

СТАТЬЯ

УДК 630*182(470.23)
DOI 10.17513/use.38444

**МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ПОЛИСУБСТРАТНЫХ ВИДАХ
ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ В СВЯЗИ
С ОСОБЕННОСТЯМИ МЕСТООБИТАНИЙ**

Катаева М.Н., Беляева А.И.

*ФГБУН Ботанический институт имени В.Л. Комарова Российской академии наук,
Россия, Санкт-Петербург, e-mail: mkmarikat@gmail.com*

Цель исследования – определить содержание микроэлементов в лишайниках *Usnea hirta*, *Hypogymnia physodes* и *Bryoria fuscescens* в зависимости от экологических условий местообитаний и выявить особенности на иве. Концентрации определены методом атомно-абсорбционной спектрометрии. Определено содержание микроэлементов в лишайнике *H. physodes* на стволах и ветвях ивы козьей, на ветвях в кронах сосны и на березе. Выявлено влияние биологических особенностей ивы козьей на лишайник. В талломах лишайника *H. physodes* на иве концентрации Cd в 3,7 раза выше, чем в лишайнике на ветвях сосны. Цинк в лишайнике на иве в 1,5 раза выше, чем на сосне. Определены размер и масса хвои текущего года в кронах сосны на кустарничково-сфагновом болоте. Проведено сравнение длины и массы талломов лишайника *Usnea hirta* в кронах живых сосен и на сухостое стволов сосны на болоте, влажности. Концентрации Cd в видах лишайников кустистой и листоватой жизненных форм различаются в 1,24–2,53 раза. Сделаны оценки концентраций Cd в листьях и почках ивы козьей и в хвое сосны в качестве кормов лесных боровых птиц. В укороченных побегах березы из северной Карелии, листьях осины средней тайги содержатся довольно высокие концентрации Cd. Концентрации микроэлементов в лишайниках на сосне и в хвое сосны соответствуют фоновым значениям.

Ключевые слова: Ленинградская область, микроэлементы, *Hypogymnia physodes*, *Usnea hirta*, *Salix caprea*

**MICROELEMENTS IN POLYSUBSTRATE EPIPHYTIC LICHENS
IN CONNECTION TO FEATURES OF HABITATS**

Kataeva M.N., Belyaeva A.I.

*Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences,
Russia, Saint Petersburg, e-mail: mkmarikat@gmail.com*

The aim of this study is to determine the content of microelements in epiphytic lichens *Usnea hirta*, *Hypogymnia physodes* and *Bryoria fuscescens* in relation to ecological conditions of habitats and to reveal features on willow. Concentrations were determined by atomic absorption spectrometry. Accumulation of microelements in lichen *H. physodes* growing on trunks and branches of willow *Salix caprea*, on branches of pine crowns and on birch trunks was determined. The influence of biological features of willow on lichen *H. physodes* was revealed. Lichen thalli on willow contain higher concentration of Cd, 3.7 fold higher above the content in pine branches. Zinc in lichen on willow is 1.5 times higher as compared to pine. Size and mass of pine needles of current year in pine crowns of dwarf shrub sphagnum mire were determined. Length and mass of *U. hirta* thalli, water content are compared in pine crowns and on dead standing wood of pine trunks. The difference of Cd accumulation between lichens of two life forms is 1.24–2.53 times. Assessments of Cd concentrations in leaves and buds of willow and needles and buds of pine as feed resources of wild living pine forest birds were made. Relatively high concentrations of Cd in short shoots of birch in the northern Karelia and aspen leaves of middle taiga subzone were determined. Concentrations of microelements in lichens on pine, in pine needles are corresponding to the background values.

Keywords: Leningrad region, microelements, *Hypogymnia physodes*, *Usnea hirta*, *Salix caprea*

Введение

Биоаккумуляция тяжелых металлов может создавать патологии в популяциях и нарушать их устойчивое состояние. Слабо изученной остается биоаккумуляция кадмия (Cd) при его высокой токсичности, необходим мониторинг качества окружающей среды и растений – кормовых ресурсов для видов местной фауны, оценка регионального

фоновое содержание металлов, сопоставление данных. Лишайники как индикаторы состояния воздушной среды дают оценку атмосферного загрязнения. Не изучено соответствие концентраций в лишайниках и хвое, в субстратах, влияние форофитов, экологических условий.

Необходимо охарактеризовать базовый уровень концентраций Cd и других микроэ-

лементов в полисубстратных видах лишайников в сообществах без влияния пирогенных и техногенных нарушений, выявить меру их отличия в зависимости от состояния крон и характеристик субстратов. Виды *Hypogymnia physodes* и *Usnea hirta* (L.) Weber ex F.H. Wigg относят к относительно устойчивым к действию атмосферного загрязнения. Кустистый лишайник *U. hirta* в средней тайге часто встречается на сосне [1, с. 48], *Bryoria fuscescens* (Gyeln.) Brodo et D. Hawksw. более чувствительный, эти лишайники встречаются на разных форофитах в естественно сформировавшихся сообществах.

