	(s)	<i>Oncophorus wahlenbergii</i> Brid.	s
<i>Amblystegium serpens</i> (Hedw.) B.S.G.	s	<i>Orthotrichum anomalum</i> Hedw.	s
<i>Anomodon viticulosus</i> (Hedw.) Hook		<i>O. obtusifolium</i> Brid.	v,(s)
<i>Brachythecium rotaeaeum</i> DeNot	(s)	<i>O. speciosum</i> Nees in Sturm	s
<i>B. rutabulum</i> (Hedw.) B.S.G.	(s)	<i>Paraleucobryum longifolium</i> (Hedw.) Loeske	(s)
<i>B. salebrosum</i> (Web.et Mohr) B.S.G.	s	<i>Plagiomnium confertidens</i> (Lindb.) T.Kop.	
<i>Bryum argenteum</i> Hedw.	s	<i>P. cuspidatum</i> (Hedw.) N.Kop.	s
<i>B. moravicum</i> Podp.	v	<i>P. ellipticum</i> (Brid.) N. Kop.	s
<i>Ceratodon purpureus</i> (Hedw.) Brid.	s	<i>Platigyrium repens</i> (Brid.) B.S.G.	v,(s)
<i>Dicranum montanum</i> Hedw.	v, (s)	<i>Pohlia nutans</i> (Hedw.) Lindb.	s
<i>Didymodon hedyarifomis</i> Otnyukova	v	<i>Porella platyphylla</i> (L.) Pfeiff.	v
<i>D. rigidulus</i> Hedw.	v	<i>Pseudoleskeella tectorum</i> (Funk) Kindb.	s
<i>Entodon schleicheri</i> (Schimp.) Demet.	(s)	<i>Ptilidium pulcherrimum</i> (L.) Hampe	
<i>Eurhynchium pulchellum</i> (Hedw.) Jenn.	(s)	<i>Pylaisia polyantha</i> (Hedw.) B.S.G.	s
<i>Frullania bolanderi</i> Aust.	v	<i>P. selwynii</i> Kindb.	s
<i>Grimmia longirostris</i> Hook.	(s)	<i>Radula complanata</i> (L.) Dum.	(s)
<i>Haplocladium microphyllum</i> (Hedw.) Broth.	(s)	<i>Rhytidiadelphus subpinnatus</i> (Lindb.) T.Kop.	s
<i>Hedwigia ciliata</i> (Hedw.) P.Beauv.	s	<i>Sanionia uncinata</i> (Hedw.) Loeske	s
<i>Homalia trichomanoides</i> (Hedw.) B.S.G.	s	<i>Schistidium pulchrum</i> Bloom	s
<i>Leskea polycarpa</i> Hedw.	s	<i>Stereodon vaucheri</i> (Lesq.) Lindb.	s
<i>Leucodon sciuroides</i> (Hedw.) Schwaegr.	(s)	<i>Syntrichia pagorum</i> (Milde) Amann	v
<i>Lophocolea minor</i> (Raddi) Nees	v	<i>S. sinensis</i> (C.Muel.) Ochyra	s
<i>Myrinia pulvinata</i> (Wahlenb.) Schimp.	s	<i>Tortula mucronifolia</i> Schwaegr	s
<i>Neckera pennata</i> Hedw.	s	<i>Zygodon sibiricus</i> Ignatov, Ignatova, Iwats.	v

Примечание. Латинскими буквами обозначено: v – вегетативные органы размножения (специализированные почки, ломкие верхушки листьев, ломкие веточки); s – спорофиты часто; (s) – спорофиты редко.



Концентрации элементов в эпифитных мхах и пылевых накоплениях коры березы в лесопарковой зоне города Красноярска (Академгородок): кора – запыленная кора березы; Pylaisia – Pylaisia polyantha (мох с плагиотропной, прилегающей к субстрату, формой роста); Orthotrichum – Orthotrichum speciosum (мох с ортотропной, отстоящей от субстрата, формой роста)

**Обсуждение.** Из анализа публикаций [2, 3] следует, что кора березы в природных условиях очень бедна эпифитами. Настоящие исследования показывают, что максимум видового разнообразия и проективного покрытия эпифитного мохового покрова на березе наблюдается в березовой роще на городской окраине (Академгородок), которую можно отнести к буферной или переходной зоне между сильно загрязненным центром города и условно чистой территорией заповедника. В этой буферной зоне с относительно невысоким уровнем загрязнения биоразнообразие эпифитного покрова складывается из тех видов многолетних мхов, которые обладают способностью к массовому размножению (вегетативное и споровое) (см. табл. 1). Кроме того, многие виды отличаются высокой приспособленностью к условиям природной окружающей среды, так как являются либо космополитами с широкой экологической амплитудой, либо имеют дизъюнктивный ареал. Указанные особенности, вероятно, позволяют видам быть толерантными также и к условиям антропогенного происхождения.

