

**ВЛИЯНИЕ КРОН СОСНЫ И БЕРЕЗЫ  
НА НАКОПЛЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЛИШАЙНИКЕ  
PSEUDEVERNIA FURFURACEA (ЮЖНАЯ ЧАСТЬ  
ЛАДОЖСКО-ОНЕЖСКОГО ПЕРЕШЕЙКА, СРЕДНЯЯ ТАЙГА)**

**Катаева М.Н., Беляева А.И.**

*Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург,  
e-mail: mkmarikat@gmail.com*

Проведено определение микроэлементного состава эпифитного лишайника *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf (Parmeliaceae). Самые низкие концентрации были обнаружены в лишайнике, собранном со стволов сосны в более сухих условиях местообитаний. Талломы лишайника в верхней части кроны сосны обычно накапливают более высокие концентрации Cd, Pb, Fe, что связано с поступлением осадков. Крона можжевельника способствует более высокому накоплению металлов в лишайнике (Ni, Cd, Pb). Выявлено возрастание концентраций Mn и Zn в лишайнике в разных экологических условиях сообществ на стволах березы. В осоково-кустарничково-сфагновом болоте микроэлементный состав лишайника на стволах березы пушистой отличается содержанием Mn и Zn по сравнению с концентрациями в кроне сосны. Дана оценка биомассы лишайника. Лишайник показал более высокую аккумулирующую способность по отношению к металлам, чем хвоя и листья. Талломы лишайника накапливают тяжелые металлы интенсивнее по сравнению с хвоей можжевельника и сосны: Cd в 2,0–4,9 раза, Pb в 2,4–4,9 раза, Fe в 3,4–14 раз. В лишайнике на березе выше концентрации Cd в 1,5–3,9 раза, Pb в 3,7–5,6 раза, Fe, чем в корке ствола.

**Ключевые слова:** средняя тайга, микроэлементы, *Pseudevernia furfuracea*, сосна, береза

*Работа выполнена по плановой теме НИР № 121032500047-1 «Растительность европейской части России и северной Азии: разнообразие, динамика и принципы организации».*

**INFLUENCE OF PINE AND BIRCH CROWNS ON ACCUMULATION  
OF MICROELEMENTS IN LICHEN PSEUDEVERNIA FURFURACEA  
(SOUTH PART OF THE LADOGA-ONEGA ISTHMUS, THE MIDDLE TAIGA)**

**Kataeva M.N., Belyaeva A.I.**

*Komarov Botanical Institute RAS, Sankt-Petersburg, e-mail: mkmarikat@gmail.com*

Determination of microelemental composition of epiphytic lichen thalli *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf (Parmeliaceae) was performed. The lowest concentrations of heavy metals were found in sampled lichens from pine trunks in drier conditions of habitats. Lichen thalli located in the upper part of Scots pine crown accumulate higher concentrations of Cd, Pb, Fe, which is associated with precipitation. The juniper crown promotes the higher accumulation of metals (Ni, Cd and Pb) in lichen thalli. The increase of concentration of Mn and Zn in lichen on birch trunks in different communities was revealed. The microelement composition of the lichen on downy birch trunks in the sedge-dwarf shrub-sphagnum mire community differ from the pine trunks and branches by concentrations of Mn and Zn. An assessment of biomass of lichen is given. Lichen demonstrated more efficient accumulative ability of metals than needles and leaves. Lichen thalli accumulate metals intensively in comparison with needles of juniper and pine, Cd (2.0–4.9 fold), Pb (2.4–4.9 fold), Fe (3.4–14 fold). In lichen growing on birch concentrations of metals were higher than in outer bark of trunks, Cd (1.5–3.9 fold), Pb (3.7–5.6 fold), and Fe.

**Keywords:** middle taiga, microelements, *Pseudevernia furfuracea*, Scots pine, birch

*The work was carried out according to the planned research topic No. 121032500047-1 “Vegetation of the European part of Russia and northern Asia: diversity, dynamics and principles of organization”.*

**Введение**

Сохранение биоразнообразия является основной целью в рациональном взаимодействии общества и окружающей среды. Возрастающее промышленное развитие связано с вовлечением в природную среду химических элементов. В промышленных выбросах тяжелые металлы могут распространяться на значительные расстояния и длительное время накапливаться в лесных сообществах. Загрязнение воздуха и почвы тяжелыми металлами около горно-металлургических предприятий ведет к много-

кратному превышению фоновых концентраций в листьях растений.

