

УДК 574.472:582.29

**НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ  
В ЭПИФИТНОМ ЛИШАЙНИКЕ *HYPOGYMNINGIA PHYSODES*  
В СРЕДНЕТАЕЖНОМ СОСНЯКЕ**

**Катаева М.Н., Беляева А.И.**

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

Изучены концентрации микроэлементов в эпифитном лишайнике *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (Parmeliaceae) и его субстратах в лесных сообществах подзоны средней тайги на северо-востоке Ленинградской области. Содержание микроэлементов в лишайнике *H. physodes* изменяется в связи с влиянием крон форофитов, ели европейской, березы повислой, можжевельника и сосны. Содержание Mn в талломах лишайника на ветвях в кроне ели и на березе выше по сравнению с лишайниками на стволах сосны. Концентрации Mn в талломах лишайника в кронах молодых деревьев ели на живых ветвях до 1,9–4,4 раза выше, чем в кронах можжевельника и стволах сосны. Концентрации Zn в талломах лишайников на стволах березы в 1,5–2,0 раза более высокие по сравнению с местообитаниями на хвойных породах. По сравнению с хвоей ели, сосны и можжевельника, в *H. physodes* содержание микроэлементов выше (Cd в 6,4–11, Pb в 6,2–15, и Fe в 11,8–17 раз). В лишайнике выше концентрации Cd, чем в корке можжевельника, в 2,4 раза, и Cd гораздо выше в лишайнике, чем в сухих ветвях ели (в 4,4 раза). *H. physodes* накапливает больше тяжелых металлов, по сравнению с этими субстратами, с различиями Pb – 1,5–1,9, Fe 2,6–13 раза. В изученных фитоценозах в *H. physodes* определены низкие содержания тяжелых металлов.

**Ключевые слова:** эпифитные лишайники, средняя тайга, микроэлементы, *Hypogymnia physodes*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*

*Работа выполнена по плановой теме НИР 2021–2023 гг. № 121032500047-1 «Растительность европейской части России и северной Азии: разнообразие, динамика и принципы организации».*

**ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN EPIPHYTIC LICHEN  
*HYPOGYMNINGIA PHYSODES* IN PINE FOREST OF THE MIDDLE TAIGA**

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

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

Concentrations of microelements in epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (Parmeliaceae) and its substrates in the forest communities in the middle taiga subzone the North-East of the Leningrad Region have been studied. The content of chemical elements in lichen is changed under influence of phorophytes crowns, European spruce, silver birch, common juniper, and Scots pine. The lichen thalli growing on spruce branches and birch trunks contain higher concentration of Mn as compared to lichens on pine trunks. Concentration of Mn in lichen thalli on the living branches of young spruce crowns was higher up to 1.9–4.4 times than that in the juniper crown and on pine trunks. The content of Zn in lichen thalli on birch trunks was 1.5–2.0 times higher as compared to lichens in habitats on conifers. The concentration microelements in lichen *H. physodes* increases as compared to the needles of juniper, pine and spruce (Cd 6.4–to–11, Pb 6.2– to–15, and Fe 11.8– to–17 fold). The concentration of Cd in lichen higher to 2.4 fold than that in outer bark of juniper, and Cd is much higher in lichen (to 4.4 fold) than that of dry branches of spruce. *H. physodes* accumulates higher concentrations of metals than these substrates with differences: Pb – 1.5–to–1.9, Fe – 2.6–to–13 fold. In phytocenoses studied low concentrations of metals in *H. physodes* were found.

**Keywords:** epiphytic lichens, middle taiga, microelements, *Hypogymnia physodes*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*

*The work was carried out on the planned research topic for 2021–2023. № 121032500047-1 "Vegetation of the European part of Russia and northern Asia: diversity, dynamics and principles of organization".*

Лишайники – информативные и чувствительные объекты при исследованиях влияния промышленного загрязнения. В лесных фитоценозах в регионе северо-запада европейской части России сравнительно мало изучены уровень загрязнения и состояние эпифитных лишайников. Загрязнение тяжелыми металлами разных сред представляет собой результат антропогенной деятельности, такой как использование и переработка полезных ископаемых предприятиями цветной металлургии, химической промышленности, производство минеральных удобрений. Тяжелые металлы поступают в лес-

ные сообщества при осаждении аэрозолей, пыли, с осадками в растворенных соединениях, в том числе с дальним переносом выбросов. Промышленное загрязнение является лимитирующим фактором в распространении лишайников. Действие загрязнения как фактора внешней среды на состав лишайников более подробно изучено.