Цель исследования – определить концентрации микроэлементов в видах лишайников *Hypogymnia physodes*, *Usnea hirta*, *Bryoria fuscescens* в зависимости от экологических условий местообитаний и выявить особенности на иве.

Материалы и методы исследования

Ива козья распространена по краям долог, полей, в подлеске сосняков. Эпифитные лишайники *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., *Usnea hirta* (L.) Weber ex F.H. Wigg, *Bryoria fuscescens* (Gyeln.) Brodo et D. Hawksw. были собраны на древесном субстрате в сосновом сообществе и на кустарничково-сфагновом болоте в августе 2024 г., на стволах и ветвях ивы козья с коркой – в 2019 и 2024 гг. Образцы собраны на болоте на древесине сухостоя сосны, корке стволов и ветвей, на корке ствола березы. Повторность сбора образцов лишайника на иве козья – 5, высота 1,30–1,50 м. Район – подзона средней тайги, Ленинградская область, Волховский и Лодейнопольский районы [2], вне зон влияния локальных источников атмосферного загрязнения.

Образцы лишайников высушены в термостате до абсолютно сухого веса. Пробы лишайников, корки, хвои озоляли при 450 °C в муфеле, золу растворяли при нагревании в 2N HCl, фильтровали через фильтр средней плотности «синяя лента» [2].

Концентрации микроэлементов определяли на ААС Квант-АФА (Россия). Анализ проведен в двух аналитических повторностях, с использованием государственных стандартных образцов (ГСО). Данные обрабатывали в Microsoft Excel 2010 [2].

Определяли размерные и массовые показатели хвои на ветвях в кронах сосны в сосняке кустарничково-зеленомошном и на кустарничково-сфагновом болоте. Образцы собирали в конце сезона вегетации 2024 г. На сосне (3 экз., 3,5 м высотой) сре-

зали 3–5 ветвей. В лаборатории с них отделяли и хвою текущего года, почки. Со ствола сосны на высоте 1,3–1,5 м собирали тонкие пластины внешнего слоя корки, 1–2 мм.

Массу хвои сосны текущего года, 100–120 пар хвои на одной ветви, определяли на аналитических весах, измеряли длину. Ширину хвои принимали 2 мм. В сосняке изучено 110 пар хвои на ветвях в нижней части кроны. Масса сухой хвои всей кроны сосны на болоте 1050 г. Почки сосны и ивы козья измеряли, взвешивали. Анализировали виды сем. *Salicaceae*, листья и ветви ивы *Salix caprea* L. 1–2 лет, почки, листья осины *Populus tremula* L. без черешков. Сравнивали концентрации в листьях, тонких ветвях берез, укороченных побегах березы северной Карелии, собранных в 2022 г.

Для выявления размеров лишайника в зависимости от жизненного состояния форофита, в живых кронах сосны и на сухостое стволов кустарничково-сфагнового болота сопоставляли длину и массу талломов *U. hirta*. Образцы собраны в августе 2025 г. на сухостое стволов сосны – 104 таллома (3 экз.), в живых кронах – 30 (2 экз.), на коре ствола в сосняке – 12 (3). После сбора в герметичные пакеты талломы измерены и взвешены. Массу талломов, корки, древесины сосны и березы определяли при естественной влажности образцов и воздушно-сухой.

Результаты исследования и их обсуждение

Лесные сообщества образованы не только древесными породами, но и ассоциированными с ними организмами [3]. Вид-эдификатор древесного яруса и его биогеоценотические связи играют важную роль в создании биоразнообразия в биогеоценозах [4; 5]. Растения, как продуценты органического вещества, взаимодействуют с окружающей средой. Химические элементы, поступающие из атмосферных выпадений, участвуют в питательном режиме лесов. Известно, что атмосферное поступление элементов является преобладающим источником питания для лишайников. Древесные растения преобразуют атмосферные выпадения. На разных видах форофитах различаются потоки химических элементов, субстрат лишайников. Листопадные деревья способны к потере большего количества макро- и микроэлементов, вымываемых из листьев. По приуроченности к форофитам более разнообразный видовой состав лишайников регистрируется на иве и осине [4; 5].