Эпифитные лишайники используются при оценке воздушной среды в биоиндикации. Широкий диапазон устойчивости позволяет лишайникам заселять самые малоблагоприятные местообитания, сухие, холодные, малопригодные для других растений. Представляет интерес выявить влияние на лишайники эколого-ценотических условий для оценки фоновых значений микроэлементов. Ряд микроэлементов лишайники аккумулируют интенсивнее по сравнению с однолетними органами растений.

В экологической классификации используется понятие «тяжелые металлы», также применяется название «потенциально токсичные элементы».

Местонахождения редких и охраняемых видов лишайников на северо-востоке Ленинградской области связаны с малонарушенными и старовозрастными лесами, специфичными биотопами [1, 2]. Малонарушенные сообщества, которые также представляют важные точки миграции птиц в регионе, сохранились в лесных и прибрежных районах Ладожского озера. Хвоя сосны, листья и почки березы, ивы – корм для растительноядных птиц, глухарей и куропаток. При загрязнении изменяется качество кормов в рационе птиц. В зимнем корме куропатки – в побегах ивы шерстистой, *Salix lanata* L. – накапливается Cd, что вызвано концентрирующей способностью [3]. Содержание этого элемента в листьях и хвое в этом регионе мало изучено. Лишайники, главным образом напочвенные виды, представляют корм для популяций дикого северного оленя, среди кормовых видов лишайников оленя карибу есть и виды эпифиты [4]. Птицы часто используют лишайники в качестве строительного материала для гнезд.

Известно, что в кронах леса состав атмосферных осадков обогащается органическими веществами и подвижными элементами, в кронах изменяется их растворимость. Биологические особенности хвойных пород – сосны, ели, можжевельника – могут влиять на биоаккумуляцию тяжелых металлов в лишайниках.

Вид *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf предпочитает освещенные местообитания, встречается на коре стволов и ветвей разных видов деревьев довольно часто. На стволах сосны этот вид обычный. *P. furfuracea* относится к группе умеренно устойчивых лишайников. У этого вида встречаются разные формы.

**Цель исследования:** определить содержание тяжелых металлов (Ni, Cu, Cd, Pb, Fe, Mn, Zn) в виде *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, сем. Parmeliaceae, при различной локализации местообитаний в кронах и стволах сосны по сравнению с березой; также оценить влияние на лишайник эколого-ценотических условий в среднетаежной подзоне.

#### Материал и методы исследования

Образцы корки стволов и талломов лишайника *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf собирали на сосне *Pinus sylvestris* L. и березе *Betula pendula* Roth. на высоте 1,3 м (сосняк кустарничково-зеленомошный), также

в кронах сосняка – 4,2–5 м. При сильных штормовых порывах ветров в 2021 г. местами произошли летние вывалы деревьев в сосняках вблизи побережья Ладоги. Лишайник собран в верхних и средних частях крон свежих ветровальных деревьев сосны и березы на ветвях (сосняк лишайниково-зеленомошный). В неповрежденном ветровале сосняка вид собран на стволах сосны и березы (до 30 см в диаметре), в кроне кустов можжевельника в подлеске [5]. В ветровале лишайник был собран на ветвях в кронах березы, при его большей встречаемости.

Местообитания лишайника на краю болота приурочены к кронам сосны, ели и березы, вид встречается на сухостойных деревьях сосны. В условиях болота осоково-кустарничково-сфагнового лишайник собирали на стволах и ветвях сосны в кронах, на корке тонких стволов березы. Деревья на болоте низкорослые, высота деревьев березы пушистой *Betula pubescens* Ehrh. не более 2,5–4 м, сосен, с шишками – до 4 м; на болоте также есть сухостойные деревья. Возраст березы на болоте до 35 лет. Диаметр основания ствола березы – 5,5–6,0 см, ствола сосны – 8 см, на высоте таксационного диаметра 1,3 м – 5,7 см. Ветви сосны в кроне тонкие. Признаков пожарных повреждений в сообществах (таких как угли в подстилке, повреждения стволов деревьев) не выявлено. Образцы вида лишайника также собирали в ельнике.