Концентрации большинства элементов запыленной коры и мхов (табл. 2, рис.) входят в диапазон, обусловленный загрязнением, однако на его нижнем пределе [4]. Выявленные концентрации, вероятно, не оказывают существенного токсического эффекта на мхи, скорее всего, наоборот, кора деревьев, обогащенная многими элементами, выпадающими из атмосферы, способствует поселению различных видов мхов.

Таблица 2

Концентрации элементов пылевых накоплений на коре березы на территории г. Красноярск (Академгородок) и Государственного природного заповедника «Столбы» (туристско-экскурсионный район)

Элемент	Академгородок	ТЭР	Элемент	Академгородок	ТЭР
Li	1,06±0,988	0,224±0,126	Mo	0,173±0,153	0,060±0,056
Be	0,093±0,093	0,020±0,020	Pd	0,142±0,052	0,128±0,128
B	1,75±0,01	2,03±1,44	Ag	0,076±0,012	0,019±0,019
Na	35,0±25,2	26,5±26,5	Cd	0,096±0,051	0,076±0,076
Mg	748±505	281±164	Sn	0,268±0,134	0,082±0,036
Al	2006±175	728±251	Sb	0,139±0,067	0,060±0,038
Si	1609±56,0	949±410	I	1,41±0,246	0,933±0,356
P	264±77,3	Следы	Cs	0,384±0,272	0,097±0,097
S	829±13,8	472±375	Ba	44,6±31,4	19,1±10,7
Cl	164±96,1	753±695	La	1,95±1,44	0,479±0,256
K	840±63,4	507±328	Ce	3,77±2,83	0,834±0,480
Ca	1593±349	1536±1039	Pr	0,433±0,325	0,091±0,052
Sc	1,37±0,76	0,493±0,227	Nd	1,59±1,210	0,291±0,291
Ti	176±139	25,5±10,9	Sm	0,259±0,259	0,060±0,060
V	8,41±6,57	1,73±0,838	Eu	0,080±0,054	0,026±0,026
Cr	7,09±4,34	0,971±0,971	Gd	0,256±0,185	0,069±0,069
Mn	83,4±65,50	16,2±8,52	Tb	0,035±0,028	Следы
Fe	2629±1928	843±489	Dy	0,223±0,158	0,039±0,039
Co	1,64±1,31	0,455±0,33	Ho	0,036±0,029	Следы
Ni	5,30±3,93	1,06±1,06	Er	0,117±0,085	0,021±0,021
Cu	11,9±0,957	6,08±3,70	Tm	0,012±0,007	Следы
Zn	24,8±14,6	20,3±10,6	Yb	0,091±0,055	0,023±0,023
Ga	4,38±3,02	1,90±1,06	Lu	0,011±0,005	Следы
Ge	1,21±1,050	0,349±0,215	Hf	0,031±0,015	Следы
As	1,08±0,740	0,395±0,335	W	0,176±0,136	0,082±0,063
Br	4,95±3,28	17,1±16,30	Au	Следы	0,036±0,013
Se	0,100±0,100	0,457±0,072	Hg	0,028±0,028	0,037±0,037
Rb	4,03±2,120	0,914±0,541	Tl	0,048±0,029	0,016±0,016
Sr	31,7±18,1	19,6±11,7	Pb	9,59±3,40	5,79±3,43
Y	1,04±0,732	0,267±0,152	Bi	0,060±0,046	0,035±0,025
Zr	1,18±0,726	0,374±0,159	Th	0,436±0,341	0,080±0,042
Nb	0,211±0,163	0,051±0,026	U	0,137±0,116	0,031±0,031

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между элементами, преобладающими в пылевых накоплениях на коре березы (территория г. Красноярск, Академгородок)