На лишайники влияют не только внешние ландшафтно-климатические условия, но и условия внутренней среды лесного сообщества. Как известно, атмосферные осадки переносят растворенные вещества, участвуют в минеральном обмене лесных

сообществ и в биогенных циклах элементов. При взаимодействии с кронами леса изменяется химический состав осадков. В них возрастает содержание органических веществ и неорганических ионов, изменяется кислотность. В пологе леса осадки задерживаются.

Известно, что для роста и развития лишайников важным условием является влагообмен с атмосферой и водный режим, фотосинтетическая активность, которые могут изменяться в разных типах леса. Ель европейская регулирует экологические факторы и способна к сильному преобразованию среды фитоценоза. Сообщества неоднородны по составу и строению. В среднетаежной подзоне древесный ярус лесных сообществ могут образовывать разные поколения. Представляет интерес изучение условий крон ели в зависимости от возраста, режима поступления и перераспределения осадков на состав эпифитных лишайников.

Возможность изучения влияния факторов среды и биотических условий на состав лишайников дает высокое разнообразие видов. В бассейне р. Свирь на северо-востоке Ленинградской области в ненарушенных лесных сообществах обнаружены редкие виды лишайников, получены данные по разнообразию видов [1–3]. Концентрации тяжелых металлов в лишайниках не установлены.

Техногенное влияние на леса на севере и северо-западе европейской части связано с поступлением кислых осадков и тяжелых металлов в твердой форме аэрозолей и в растворимой форме. Кислая реакция осадков способствует вымыванию химических элементов из хвои и листьев. При биоиндикации загрязнения тяжелыми металлами представляет интерес изучение содержания высокотоксичных Cd и Pb. В лишайниках на разных видах форофитов нужно оценить содержание Cd в связи со свойствами этого элемента, подвижности и токсичности при низких концентрациях и накопления биотой.

Известно, что более сложная возрастная и видовая структура древостоя лесного сообщества обуславливает большее видовое разнообразие лишайников. На березе возрастает число видов лишайников во влажных типах лесов. При типе кроны березы, собирающей осадки, интенсивный сток осадков по стволам может способствовать аккумуляции микроэлементов в лишайниках.

Цель исследования – определить содержание тяжелых металлов в эпифитном лишайнике *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., сем. Parmeliaceae, в кроне на ели европейской в условиях соснового кустарничково-зеленомошного леса в подзоне средней тайги.

## Материалы и методы исследования

Образцы эпифитного лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. собирали в двух сообществах: в сосняке кустарничково-зеленомошном, в дренированных условиях и в ельнике кустарничково-зеленомошном в июле – августе 2018 г. Район исследования – подзона средней тайги, северо-запад европейской части, в южной части Ладожско-Онежского перешейка, юго-восток побережья Ладожского озера, бассейн р. Свирь, северо-восток Ленинградской области, Лодейнопольский район. Высота над уровнем моря 24 м. Локальные источники атмосферного загрязнения в районе отсутствуют.

В сосняке кустарничково-зеленомошном древостой образован сосной обыкновенной *Pinus sylvestris* L., березой повислой *Betula pendula* Roth., елью *Picea abies* (L.) Karst. В подлеске – можжевельник обыкновенный, сосна, ель, береза. Возраст около 100–110 лет, без повреждения пожаром. В сосняке кустарничково-зеленомошном образцы эпифитных лишайников собирали непосредственно в кронах ели на живых охвоенных ветвях на высоте 1,30–1,50 м. В сосняке возраст ели определен по радиальным спилам оснований стволов. Ель – 70 и 35 лет, диаметр оснований стволов – 7,8–6,4 см, на 1,3 м – 6,0–4,4 см соответственно. Высота ели – 4,3 и 4,1 м. В сосняке лишайники собраны на гладкой корке стволов березы, диаметр на 1,3 м – 25–30 см. В ельнике кустарничково-зеленомошном в древесном ярусе – ель и береза с развитыми кронами.