Образцы лишайника *Pseudevernia furfuracea* (талломы 4–7 см, с берез 4–8 см) собраны в июле–августе 2018–2019 гг. и в 2023 г. на юге Ладожско-Онежского перешейка, бассейн р. Свирь, северо-восток Ленинградской области, Лодейнопольский р-н [5, 6].

Хвою ветвей сосны разделяли на приросты по годам формирования. В хвое сосны содержание микроэлементов определяли по годам: в хвое 1 года (2017), хвое текущего года формирования (2018). Анализировали также средний образец хвои сосны. Прирост веточек сосны текущего года на болоте составил 2,2–3,2 см, длина хвои сосны – 3 см. В сосняке длина хвои сосны 2018 г. – 5 см. Хвою можжевельника анализировали в средних смешанных образцах, с преобладанием хвои текущего года и однолетней. Повторность сбора образцов лишайника на форофитах 3–6 экземпляров.

Пробы лишайников, корки стволов, листья березы, хвою сосны и можжевельника из местообитаний высушивали в термостате. В пробах концентрации химических элементов определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре (ААС) Квант-АФА,

Россия, после озоления в муфеле (450°C), их растворения при нагреве в 2N HCl и фильтрации через фильтр «синяя лента» [6]. Анализ проведен в двух повторностях. Использовали ГСО. Результаты измерений обрабатывали в стандартном пакете программы Microsoft Excel 2010.

### Результаты исследования и их обсуждение

Сомкнутый полог леса создает градиент температуры, влажности, освещенности по вертикали и образует различные условия местообитаний лишайников. Под пологом леса создается благоприятный режим питания и роста эпифитных лишайников: сглаживается амплитуда температур воздуха и почвы, уменьшается интенсивность испарения. Под кронами более влажный микроклимат. Степень развития кроны (ее сквозистость) влияет на световой и гидро-термический режимы под пологом леса. Лишайники на древесном субстрате болот растут в микроклимате с контрастным режимом температур, при высокой влажности воздуха, в условиях повышенной солнечной инсоляции при слабом развитии и влиянии кроны.

Сопоставляли содержание микроэлементов в лишайнике *P. furfuracea* в различных экологических условиях местообитаний. Анализ показал, что в кроне свежих ветровальных деревьев в лишайнике содержание микроэлементов выше, чем в сосняке на стволах (табл. 1).

По сравнению с атмосферными осадками на состав осадков под кронами влия-

ет древесная растительность. Как известно, осадки представляют источник питания лишайников. С осадками из кроны вымываются биогенные и потенциально токсичные элементы. Стволовые осадки более концентрированные.

В местообитаниях на стволах березы содержание Zn, Mn, Cd в талломах *P. furfuracea* выше относительно стволов сосны. Содержание цинка (Zn) выше в 1,9 и 2,2 раза в лишайнике на ветвях и стволах березы соответственно. Концентрация Cd на стволах березы в лишайнике в 1,6 раза выше, чем на ветвях березы, что согласуется с ранее полученными данными [5, 6].

В хвое сосны текущего года в дренированном сообществе содержатся менее высокие концентрации Mn относительно березы и можжевельника (табл. 2).

В зависимости от почвенных условий, региона и вида Mn в листьях березы содержится от 520 до 1500 мг/кг [7–9]. В лишайнике в 3,4–5,8 раза меньшие концентрации Mn относительно листьев березы – 736–1930 мг/кг (табл. 1, 2).

В листьях березы также сильнее накапливается Zn [7, 8]. Для березы обычен сток осадков по гладкой корке ствола. Под кронами березы в осадках выше концентрации водорастворимых форм элементов – Zn и Mn. По сравнению с хвоей сосны и можжевельника в листьях березы Zn накапливается интенсивнее. Помимо листьев березы, Zn содержат и накапливают другие части кроны [9]. Хвоя сосны текущего года менее интенсивно накапливает Zn – в 3,9–4,2 раза меньше, чем листья березы.