Таблица 1

Микроэлементы в *Hypogymnia physodes* на иве и других форофитах,
мг/кг, абс. сух. масса

Форофит	Ni	Cu	Cd	Pb	Fe	Mn	Zn
Край поля							
Ствол ивы	2,0±0,6	3,4±0,4	1,80±0,30	5,8±0,9	278±38	29±1	95±3
Ветви ивы	1,6±0,1	3,2±0,03	0,88±0,05	7,4±0,4	356±20	28±1	70±1
Зарастающее поле, окраина							
Ветви осины	1,4±0,2	2,9±0,05	0,93±0,05	7,1±0,9	258±43	45±2	55±1
Ветви ели	1,9±0,2	3,3±0,03	0,56±0,02	8,3±0,5	243±52	85±7	56±3
Кустарничково-сфагновое болото							
Ветви сосны	2,5±0,3	4,3±0,9	0,36±0,13	5,3±2,0	357±120	58±12	55±11
Ствол березы	1,3±0,1	3,7±0,2	0,50±0,17	6,1±0,8	489±60	365±98	123±32
Сосновый лес, верхняя часть крон							
Ветви сосны	1,7±0,3	4,5±0,1	0,38±0,01	3,9±0,03	360±135	150±14	54±3
Ствол березы	2,6±0,1	3,9±0,1	0,81±0,03	8,3±1,0	313±2	420±16	165±2

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

Таблица 2

Содержание металлов в корке, почках, хвое сосны, листьях ивы,
мг/кг, абс. сух. масса

Материал	Ni	Cu	Cd	Pb	Fe	Mn	Zn
Сосновый лес							
Почки ивы козьей	16,4±0,0	9,0±0,1	0,76±0,01	<	24±1	203±2	83±0,5
Листья ивы козьей	11,0±0,5	4,5±0,3	1,20±0,0	0,92±0,1	99±0,5	850±7	288±5
Хвоя сосны, лес, 2024 г.	2,7±0,4	3,4±0,4	0,065±0,01	0,47±0,05	18±1,3	277±33	29±0,4
Хвоя сосны, лес, 1 год	1,0±0,1	2,8±0,1	0,098±0,01	<	45±1	692±4	44±3
Местообитания без полога леса							
Листья ивы козьей, берег	0,77±0,2	3,3±0,2	0,51±0,01	1,15±0,2	208±1	697±10	503±45
Ветви ивы козьей, поле 1–2 года	1,11±0,3	3,0±0,2	1,04±0,0	1,53±0,1	19±0,5	20±1	65±1
Кустарничково-сфагновое болото							
Почки сосны	1,8±0,6	2,1±0,2	0,070±0,02	0,82±0,4	25±1	94±17	22±2
Хвоя сосны 2024 г.	0,36±0,2	1,2±0,1	0,062±0,03	0,39±0,02	33±1	457±7	48±0,2
Корка ствола сосны	0,54±0,2	1,9±0,9	0,50±0,07	1,90±0,8	82±34	59±21	27±11

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

На стволах и ветвях ивы козьей Cd в лишайнике выше, 1,80 и 0,88 мг/кг, относительно сосны и других форофитов. Лишайник на стволах ивы выделяется более высокой концентрацией Cd. Талломы лишайника в кроне березы содержат больше Zn, до 2,2–3,0 раза выше, также Mn, которого накапливают в 2,8–6,3 раз больше. В верхней части кроны березы Mn в талломе выше концентрации Fe, в 1,34 раза.

В лишайнике на иве козьей средняя концентрация Cd, 1,34 мг/кг, выше в

3,7 раза по сравнению с сосной. В лишайнике на стволе ивы козьей выявлена высокая концентрация Zn, 95 мг/кг. Крона осины также способствует накоплению Cd в талломах лишайника, концентрации Cd выше в 2,6 раза, до 0,93 мг/кг (табл. 1).

В местообитания лишайников микроэлементы могут поступать со стволовыми водами, при вымывании из листьев кроны вида форофита. Для отдельных таксономических групп растений известна наследственно обусловленная способность к избирательному

накоплению микроэлементов. Представители семейства *Salicaceae*, виды рода *Salix* способны избирательно накапливать Cd и Zn в листьях, также в почках и ветвях при отсутствии техногенного загрязнения [6]. Результаты показали, что в лишайнике, растущем на иве козьей, содержание Cd выше по сравнению с другими форофитами. Это соответствует более высокому содержанию Cd в листьях, ветвях ивы и, очевидно, связано с вымыванием подвижных форм. Концентрация Cd в листьях ивы козьей в разных местообитаниях – 0,51–1,2 мг/кг, в ветвях – 1,04 мг/кг. Почка ивы козьей накапливают Cd до 0,76 мг/кг. В вегетативных почках сосны, как и в хвое, концентрации Cd меньше, чем в почках и листьях ивы, соответственно в 10,9–19,3 раз.

Концентрации тяжелых металлов в хвое сосны являются фоновыми. В хвое сосны на болоте, как и в сосняке кустарничково-зеленомошном, определены низкие концентрации Pb – 0,39–0,47 мг/кг, Cd – 0,062–0,065 мг/кг, в вегетативных почках сосны Cd – 0,070 мг/кг. Ива выделяется довольно высокой концентрацией Mn – 203–850 мг/кг, также Zn в почках – 83 мг/кг, в листьях – 288–503 мг/кг (табл. 2).