Размер талломов *H. physodes* – 4–5 см. В местообитаниях лишайников собирали субстрат на двух-трех экземплярах вида форофита, пробы корки стволов и ветвей, листьев березы, хвои ели и можжевельника (текущего года и однолетней), сосны. На сосне образцы *H. physodes* и корку собирали с 20 деревьев, с диаметром стволов: на 1,3 м – 27 см, основания – 33 см. Диаметр стволов можжевельника – 2,9 и 11 см соответственно, h = 2,5 м. Образцы помещали в бумажные пакеты, сушили в лаборатории до воздушно-сухого веса, затем в термостате до постоянного веса (70 °C). Пробы озоляли при 450 °C в муфеле, золу растворяли при нагревании в 2N HCl, фильтровали через фильтр «синяя лента». Концентрации химических элементов определяли на АС Квант-АФА, Россия, в двух аналитических повторностях, с использованием государственных стандартных образцов. Данные обрабатывали в Microsoft Excel 2010.

Таблица 1

Средние концентрации металлов в лишайниках в сосняке и ельнике, мг/кг сухой массы

Тип	Ni	Cu	Cd	Pb	Fe	Mn	Zn
Сосняк кустарничково-зеленомошный, крона молодых деревьев ели, ветви							
Живые с хвоей 70 лет	2,3±0,02	3,2±0,01	0,383±0,01	6,3±0,03	470±27	1054±17	69±4
Живые 35 лет	2,2±0,18	3,5±0,05	0,344±0,01	4,9±0,46	420±38	629±50	57±10
Среднее, крона молодых деревьев ели 35–70 лет, ветви							
Живые ветви	2,3±0,04	3,4±0,16	0,363±0,03	5,6±0,95	446±45	842±301	63±8
Сосняк кустарничково-зеленомошный, крона можжевельника							
Живые ветви	2,2±0,01	3,3±0,3	0,496±0,01	4,6±0,70	378±32	431±255	48±9
Сосняк кустарничково-зеленомошный							
Сосна, ствол	0,9±0,10	3,0±0,08	0,332±0,02	2,2±0,10	189±13	191±5	48±2
Береза, ствол	1,4±0,31	3,3±0,22	0,581±0,04	5,3±0,73	197±30	925±150	96±2
Ельник кустарничково-зеленомошный, в кронах ели							
Сухие ветви	1,5±0,7	2,9±0,7	0,244±0,06	5,2±2,8	290±97	525±150	47±17
Живые ветви	1,9±0,02	3,9±0,01	0,386±0,01	4,70±0,1	301±7	735±5	51±8

### Результаты исследования и их обсуждение

Лишайник *H. physodes* заселяет свободный древесный субстрат одним из первых видов, что дает возможность оценить изменения концентраций в талломах на деревьях ели с установленным возрастом. Содержание химических элементов в лишайнике *H. physodes* изменяется на разных видах и типах субстратов. Концентрации Ni, Cu, Pb, Cd в лишайниках на разных форофитах, на живых охвоенных ветвях в кроне молодых деревьев ели довольно низкие, они являются фоновыми (табл. 1).

На живых ветвях ели с хвоей в талломах *H. physodes* в сосняке высокое содержание Mn – 842 мг/кг, что в 1,6 раза выше концентрации в лишайнике на сухих ветвях ели, 525 мг/кг. На живых ветвях в кроне ели, в сосняке и в ельнике, состав лишайника отличается мало. В особенности высокое содержание Mn (1054 мг/кг) в *H. physodes* на живых ветвях ели, в кроне молодой ели и на стволах березы сопоставимое количество – 735–925 мг/кг. На березе содержание Mn в талломе выше в 4,8 раза, чем на стволах сосны. Кроны березы в сосняке способствуют большему обогащению состава лишайника биогенными Mn и Zn. Концентрации Zn в *H. physodes* на стволах березы – 96 мг/кг, что в 2 и 1,5 раза выше,

по сравнению с содержанием на хвойных – 47–63 мг/кг. На видах хвойных и березе в *H. physodes* сильнее изменяются концентрации Mn и Zn, чем содержание более токсичных тяжелых металлов – Ni, Cu, Pb.