Таблица 1

Средние концентрации микроэлементов в *Pseudevernia furfuracea*, мг/кг сухой массы

Субстрат	Ni	Cu	Cd	Pb	Fe	Mn	Zn
Сосняк кустарничково-зеленомошный, высота 1,3 м							
Сосна, на стволе	0,47±0,04	2,1±0,3	0,129±0,01	1,3±0,16	117±9	100±10	43±5
Стволы, ветви можжевельника	0,91±0,33	2,3±0,26	0,160±0,02	1,9±0,31	174±28	136±13	38±2
Стволы березы повислой	0,80±0,12	2,1±0,08	0,182±0,02	2,7±0,80	126±24	565±99	80±7
Сосняк лишайниково-зеленомошный, ветровал, высота 4,2–5 м							
Ветви сосны, крона	1,24±0,24	3,3±0,33	0,164±0,01	2,8±0,02	460±90	55±3	39±5
Ветви березы повислой, крона	0,63±0,06	2,1±0,07	0,111±0,01	2,2±0,01	172±24	127±17	85±8
Болото осоково-кустарничково-сфагновое, высота 1,3 м							
Крона сосны, ствол и ветви	1,14±0,5	3,6±0,6	0,217±0,10	4,1±0,33	340±11	29±15	39±5
Стволы березы пушистой	0,99±0,34	2,2±0,3	0,126±0,02	2,7±1,0	274±72	79±14	60±12
Ельник кустарничково-зеленомошный, высота 1,3 м							
Сухие ветви ели без коры	0,80±0,03	2,3±0,03	0,106±0,01	2,5±0,18	172±9	212±90	49±4
Ветви ели, вблизи ручья	1,1±0,01	2,4±0,01	0,127±0,01	2,9±0,02	196±5	263±4	64±5

Таблица 2

Концентрации металлов в хвое сосны и листьях березы, корке стволов в различных сообществах, мг/кг сухой массы

Образец	Ni	Cu	Cd	Pb	Fe	Mn	Zn
Сосняк кустарничково-зеленомошный, 1,3 м							
Сосна, в корке ствола	0,33±0,05	2,5±0,01	0,340±0,02	2,4±0,06	74±8	100±1	15±1
Хвоя сосны текущий год (2018)	1,4±0,06	2,6±0,4	0,050±0,01	<	24±4	606±136	37±2
Хвоя сосны 1 год (2017)	0,7±0,1	2,1±0,4	0,066±0,01	<	34±8	1160±370	41±1
Хвоя можжевельника	3,7±0,5	1,8±0,2	0,033±0,01	1,2±0,2	38±7	2820±670	16±1
Листья березы	4,0±0,07	3,9±0,06	0,26±0,02	<	32±2	1930±42	154±2
Сосняк лишайниково-зеленомошный, ветровал, кроны сосны и березы, 4,2–5 м							
Корка ветвей сосны 6–7 мм	<	3,9±0,1	0,314±0,01	0,99±0,1	74±0,2	186±5	33±1
Хвоя сосны текущий год	0,40±0,01	1,6±0,01	0,074±0,0	0,40±0,1	30±0,4	390±10	39±1
Хвоя сосны, 1 год	<	1,4±0,02	0,089±0,01	0,72±0,01	35±1	674±22	49±1
Листья березы	1,2±0,09	3,9±0,05	0,100±0,01	0,69±0,2	44±0,5	736±69	155±11
Корка ствола березы, 1,3–4 м	0,18±0,01	3,2±0,02	0,028±0,01	0,40±0,01	12±5	143±52	47±13
Ельник кустарничково-зеленомошный							
Хвоя текущего года и 1–2 лет	0,98±0,4	1,3±0,2	0,020±0,01	0,33±0,2	15±0,3	1165±450	33±0,5
Ветви сухие	0,21±0,01	0,86±0,1	0,050±0,01	2,3±0,1	17±0,5	65±4	9±0,8

В листьях березы содержание Zn в 1,83–1,94 раза выше содержания элемента в талломах лишайника на ветвях и стволах (табл. 1–3), что было показано для вида *Hypogymnia physodes* [5]. В лишайнике *P.furfuracea* на березе накопление Zn выше концентраций, характерных для состава на сосне.