В разных местообитаниях концентрация Zn в листьях ивы в 6,0–11,4 раз выше, чем в хвое сосны, в почках ивы и сосны – в 3,8 раза. Все части растений содержат низкие концентрации Pb, в коре сосны Pb выше, 1,9 мг/кг. В листьях ивы козьей, в почках, более интенсивно накапливается Ni, 11–16 мг/кг.

Концентрации в хвое сопоставимы с содержаниями в хвое сосны в не нарушенном

загрязнением национальном парке «Бурабай» в Казахстане (Боровое) [7].

Длина, масса хвои сосны, прирост ветвей в длину различаются больше. В неблагоприятных условиях роста на холодном обводненном торфе сфагнового болота годовой прирост ветвей сосны слабый, в среднем 1,53 см. Прирост ветвей на болоте ниже, чем в сосняке, до 25%, длина и масса хвои меньше, 72,4 и 74,8% от данных сосняка. Площадь кроны низкорослой сосны на болоте небольшая, менее 8 м² (7,86 м²) при массе всей хвои в кроне 1050 г. При этом расчете учитывали размер хвои текущего года. Средняя площадь 1 кг хвои сосны на болоте близкая к поверхности кроны, составила 7,49 м², что представлено в таблице 3.

Крона сосны на болоте может задерживать больше зимних осадков в виде снега. В условиях болот накопление тяжелых металлов в талломах лишайников может более определенно характеризовать условия атмосферного загрязнения, поскольку при небольших размерах влияние крон сосны слабое. Условия на сухостойных соснах отличаются поступлением осадков и микроклиматом.

Кустистые лишайники на сухой сосне содержат несколько больше Cd, Pb. У двух видов лишайников с кустистым таллом на древесине сухой сосны концентрации Cd различаются в 1,45 раз. Более высокий Cd из них накапливается в *U. hirta*, до 0,29 мг/кг. Различия содержания Cd на сосне у этого вида и *H. physodes* небольшие (табл. 1), всего в 1,24 раза, 0,29 и 0,36 мг/кг (табл. 4).

Таблица 3

Размерно-массовые показатели хвои текущего года и прироста сосны болота и сосняка (M±SD), сух. масса

Показатель	Сосна, кустарничково-сфагновое болото			Сосняк
	1	2	3	
Средняя масса хвои, 10 шт., N ₁₋₃ = 300, 120, 100	0,110±0,014	0,079±0,08	0,058±0,010	0,109±0,03
Длина хвои, см	3,77±0,197	3,05±0,17	2,30±0,302	4,20±0,63
Прирост, см	1,95±0,21	1,54±0,35	1,10±0,28	2,03±0,64
Масса прироста, г	0,036±0,01	0,031±0,01	0,016±0,00	0,037±0,22
Масса почки, 1 шт., г	0,013±0,01	0,019±0,01	0,022±0,0	0,012±0,01
Хвоя 1 шт., г	0,011	0,008	0,006	0,0109
Площадь 1 хвои, см ²	0,75	0,61	0,46	0,84
Площадь 1 кг хвои, м ²	6,82	7,72	7,93	7,71

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

Таблица 4

Концентрации элементов в лишайниках на сосне и березе болота,
мг/кг, абс. сух. масса

Местообитание	Ni	Cu	Cd	Pb	Fe	Mn	Zn
Usnea hirta							
Ствол сухой сосны, 1,8–3,0 м	0,70±0,4	2,50±0,5	0,29±0,07	3,2±0,9	262±25	61±15	14±5
Ствол живой березы 1,3–1,5 м	0,81±0,1	1,79±0,3	0,18±0,01	2,8±0,2	314±5	255±2	33±1
Bryoria fuscescens							
Ствол сухой сосны 1,3–1,5 м	0,10±0,06	2,65±0,2	0,20±0,01	2,7±0,5	210±59	87±18	31±4
Колода березы 1,1 м–1,5 м	<	1,80±0,3	0,15±0,01	0,93±0,3	124±2	72±1	42±1

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

Таблица 5

Размеры и масса талломов *Usnea hirta* на сухостое сосны,
в кронах сосны и в сосняке

Условия роста	Показатель	Среднее, М	CV, %	Минимум	Максимум
Сосна сухая, ствол, без корки (104)	длина, см	3,21±0,83*	25,8	1,50	6,20
	масса сырая, г	0,091±0,07	73,6	0,01	0,32
	масса сухая, г	0,080±0,05	61,1	0,01	0,22
Сосна живая, крона и ствол (32)	длина, см	4,73±1,2*	24,9	3,00	8,50
	масса сырая, г	0,118±0,10	84,2	0,03	0,41
	масса сухая, г	0,085±0,66	78,2	0,03	0,28
Сосна живая, на коре ствола (12)	длина, см	4,68±1,16*	24,8	3,10	7,00
	масса сырая, г	0,130±0,10	80,4	0,03	0,35
	масса сухая, г	0,081±0,06	75,6	0,03	0,22

Примечание. *Различия по тесту Манна – Уитни, $p < 0,01$.