Более резкие изменения в составе лишайника обнаружены по содержанию биогенных элементов. По мере увеличения возраста ели, выше концентрации биогенного Mn, также Zn, и Cd, Fe, Pb (на 11–21%), что заметно и при небольшой выборке. На состав лишайника, вероятно, влияет возраст ели, прирост массы кроны, поступление осадков с большей поверхности хвои. Концентрация Mn в талломе выше на ели 70 лет.

На ствол сосны под кронами попадает относительно немного осадков, и сток по стволам более возрастает при сильных дождях. Слабое накопление микроэлементов в *H. physodes* на сосне связано с более сухими условиями, с вертикальным расположением местообитаний на стволах. Кроме этого, стволы сосны – это более освещенные местообитания. От действия светового стресса при интенсивном УФ-излучении в талломах лишайников защитную функцию выполняет пигмент меланин [4]. Механизмы эколого-физиологической адаптации лишайников направлены на максимальную фотосинтетическую активность компонентов. В благоприятных климатических условиях определены различия роста био-

массы талломов. Более интенсивный прирост обнаружен в благоприятных условиях у кустистых видов лишайников со светлой окраской талломов (*Usnea*, *Alectoria*), чем у вида более сухих местообитаний с темной окраской *Bryoria fuscescens* [5]. Экологическая приспособленность видов лишайников в сообществе оценивается на основе функциональных признаков. Морфологические особенности талломов лишайников тесно связаны с функциональными показателями, с водоудерживающей способностью талломов (WHC) и удельной массой (STM) [6].

Под полог леса к нижним ярусам поступают осадки, прошедшие сквозь кроны. В малонарушенных сообществах поступление Fe и Pb связано главным образом с выпадениями пыли, для Ni, Cu, Cd – более характерно в растворимой форме. При химическом анализе выявлено, что в лишайнике на живых ветвях в кроне ели и на сухих ветвях в нижней части кроны различается содержание Mn. Содержание микроэлементов в кронах ели на живых ветвях отличается меньше, чем на разных форофитах, березе и на ветвях ели. В кроне на ветвях ели в лишайнике содержание Mn сопоставимо с концентрацией на стволах березы. В двух сообществах концентрации Mn выше содержания Fe в *H. physodes* на всех видах форофитов (березе, ели, сосне), что обычно при влиянии древесного полога ненарушен-

ных лесов. Марганец – физиологически необходимый элемент в составе фотосинтезирующих организмов.

В листьях березы выше концентрации Zn, чем в корке стволов, сухих ветвях, хвое. Из разных типов субстратов лишайников – в растущей живой древесине ели, с низкой зольностью, самые низкие концентрации микроэлементов (следы Fe, Pb), по сравнению с хвоей, коркой можжевельника, сосны и корой живых ветвей ели (табл. 2).

Концентрация Cd в хвое ели текущего года – 1 год ниже. Низкие концентрации металлов в талломах лишайника (Ni, Cu, Cd, Pb) и субстрате характеризуют естественное состояние лесных сообществ. В лишайниках соседней территории южной Карелии не имеется современных оценок концентраций тяжелых металлов. Видовой состав лишайников изучен в заповеднике «Кивач». Содержание тяжелых металлов в *H. physodes* изучено на сосне [7], распределение осадков под кронами разных древесных пород [8].

Определяли состав и отличия сухой древесины как субстрата лишайников – видов факультативных и облигатных эпиксиллов. В растущей древесине ели обнаружены низкие концентрации металлов, кроме Mn. В сухих ветвях ели также низкое содержание, при этом в них выше Pb, 2,7 мг/кг, вероятно, из-за пылевого загрязнения (табл. 3).