Особенности химического состава листьев березы влияют через осадки на состав лишайника, определяют содержание в нем более высоких концентраций Zn, Mn, и Cd. Анализ показал, что в хвое сосны относительно листьев березы концентрация Cd гораздо ниже – от 1,35 до 3,9–5,2 раза (до 5,3 раза на болоте). Прирост побега сосны на болоте накапливает Cd также гораздо слабее – 0,084 мг/кг (табл. 3). В фоновых условиях листья берез способны накапливать Cd интенсивнее – до 0,29–0,67 мг/кг [7, 9]. Кадмий в хвое ели и можжевельника накапливается еще в меньшем количестве, чем в хвое сосен (табл. 2). Концентрирующая способность березы по отношению к Cd и Zn выше.

В талломах лишайника Cd накапливается интенсивнее, чем в хвое сосны, можжевельника и ели. Свинец содержится в несколько большем количестве в ветвях

ели, корке стволов сосны – 1,0–2,4 мг/кг (табл. 2–3). Более высокое накопление Fe – в лишайнике в кроне сосны на болоте. Цинк в большей степени накапливает *P.furfuracea* относительно корки сосны – в 1,2–2,8 раза.

Хвойные породы – ель, можжевельник – образуют развитую крону со значительной массой хвои. В кроне ели при влиянии большой поверхности хвои осадки задерживаются. Сток осадков по стволам взрослых деревьев ели незначительный, на стволах образуются довольно сухие условия. В нижней части крон ели на ветвях в большей степени благоприятные условия влажности для роста лишайников, чем на стволах. Кроме этого, сухие ветви ели влагоемкие, по краю ветвей кроны ели поступает больше осадков. По-видимому, этот тип местообитания, на ветвях ели около ручья, более влажный. Вверху кроны сосны в лишайнике содержание Pb и Fe выше, чем на ели и на можжевельнике.

Меньшее количество Mn содержит лишайник на болотной сосне по сравнению с другими форофитами. Кадмий, Fe и Pb в талломах лишайника *P.furfuracea* в кроне сосны на высоте 4,2–5 м и в кроне болотной сосны накапливаются больше относительно лишайника на стволе сосны.



Таблица 3

Концентрации тяжелых металлов в местообитаниях лишайника на болоте,  
мг/кг, сухой массы

Образец	Ni	Cu	Cd	Pb	Fe	Mn	Zn
Болото осоково-кустарничково-сфагновое, 1,3 м, на сосне							
Хвоя текущий год, 2018	0,33±0,01	2,1±0,01	0,035±0,01	0,64±0,3	13±3	95±9	32±0,6
Хвоя 1 год, 2017	<	1,81±0,01	0,049±0,01	0,95±0,02	37±1	180±5	59±1
Хвоя 1–2 лет, смесь	<	1,7±0,1	0,039±0,01	0,97±0,08	42±4	160±7	54±4
Прирост 2,2–3 см	<	2,5±0,1	0,084±0,01	0,65±0,1	16±1	37±1	20±1
Корка ствола	<	1,2±0,05	0,186±0,01	1,2±0,1	29±1	28±0,7	25±1
Корка ветвей	<	2,1±0,01	0,145±0,02	1,1±0,2	52±1	25±0,8	20±1
Болото осоково-кустарничково-сфагновое, 1,3 м, на молодой березе							
Листья крона	0,66±0,3	1,4±0,08	0,25±0,09	0,53±0,08	54±12	517±170	130±23
Корка ствола	<	3,2±0,02	0,08±0,01	0,73±0,02	10±0,5	120±15	48±5

На болоте прирост сосны лимитируется неблагоприятными условиями минерального питания, низкой температурой корнеобитаемого слоя. При неблагоприятных условиях роста в хвое болотной сосны довольно низкие концентрации Mn, Zn, Cd (табл. 3).

Менее интенсивный и менее продолжительный прирост древесины приводит к снижению радиального прироста ствола сосны, приросту в высоту. Для сосны на болоте характерны снижение жизненного состояния и слабый рост хвои. Содержание биогенных микроэлементов в хвое сосны на болоте также ниже [10]. На сосне Mn и Zn в *P. furfuracea* содержатся в меньшем количестве, чем на березе пушистой (табл. 1).