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

По-видимому, на концентрации Cd в лишайниках на сухостое сосны влияет поступление снеговых осадков при отсутствии кроны, состояние талломов. На стволе березы в лишайниках содержится больше Zn, в 1,35–2,36 раз, чем они накапливают на древесине сухой сосны. Под влиянием кроны березы в талломах кустистого вида *B. fuscescens* в 3 раза выше концентрация Mn, до 255 мг/кг.

Размеры талломов лишайников на сосне в зависимости от жизненного состояния ранее не были изучены. На примере вида *U. hirta* оценивали длину таллома на разных субстратах на сосне. Влажность и состояние крон формируют условия жизни в местообитаниях лишайников, крона и ее микроклимат способствуют росту талломов. Длина талломов лишайника *U. hirta* в кронах жи-

вой сосны (4,73 см), под кронами на корке ствола в сосняке больше (4,68 см), по сравнению с длиной на древесине сухостоя сосны на болоте, (3,21 см). В кронах сосны дольше сохраняется влажность, более длительная физиологическая активность и рост лишайников, по сравнению с древесиной сухостоя. Влажность талломов лишайника в живой кроне сосны на болоте, на стволах сосны в сосняке выше, по отношению к сухостю, их масса 0,118 и 0,130 г (табл. 5).

С длиной талломов *U. hirta* тесно связана их масса при естественной влажности. Коэффициент корреляции $r = +0,66$ для живой кроны сосны, на сухостое $r = +0,71$ и на коре ствола в сосняке $r = +0,69$. Коэффициент вариации длины менее 30 %. Средняя сухая масса таллома 0,080–0,085 г, больше в кроне сосны.

Таблица 6

Влажность древесины сухостоя стволов сосны, корки сосны, сухостоя березы

Субстрат, повторность, диаметр стволов, 1,3 м и основание	Влажность, возд.-сухой массы	Потеря воды, сырой массы	Размер фрагмента, см		
			длина	ширина	толщина
Древесина сухой сосны n = 12, 14/17 см	32,3±10	23,7±6,5	9,96±0,7	1,7±0,7	0,89±0,08
Корка ствола живой сосны, n = 8, 9/12 см	19,0±6,1	15,9±4,3	5,64±0,2	2,7±0,9	0,13±0,02
Древесина сухой березы n = 10, 7/8 см	199±56	65,2±8,0	6,17±0,9	2,9±0,4	1,42±0,43
Корка сухой березы, n = 5, 7/8 см	10,9±6,4	9,66±4,9	6,3±0,8	4,3±0,4	0,11±0,03
Корка ствола сосны, сосняк, n = 6, 32/40 см	12,9±2,8	11,4±2,2	5,2±1,8	4,0±1,7	0,15±0,05

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

Накопление воды в древесине сухостоя стволов сосны влияет на условия роста лишайников. Древесина сухостоя сосны на болоте более влажная, 32,3%, по сравнению с коркой ствола в кроне сосны (табл. 6).

У корки ствола сосны на болоте в слое 1,3–1,5 мм влажность несколько больше, до 19,0%, чем корки сосны в сосняке, 12,9%. Корка березы постоянно подпитывается водой из древесины, слоя воды, мхов болота, что создает благоприятные по влажности местообитания для лишайников на рыхлой древесине сухостоя березы (табл. 6).

Старовозрастные леса необходимы для видов лишайников со специфическими требованиями [8; 9]. Для сукцессионных стадий характерным является комплекс эпифитных и эпиксильных видов [10]. Отмершая древесина разной степени разрушения необходима в качестве субстрата для эпиксильных видов лишайников. Экологический и таксономический анализ флоры лишайников показал, что во всей флоре доля облигатно связанных с древесиной эпиксильных видов 10%, сем. *Parmeliaceae* достигает 19% [11].

Концентрация Cd в лишайниках, растущих на древесине, потенциально может превышать содержание в лишайниках, растущих в кронах форофитов. Однако в фоновых условиях виды – концентраторы Cd *Salix caprea*, *Populus tremula* выделяются более высоким содержанием. В фоновых условиях содержание Cd в лишайнике превосходит или сопоставимо с листьями видов форофитов – ивы козьей и осины (при соотношении 1,5 раза на иве, 0,78 на осине). Влияние вида – концентратора Cd на лишайник сильнее, по сравнению с различиями

концентраций Cd в видах лишайников двух жизненных форм. Лишайник *H. physodes* в условиях фона характеризуется более высокой способностью к биоаккумуляции тяжелых металлов, больше подходит для экологического мониторинга. Содержание Cd в его талломе 0,36 мг/кг, выше в 5,8 раза по отношению к хвое сосны.