Элемент	Li	Na	Al	V	Cr	Mn	Fe	Ge	Rb
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Y	0,98***	0,85*	0,98***	0,99***	0,95**	0,98***	0,99***	0,97***	0,94**
Zr	0,97***	0,88*	0,98***	0,98***	0,98***	0,94**	0,95**	0,96**	0,97***
Nb	0,98***	0,88*	0,98***	0,98***	0,95**	0,96**	0,94**	0,98***	0,93**
In	0,81*	-	0,83*	0,81*	0,89*	-	-	0,85*	0,87*
Cs	0,99***	0,83*	0,99***	0,99***	0,99***	0,93**	0,96**	0,96**	0,99***

Окончание табл 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
La	0,97***	0,86**	0,98***	0,98***	0,96**	0,97***	0,98***	0,97***	0,95**
Ce	0,98***	0,86*	0,99***	0,99***	0,97***	0,97***	0,98***	0,97***	0,96**
Pr	0,99***	0,85*	0,99***	0,99***	0,98***	0,96**	0,98***	0,97***	0,97***
Nd	0,98***	0,84*	0,98***	0,99***	0,96**	0,97**	0,99***	0,96**	0,96**
Sm	0,97***		0,98***	0,98***	0,96**	0,96**	0,99***	0,96**	0,96**
Eu	0,98***	0,85*	0,98***	0,99***	0,96**	0,98**	0,99***	0,97***	0,95**
Gd	0,96**	0,88*	0,97***	0,97***	0,93**	0,98**	0,98***	0,94**	0,93*
Tb	0,98***	-	0,98***	0,99***	0,95**	0,97***	0,98***	0,97***	0,94**
Dy	0,98***	0,86*	0,99***	0,99***	0,97***	0,97***	0,98***	0,97***	0,97***
Ho	0,96**	0,89*	0,97***	0,97***	0,94**	0,99***	0,96**	0,97***	0,92**
Er	0,98***	0,88*	0,99***	0,98***	0,98***	0,96**	0,96**	0,98***	0,96**
Tm	0,98***	0,89*	0,98***	0,98***	0,95**	0,96**	0,94**	0,96**	0,94**
Yb	0,84*	-	0,81*	0,84*	-	-	0,88*	-	0,82*
Lu	0,85*	0,95**	0,87*	0,86*	0,88*	0,83*	0,84*	0,81*	0,88*
Hf	0,91**	-	0,89*	0,90*	0,91**	-	0,86*	0,86*	0,92**
Th	0,99***	0,84*	0,99***	0,99***	0,97***	0,96**	0,97***	0,89*	0,90*

\*  $P < 0,05$ ; \*\*  $P < 0,01$ ; \*\*\*  $P < 0,001$ .

Элементы, которые преобладают в пылевых накоплениях коры (см. табл. 2, рис.), в основном относятся к группе редких и редкоземельных, все они коррелируют с элементами (см. табл. 3), содержащимися в промышленных выбросах и переносимой ветром почве. Корреляция показывает, что отсутствует индивидуальная миграция элементов, их распределение обусловлено коллективным переносом с пылью. Согласно докладом о состоянии окружающей среды [5], загрязнение г. Красноярска пылью очень высокое.

Интересные особенности выявляются при анализе элементного состава мхов. Элементы, концентрации которых максимальны в *Pylaisia* (см. табл. 2), коррелируют между собой (табл. 4); так же, как и элементы с максимальным содержанием в *Othotrichum*: В–Cd ( $r = 0,94$  при  $P < 0,01$ ), В–Са ( $r = 0,91$ ,  $P < 0,01$ ), Са–Cd ( $r = 0,89$ ,  $P < 0,05$ ), Са–Zn ( $r = 0,91$ ,  $P < 0,01$ ).

Таблица 4

**Коэффициенты корреляции между элементами, преобладающими в *Pylaisia polyantha* (территория г. Красноярска, Академгородок)**

Элемент	Ni	Ga	Sr	Pd	Sb	Ba	W	Pb
Ni	-	0,91*	-	-	-	-	0,95**	0,91**
Sr	0,90*	0,92**	-	0,95**	-	-	-	0,90*
Mo	0,90*	0,95**	0,94**	0,82*	0,90*	0,92**	0,95**	0,88*
Sb	0,88*	0,82*	-	0,96**	-	0,84*	0,95**	0,93**
Ba	0,90*	0,98***	0,92**	0,82*	-	-	0,86*	-
W	-	0,88*	-	0,89*	-	-	-	0,96**
Pb	-	-	-	0,85*	-	-	-	-

Примечание. см. табл. 3.