Таблица 2

Концентрации металлов в листьях, хвое и субстрате лишайников в сосняке, мг/кг

Тип	Ni	Cu	Cd	Pb	Fe	Mn	Zn
Сосняк кустарничково-зеленомошный							
Береза							
Корка ствола	0,22±0,01	3,7±0,16	0,180±0,01	0,79±0,3	30±11	408±60	42±1
Листья березы	1,30±0,02	2,3±0,08	0,188±0,01	0,53±0,0	43±4	1825±100	106±9
Ель, хвоя текущего года – 1 год							
Хвоя	0,82±0,10	1,2±0,02	0,032±0,01	0,37±0,1	26±15	2450±300	30±9
Ель, побег текущего года – 1–2 года							
Побеги	1,4±0,2	5,9±0,2	0,263±0,10	2,5±0,2	35±5	775±10	73±5
Ель, живые ветви деревьев 35–70 лет							
Древе-сина	0,09±0,01	1,66±0,1	0,050±0,0	0,19±0,1	1±0,2	236±21	12±2
Кора ветвей	0,93±0,04	4,0±0,7	0,138±0,01	3,3±0,72	209±24	235±28	17±3
Можжевельник							
Хвоя	1,3±0,03	1,7±0,03	0,078±0,01	0,74±0,0	29±2	1380±70	15±1
Корка	1,5±0,4	3,6±0,2	0,204±0,05	3,0±1,3	143±64	390±80	22±4
Ветви сухие	0,25±0,2	1,6±0,4	0,050±0,01	0,81±0,7	6±0,5	36±10	3±0,2
Сосна							
Корка ствола	0,37±0,02	2,5±0,02	0,355±0,04	2,4±0,1	79±2	101±22	14±1
Хвоя, 1–2 лет	1±0,3	1,9±0,05	0,050±0,01	0,35±0	16±1	1050±20	34±2

Таблица 3

Концентрации металлов в хвое ели и субстрате лишайников в ельнике, мг/кг

Тип	Ni	Cu	Cd	Pb	Fe	Mn	Zn
Молодая ель, хвоя текущего года – 1 год							
Хвоя	1,5±0,04	1,5±0,01	0,019±0,01	0,40±0,1	14±0,1	640±14	17±1
Ель в 1 ярусе, нижняя часть кроны							
Сухие ветви	0,27±0,09	0,9±0,1	0,055±0,01	2,7±0,5	22±8	63±4	11±3
Хвоя ели, 1–2 года	0,80±0,10	1,2±0,10	0,020±0,01	<<	14±0,5	1440±90	31±1

Полог леса снижает интенсивность излучения, испарения, сглаживает колебания температуры воздуха и почвы, под ним образуются благоприятные условия микроклимата и атмосферного питания лишайников. Состав осадков под пологом леса связан с содержанием химических элементов в листьях и хвое, вымыванием и выщелачиванием из крон. Состав осадков под пологом леса изменяется. По сравнению с атмосферными осадками, под кронами древостоя в осадках особенно характерно вымывание Mn [8], и в осадках возрастают концентрации Zn, Ni, Cu [9].

Минеральный состав растений и их отдельных частей зависит от избирательной способности растений поглощать химические элементы [10]. В листьях березы более высокая зольность и более высокие концентрации микроэлементов, по сравнению с хвоей сосны и ели [10, 11]. Осадки и состав опада листьев березы обогащены микро- и макроэлементами, и при поступлении их в почву березовых лесов увеличивается запас элементов минерального питания. Береза отличается более быстрым разложением опада и большей скоростью оборота элементов биогенов, чем ель и сосна, на прирост березы потребляется значительное количество минеральных элементов [10]. Листья берез, хвоя сосны и ели накапливают Mn [10–12]. В фоновых условиях листья березы содержат высокие концентрации Mn, до 1600 мг/кг, листья березы пушистой – высокий Zn, 156 мг/кг [11]. Листья березы аккумулируют Cd интенсивнее, чем хвоя, – до 0,67 мг/кг [12]. Из листьев березы интенсивно вымываются макроэлементы, изменяется кислотность.

Древесный ярус влияет на концентрацию ионов в составе осадков под кронами [8, 9]. Состав эпифитных лишайников в значительной степени зависит от вида форофита, на березе он в определенной степени зависит от концентраций в листьях. В составе подкрупных осадков березы в среднетаежных лесах более высокое содержание водо-

растворимых форм Zn и Mn [8]. По сравнению с атмосферными осадками, под кронами молодых лиственных лесов выше концентрация Mn, Zn, Ni, Cu [9].