Определяли состав листьев и хвои форофитов, почек и оценивали их в качестве кормовых ресурсов. Тяжелые металлы способны накапливаться в пищевых цепях при поступлении с кормом в организмах диких животных и птиц. Почки ивы, березы, побеги, хвоя сосны, можжевельника, шишкоягоды представляют важную часть корма птиц, куропаток, глухарей и тетеревов. Продуценты, растения, создающие фитомассу, и консументы – потребители находятся на разных уровнях пищевой цепи. Консументы фитофаги – куропатки, их корм зимой – побеги и почки ивы, тетерева, глухари, северные олени, питающиеся лишайниками. Вторичные леса, болота, зарастающие луга, вырубки, где есть веточный корм, побеги осины, ивы, березы – это подходящие биотопы для лося. Северо-Запад и Карелия – это территории с высоким разнообразием копытных животных [12; 13]. Избыток микроэлементов в кормах влияет на микроэлементный состав продукции дичи. Хвоя и почки сосны на болотах хорошо заметны для глухарей, это одна из основных частей корма. Куропатки зимой питаются хрупкими ветвями ивы и почками, отламывают клювом. Расчет массы и количества почек сосны нужен при оценках потребляемого корма в рационе птиц. Среднее количество почек на сосне

в кустарничково-сфагновом болоте в 1 г составляет, на сухую массу, от 45 (53) – 77 шт., в сосняке – 83 шт., почки ивы козьей – 58 шт. на 1 г средняя масса 0,017 г, размер 7х3 мм.

В ненарушенном загрязнении районе для разных видов форофитов лишайников выявлены концентрации Cd в листьях, побегах, древесине. Избирательно накапливающие Cd *S. caprea* и *P. tremula* различаются по степени его аккумуляции. По сравнению с содержанием Cd в ветвях и листьях березы, накопление Cd выше в листьях осины и корке ивы, 0,73–1,07 мг/кг соответственно. Разные части растений также в неодинаковой степени накапливают Cd. Укороченные побеги березы северной Карелии и в Приладожье содержат более высокие концентрации Cd, 0,17–0,61 мг/кг, относительно ветвей березы. Самая низкая концентрация Cd среди субстратов определена в древесине сухих ветвей ели, 0,072 мг/кг, что сопоставимо с содержанием Cd в хвое.

В фоновых условиях горной тундры Полярного Урала кустарниковая ива арктическая *Salix arctica* лидирует среди кормовых растений, Cd в листьях 1,83 мг/кг.

Эпифитные лишайники превосходят по накоплению Cd напочвенный кормовой вид лишайника *Cetraria islandica*. На сосне

в них выявлена более высокая концентрация Cd. Кадмий в лишайнике *U. hirta* на сосне и березе выше, чем в *C. islandica* в 4,6–7,4 раз, также в *B. fuscescens* – в 3,8–5,1 раз. Талломы *C. islandica* содержат довольно низкую концентрацию Cd, всего 0,039 мг/кг (табл. 7).

Ранг различий этих эколого-субстратных групп лишайников характерен для естественного состояния лесных сообществ в отсутствие загрязнения. Следует отметить, что в листьях ивы козьей Cd концентрируется при отсутствии полиметаллических аномалий в почвах. При рудном обогащении почв геохимических аномалий накопление Cd в видах-концентраторах еще больше возрастает.

На территории Карелии имеются оценки массы растений в корме белой куропатки 26,5 г [14]. Химический анализ корма из растений зоба белохвостой куропатки *Lagopus leucurus* в Скалистых горах Колорадо выявил высокий уровень Cd, 2,63 мг/кг сух. массы, близкий к Cd в листьях и ветвях ивы [15]. В обогащенных рудных районах обитания предел токсичности в почках куропатки достигается за 600 дней. При питании ивой куропатки концентрируют Cd во внутренних органах больше, чем в мышцах [15; 16].

Таблица 7

Микроэлементы в ветвях, побегах, корке, напочвенном лишайнике, листьях, мг/кг, абс. сух. масса

Часть растения, диаметр	Ni	Cu	Cd	Pb
Болото				
Ветви березы, 1–2 мм, возраст 1 год	0,31±0,01	3,37±0,1	0,280±0,01	0,99±0,1
Листья березы пушистой, та же	0,43 ±0,04	2,00±0,01	0,218±0,01	0,42±0,1
Сухие ветви ели, 5 мм, ствол 3,7 см	0,20±0,05	1,09±0,1	0,072±0,01	5,75±0,1
Сосновый лес				
Побеги березы, укороченные	2,05±0,1	4,2±0,1	0,61±0,01	4,06±0,3
Листья березы повислой	5,10±0,2	2,9±0,1	0,250±0,01	0,98±0,02
<i>Cetraria islandica</i> , верхняя часть 3,0–3,5 см	0,40±0,05	1,0±0,05	0,039±0,00	0,80±0,4
Северная Карелия, сосновый лес				
Ветви березы повислой, 1–2 мм	2,99±0,1	3,33±0,2	0,111±0,01	0,73±0,01
Побеги березы, укороченные	2,41±0,1	4,97±0,1	0,173±0,01	2,66±0,1
Приладожье, поле				
Листья осины, без черешков	1,32±0,1	4,7±0,2	0,730±0,02	0,95±0,1
Корка ствола ивы козьей	1,30±0,1	2,87±0,1	1,07±0,01	0,94±0,2
Полярный Урал, горная тундра				
Листья <i>Salix arctica</i>	18±0,5	5,67±0,2	1,83±0,1	1,39±0,1
Ветви <i>S. arctica</i>	5,1±0,2	9,1±0,1	1,72±0,1	0,12±0,0