Таким образом, особенности разнообразия мхов и элементный состав биодиагностов (кора, мхи) свидетельствуют о химическом загрязнении территории, и биоиндикация может быть использована для наблюдения за состоянием окружающей среды.

### Литература

1. Отнюкова Т.Н., Жижаяев А.М., Кутафьева Н.П. Элементный состав биоиндикаторов атмосферного загрязнения на территории г. Красноярска // Вестн. КрасГАУ. – 2012. – № 2. – С. 123–126.

2. Игнатов М.С., Игнатова Е.А. Флора мхов Средней части Европейской России. – М., 2003, 2004. – Т. 1 и 2. – 907 с.
3. Цэзмэд Ц. Флора мхов Монголии. – М., 2010. – 634 с.
4. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in Soils and Plants. – Boca-Raton; London; New-York; Washington: CRC Press, 2001. – 403 p.
5. О состоянии и охране окружающей среды Красноярского края в 2008 г. / под ред. Д.В. Варфоломеева. – Красноярск, 2009. – 226 с.



УДК 582.29+631.524.84

Н.М. Ковалева

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОМАССЫ ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ НА СТВОЛАХ И ВЕТВЯХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

Предпринята попытка оценить фитомассу эпифитных лишайников на стволах и ветвях сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

Установлено, что фитомасса эпифитных лишайников на сосне варьирует от 130 до 1090 г. Основной вклад вносят лишайники родов *Bryoria* (45%), *Hypogymnia* (34%) и *Evernia* (12%). На ветвях деревьев фитомасса эпифитов составляет 96% от общей массы. Большая часть лишайников (66%) обнаружена в зоне наибольшего развития ветвей (на высоте 9–13,5 м). Фитомасса эпифитных лишайников на стволах деревьев очень мала (4%) и на 70% сосредоточена в основании стволов.

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, фитомасса, эпифитные лишайники, Нижнее Приангарье.

N.M. Kovaleva

### EPHYPHYTIC LICHEN PHYTOMASS DISTRIBUTION ON THE SCOTCH PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) STEMS AND BRANCHES

An attempt to estimate the epiphytic lichen phytomass on the Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) stems and branches is taken. It is determined that the epiphytic lichen phytomass on a Scotch pine varies from 130 to 1090 g. Lichens of the *Bryoria* (45%), *Hypogymnia* (34%) and *Evernia* (12%) species bring main contribution. Epiphyte phytomass makes 96% from whole mass on the tree branches. The most part of lichens (66%) has been found in the zone of the greatest branch development (at height of 9–13,5m). The epiphytic lichen phytomass on the tree stems is very small (4%) and concentrated in the stem basis on 70%.

**Key words:** Scotch pine, phytomass, epiphytic lichens, Lower Priangarye.

---

**Введение.** При изучении биологической продуктивности сообщества необходимо учитывать запасы и годичный прирост фитомассы всех группировок фитоценоза как компонента биогеоценоза [5, 15, 18]. Эпифитные лишайники являются неотъемлемым компонентом всех лесных экосистем, представляя собой своеобразную группу симбиотических организмов, в которых совместно живут грибы и водоросли, снабжающие друг друга необходимыми для жизнедеятельности веществами. Эпифитные лишайники вносят существенный вклад в видовое разнообразие лесных экосистем, являются пищей и убежищем для других организмов [2, 3, 24, 28], включаются в циклы питательных веществ [27, 32, 33]. Помимо этого, данные организмы чувствительны к изменению химического состава воздуха, что позволяет использовать их для индикации атмосферного загрязнения и мониторинга состояния окружающей среды [7, 11–13, 25]. Содержание в лишайниках таких специфических веществ, как усниновая и эверновая кислоты, а также атранорин, позволяет использовать их в медицине [8, 9, 14, 19].

Несмотря на их существенную экосистемную роль, известно сравнительно мало данных по накоплению фитомассы эпифитными лишайниками [21–23, 29–31, 34], особенно это касается российских территорий [1, 4, 5, 15–17]. Целью настоящего исследования являлась оценка фитомассы эпифитных лишайников на стволах и ветвях сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).