Содержание свинца выше в талломах лишайника, чем в листьях березы, Pb (выше в 3,2–5,4 и 5,1 раза на болоте), Fe (выше 3,8–3,9 и 5 раз). Превышение относительно корки березы в талломах лишайника: по Cd – в 1,5–3,9 раза, Pb – в 5,6–3,7 раза, Fe – до 14–30 раз. Лишайник накапливает тяжелые металлы в большей степени, чем хвоя можжевельника и сосны: Cd – в 2,0–4,9 раза, Pb – в 2,4–4,9 раза, Fe – в 3,4–14 раз.

Содержание свинца в лишайнике в кроне сосны выше Pb, (в 2,1 раза), Fe, (в 3,9 раз), также Cd (в 1,2 раза) по сравнению со стволами сосны. Это связано, очевидно, с распределением осадков и их более умеренным поступлением на стволы сосны, чем на ветви кроны. Показано, что основная часть биомассы *P. furfuracea* приурочена именно к кроне сосны [11]. Лишайник *P. furfuracea* – выносливый вид в освещенных условиях местообитаний болота, этот лишайник разрастается на стволах березы при влажном микроклимате болота, стоке на стволе. Крона березы способствует не-

которому затенению его местообитаний и росту лишайника под ней. Биомасса всех лишайников на стволах молодых деревьев березы пушистой достигает до ¼ сухой массы листьев кроны [12].

При почвенном питании сообществ и в условиях гидроморфного питания на болоте состав лишайника различается, существенно влияние на лишайник видов форофитов, березы и сосны. На сосне лишайник содержит Mn меньше в 2,72 раза, Zn в 1,54 раза. В сосняке на стволах березы эти различия еще больше: Mn в 5,65 раза, Zn в 1,86 раза, что согласуется с *Hypogymnia physodes* [5]. В *P. furfuracea* на болотной сосне Cd содержится в более высоком количестве, чем на березе, возрастает содержание Pb и Fe.

Накопление Cd в листьях березы слабее по сравнению с ивой [3]. В листьях березы концентрации Cd ниже по сравнению со средними концентрациями в листьях трех разных видов ивы: *Salix lanata*, *S. saxatilis*, *S. reticulata*, Cd – 2,94 мг/кг, меньше различия по Zn – 103 мг/кг и до 214 мг/кг [3].

Пигмент меланин в талломах *P. furfuracea* имеет защитную функцию от действия интенсивного света, он может образовывать комплексы с металлами и таким способом влиять на их накопление в лишайнике в более освещенных условиях местообитаний болота. Под пологом соснового леса в осадках смещается pH, они становятся более кислыми. В хвое сосны концентрации Cd низкие, ниже, чем в листьях березы, и более вероятно, что на талломах лишайника в кроне сосны влияет поступление осадков, в частности снеговых осадков, пыли.

Следует отметить, что аккумулирующая способность вида *P. furfuracea* по разным элементам до 1,5–2,5 раз ниже по сравне-

нию с *Hypogymnia physodes*; необходимо учитывать возраст талломов лишайников, особенности структуры сообществ.

Содержание потенциально токсичных элементов, определенных в лишайнике, не превышает фоновых значений для лишайников на северо-востоке России: Cd – 0,7 мг/кг [13], *P. furfuracea* в Европе – 0,145 мг/кг [14], в видах лишайников фоновых территорий на северо-востоке Канады – 0,240 мг/кг [15]. По другим элементам превышения фоновых значений также не обнаружено.

В биогеохимической пищевой цепи в организмах птиц при питании таким кормом, как почки и листья березы, может возрастать содержание Cd и Zn.

### Заключение

В талломах лишайника *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, растущего в верхней части кроны сосны дренированного сосняка, как и в кроне болотной сосны, выше содержание Cd, Fe и Pb. Более высокая аккумуляция Mn, Zn отмечается в сосняке Cd в лишайнике на стволах берез. В местообитаниях на стволах сосны лишайник слабее накапливает ТМ.