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

Осина обладает способностью к накоплению Cd. Листья осины концентрируют Cd в фоновых условиях, 0,73 мг/кг, что согласуется с результатами [17]. Эта концентрация не превышает предельно допустимую концентрацию Cd (ПДК), 1 мг/кг [17]. Для листьев ивы и корки Cd выше, 1,20 мг/кг, в ветвях 1,04 мг/кг, в корке 1,07 мг/кг. В фоновых условиях сообществ все части ивы содержат более высокие концентрации Cd, по сравнению с сосной. Избирательная концентрация Cd в частях ивы козьей, в листьях, в корке, приводит к более высокой биоаккумуляции Cd в лишайнике, и она не связана с атмосферным загрязнением. Высокое видовое разнообразие лишайников приводится для ивы [4]. Оно совпадает с избирательной аккумуляцией микроэлементов в листьях ивы (Cd, Zn). Содержание макроэлементов (Ca, K, Mg, N, P) в листьях ивы, вымывание необходимых макро- и микроэлементов из листьев кроны, очевидно, положительно влияют на лишайники, обуславливают разнообразие видов. Концентрации Cd в талломах лишайника на иве козьей, по-видимому, для него не токсичные.

В талломах эпифитных лишайников определены фоновые концентрации тяжелых металлов. При биомониторинге нужно принимать во внимание, что накопление Cd, приоритетного металла-загрязнителя в регионе в лишайниках на иве, сосне, березе, осине имеет отличия. Следует исключать форофиты иву и осину при определении фона из-за биогеохимической специализации. В хвое сосны не выявлено загрязнения тяжелыми металлами, как кормовой ресурс хвоя сосны соответствует экологическим нормам.

Заключение

Выявлена видовая специфичность *Salix caprea* L., *Populus tremula* L. в накоплении Cd в условиях северо-западного региона. В лишайнике *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. растущем на иве козьей, избирательно накапливающей Cd, концентрации Cd выше в 3,7 раза по сравнению с сосной. Меньшие различия по степени накопления Cd получены на сосне у лишайников кустистой *U. hirta* (L.) Weber ex F.H. Wigg и листоватой жизненной формы *H. physodes* – в 1,24–1,80 раза; *B. fuscescens* и *H. physodes* в 2,11–2,53 раза. При биомониторинге следует учитывать видовую специфичность.

Длина талломов кустистого лишайника *U. hirta* различается в местообитаниях на со-

сне. На сухостое сосны без кроны талломы имеют меньший размер 3,21 см, по сравнению с условиями под кронами, эти отличия достоверны. На древесине сухостоя сосны довольно благоприятные условия влажности субстрата местообитаний (32,3%) при отсутствии кроны. Длина талломов в кронах сосны на болоте и под пологом леса больше в 1,47 и 1,46 раз, масса в 1,29 и 1,42 раза соответственно, чем на сухостое. Размеры *U. hirta* связаны с их массой, коэффициент корреляции $r = +0,66$ для крон сосны на болоте, на сухостое $r = +0,71$.

Крона сосны на болоте имеет небольшую площадь, менее 8 м². В отличающихся экологических условиях сделаны сравнения размера и массы хвой сосны, прироста ветвей, массы почек. Определено содержание микроэлементов в почках и хвое сосны для оценки кормовых ресурсов птиц. В фоновых условиях в почках ивы козьей в 10,9 раз выше концентрации Cd, чем в почках сосны, в листьях ивы Cd выше, чем в хвое сосны, в 19,3 раза. В корме птиц фитофагов из листьев, ветвей, почек ивы более высокий Cd.

Список литературы

1. Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера. СПб.: Наука, 2001. 278 с. EDN: RRDFGB. ISBN 5-02-026154-8.
2. Катаева М.Н., Беляева А.И. Действие кроны березы на содержание микроэлементов в лишайнике *Bryoria fuscescens* в северо-западном регионе // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2024. № 10. С. 5–10. DOI: 10.17513/mjpf.13659. EDN: RHNZNS.
3. Hamalainen A., Runnel K., Mikusinski R., Himelbrant D., Fenton N.J., Lohmus P. Living trees and diversity // Boreal forests in the face of climate change. Advances in Global Change Research. 2023. Vol. 74. P. 145–166. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-15988-6_5 (дата обращения: 12.08.2025). DOI: 10.1007/978-3-031-15988-6_5.
4. Nirhamo A., Pykälä J., Jaaskelainen K., Kouki, J. Habitat associations of red-listed epiphytic lichens in Finland // Silva Fennica. 2023. Vol. 57 (1). 22 p. DOI: 10.14214/sf.22019.
5. Чхобадзе А.Б., Филиппов Д.А. Новые местонахождения редких видов лишайников Вологодской области // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2015. Т. 9. № 1. С. 121–131. EDN: TTMXIX.
6. Шихова Н.С. Эколого-геохимические особенности растительности южного Приморья и видоспецифичность арборифлоры в накоплении тяжелых металлов // Сибирский лесной журнал. 2017. № 6. С. 76–88. DOI: 10.15372/SJFS20170606.
7. Yelkenova B., Beisenova R., Tazitdinova R., Rakhymzhan Z., Karipbaeva N. Accumulation of Heavy Metals in the Needles of Scots Pine of the Semipalatinsk Pre-Irtysh Region and Burabay National Park // Journal of Environmental Management and Tourism. 2023. Vol. XIV, Is. 5 (69) P. 2242–2252. DOI: 10.14505/jemt.v14.5(69).06.
8. Gauslaa Y., Palmqvist K., Solhaug K.A., Holien H., Hilmo O., Nybakken L., Myhre L.C., and Ohlson M. Growth of epiphytic old forest lichens across climatic and successional gradients // Canadian Journal Forest Research. 2007. Vol. 37 (10). P. 1832–1845. DOI: 10.1139/X07-048.

9. Santaniello F., Djupstrom L., Ranius T., Weslien J., Rudolphi J., Thor G. Large proportion of wood dependent lichens in boreal pine forest are confined to old hard wood // *Biodiversity and conservation*. 2017. Vol. 26. P. 1295–1310. DOI: 10.1007/s10531-017-1301-4.
10. Kharpuksheva T.M., Mukhortova L.V. Dynamics of interaction between lichens and fallen deadwood in forest ecosystems of the eastern Baikal region // *Contemporary problems of ecology*. 2016. Vol. 9 (1). P. 125–139. DOI: 10.1134/S1995425516010066.
11. Spribille T., Thor G., Bunnell F.L., Goward T., Bjork C. Lichens on dead wood: species substrate relationships in the epiphytic lichen floras of Pacific North-West and Fennoscandia // *Ecography*. 2008. Vol. 31. P. 741–750. DOI: 10.1111/j.1600-0587.2008.05503.x.
12. Панченко Д.В., Данилов П.И., Тирронен К.Ф. Состояние и использование популяций представителей семейства Оленьи (Cervidae) в Республике Карелия // *Труды Карельского НЦ*. 2018. № 4. С. 105–114. DOI: 10.17076/them808. EDN: XWCHNJ.
13. Панченко Д.В., Данилов П.И., Тирронен К.Ф., Пасиваара А., Красовский Ю.А. Особенности распределения копытных млекопитающих в пределах Карельской части Зеленого пояса Фенноскандии // *Труды Карельского НЦ*. 2019. № 4. С. 119–128. DOI: 10.17076/them997. EDN: XCXHME.
14. Анненков В.Г. Материалы по питанию тетеревиных птиц в Карелии // *Русский орнитологический журнал*. 2022. Т. 31. 2-е изд. Экспресс выпуск. № 2222. С. 3808–3815. EDN: FGRLFQ.
15. Larison J.R., Likens G.E., Fitzpatrick J.W., Crock J.G. Cadmium toxicity among wildlife in the Colorado Rocky Mountains // *Nature*. 2000. Vol. 406. № 6792. P. 181–183. DOI: 10.1038/35018068.
16. Кочкарев П.В., Перевозчикова М.А., Сергеев А.А., Ширяев В.В., Пиминов В.Н. Токсичные и биогенные элементы в органах и тканях белой куропатки (*Lagopus lagopus* L., 1758) на севере Красноярского края (обзор) // *Теоретическая и прикладная экология*. 2024. № 3. С. 54–63. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-3-054-063.
17. Загурская Ю.В., Сиромля Т.И. Элементный химический состав *Populus tremula* в условиях техногенных экосистем Кузбасса // *Известия вузов. Лесной журнал*. 2025. № 3 (405). С. 107–120. DOI: 10.37482/0536-1036-2025-3-107-120. EDN: DXWYZH.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Работа выполнена по плановой теме НИР 2021–2025 гг. № 121032500047-1 «Растительность европейской части России и северной Азии: разнообразие, динамика и принципы организации».

Financing: The work was carried out according to the planned research topic for 2021–2025 No. 121032500047-1 “Vegetation of the European part of Russia and northern Asia: diversity, dynamics, and principles of organization”.