### Список литературы

1. Сорокина И.А., Степанчикова И.С., Гимельбрант Д.Е., Ликсакова Н.С., Спиринов В.А., Кушневская Е.В., Гагарина Л.В., Ефимов П.Г. Краткие очерки трех планируемых ООПТ востока Ленинградской области // Ботанический журнал. 2017. Т. 102, № 9. С. 1270–1289.
2. Ликсакова Н.С., Сорокина И.А. Редкие растительные сообщества на проектируемых для охраны территориях на востоке Ленинградской области // Ботанический журнал. 2017. Т. 102, № 2. С. 232–248.
3. Ермолов Ю.В., Лебедева М.А., Бондарь М.Г., Колпашиков Л.А., Черевко А.С., Смоленцев Н.Б. Особенности аккумуляции химических элементов в биогеохимической пищевой цепи северной части Норильского плато // Геохимия. 2020. Т. 65, № 5. С. 499–510.
4. Goward T., Coxson D., Gauslaa Y. The Manna-effect – a review of factors influencing hair lichen abundance for Canada's endangered deep snow mountain caribou (*Rangifer arcticus montanus*) // Lichenologist. 2024. P. 1–15. DOI: 10.1017/S0024282924000161.
5. Катаева М.Н., Беляева А.И. Содержание тяжелых металлов в эпифитном лишайнике *Hypogymnia physodes* в среднетаежном сосняке // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2023. № 5. С. 11–17. DOI: 10.17513/mjpf.13536.
6. Катаева М.Н., Беляева А.И. Накопление тяжелых металлов в эпифитных лишайниках в различных микрореституциях на ели европейской в подзоне средней тайги // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2022. № 8. С. 7–14. DOI: 10.17513/mjpf.13419.
7. Nordlokken M., Berg T., Flaten T.P., Steinnes E. Essential and non-essential elements in natural vegetation of southern Norway: contribution from different sources // The Science of the Total Environment. 2015. № 502. P. 391–399.
8. Сухарева Т.А. Особенности накопления химических элементов древесными растениями северотаежных лесов на фоновых и техногенно нарушенных территориях // Труды Фермановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2017. № 14. С. 438–441.
9. Кузнецова Т.Ю., Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф. Аккумуляция тяжелых металлов в различных органах и тканях березы в зависимости от условий произрастания // Труды Карельского научного центра РАН. 2015. № 1. С. 86–94.
10. Пьявченко И.И. Биологическая продуктивность и круговорот веществ в болотных лесах Западной Сибири // Лесоведение. 1967. № 3. С. 32–43.
11. Liu C., Ilvesniemi H., Westman C. J. Biomass of arboreal lichens and its vertical distribution in a boreal coniferous forest in Central Finland // Lichenologist. 2000. № 32(5). P. 495–504.
12. Катаева М.Н., Беляева А.И. Содержание тяжелых металлов в эпифитных лишайниках и оценка их биомассы в лесных и болотных фитоценозах средней тайги // Сборник всероссийской конференции с международным участием «Продуктивность лесов в условиях меняющегося климата, посвященная 100-летию Н.И. Казимирова». Петрозаводск: КНЦ РАН, 2024. С. 47.
13. Табаленкова Г.Н., Далькэ И.В., Головки Т.К. Элементный состав биомассы некоторых видов лишайников бореальной зоны на Европейском Северо-Востоке // Известия Самарского НЦ РАН. 2016. Т. 18. № 2. С. 221–225.
14. Cecconi E., Incerti G., Capozzi F., Adamo P., Bargagli R., Benesperi R., Carniel F., Favero-Longo S.E., Giordano S., Puntillo D., Ravera S., Spagnuolo V., Tretiach M. Background element content of the lichen *Pseudevernia furfuracea*: A supra-national state of art implemented by novel field data from Italy // The Science of the Total Environment. 2018. Vol. 622–623. P. 282–292.
15. Darnajoux R., Lutzoni F., Miadlikowska J., J.-P. Belanger Determination of elemental baseline using peltigeralean lichen from Northeastern Canada (Quebec): Initial data collection for long-term monitoring of the impact of global climatic change on boreal and subarctic area in Canada // The Science of the Total Environment. 2015. Vol. 533. P. 1–7.