В фитоценозе дождевые и снеговые осадки распределяются в зависимости от типа кроны древесных пород и их возраста. Крона березы представляет тип кроны, собирающей осадки. Для березы характерен интенсивный стволовой сток. Осадки распределяются в кроне, часть из них фильтруется через листья и ветви в кроне, более концентрированные осадки со стоком по стволам поступают к почве. На березе *H. physodes* содержит более высокую концентрацию Zn, 96 мг/кг, что в 1,4–2,0 раза выше, чем в этом лишайнике на видах хвойных – стволах сосны, разных типах ветвей ели и в кроне можжевельника. Содержание Zn ниже в коре ветвей и хвое ели (17–30 мг/кг), можжевельника. Под пологом соснового леса на стволах березы повислой в лишайнике более высокий уровень Mn, чем на хвойных (в 1,1–4,8 раза). В лишайнике на березе в 1,2–2,4 раза выше содержание Cd – 0,581 мг/кг. Вероятно, накопление этих элементов происходит при интенсивном стоке осадков по стволам березы. Более высокое содержание Zn, Mn, также Cd в лишайнике на березе соответствует составу листьев. В листьях берез в Карелии фоновые концентрации Cd – 0,67 мг/кг [12]. В листьях березы изученного сосняка концентрации Cd немного ниже (0,188 мг/кг). Содержание Cd в листьях березы в 2,4–5,9 раза выше низких концентраций в хвое ели и можжевельника в сосняке – 0,032–0,078 мг/кг. По сравнению с листьями березы, в *H. physodes* Cd в 3,1 раза выше, и в 6,4–11,3 раза выше – хвои можжевельника, сосны и ели. Крона березы способствует концентрированию Cd с осадками из пыли, вымыванию из листьев, стоку по стволам.

Листья березы содержат более высокие концентрации Mn, 1825 мг/кг, что выше содержания в лишайнике *H. physodes* в 1,97 раза. Листья березы накапливают

на 10% более высокие концентрации Zn – 106 мг/кг, относительно лишайника, 96 мг/кг. По сравнению с листьями *H. physodes* на стволах березы в большей степени накапливает Pb (в 10 раз выше), Cd (в 3 раза), Fe (в 4,5 раза). По сравнению с коркой стволов березы, в лишайнике выше содержание Cd в 3,2 раза, Pb – в 6,7, и Fe – в 6,6 раза.

Как показатель условий в местообитаниях лишайников можно рассматривать состав коры и побегов ели, с этих частей кроны также поступают осадки, не только с поверхности хвои. Микроэлементы в побегах ели содержатся на сравнимом уровне с хвоей. Накопление Mn в побеге ели – 775 мг/кг, что сопоставимо с содержанием в хвое молодой ели. В побеге, коре ветвей ели и сосны содержится больше Pb (2,4–3,3 мг/кг), также Fe. В остальных субстратах в местообитаниях концентрации Pb низкие, <1 мг/кг.

Эпифитные лишайники часто лучше развиты на сухих и засыхающих деревьях. Обилие лишайников часто увеличивается на сухой древесине с более сильной вододерживающей способностью. Фитомасса хвои ели в 2,24 раза выше – 17,3 ц/га, чем масса эпифитных лишайников в низкобонитетном ельнике зеленомошнике северной тайги Архангельской области – 7,7 ц/га [10], или 1,3 и 0,58% надземной фитомассы.

Кроны хвойных пород влияют на микроэлементный состав лишайников. Концентрация Mn в хвое ели выше, чем в лишайнике, до 2,9 раза, в хвое можжевельника – в 3,2 раза. С высоким содержанием Mn в хвое согласуется состав на ветвях в кроне ели. В кронах ели и на стволах березы лишайник содержит сравнимое количество Mn, 735–925 мг/кг. Хвоя слабее накапливает металлы по сравнению с лишайником. В *H. physodes* в 2,7–2,8 раза выше содержание Ni и Cu, чем в хвое ели, и до 2 раз оно выше хвои можжевельника (1,7–1,9). По сравнению с хвоей можжевельника, ели, сосны *H. physodes* сильнее накапливает Cd (6,4–11,3 раза), Pb (6,2–15 раз), Fe (11,8–17 раз). Напротив, в хвое этих видов концентрация Mn выше уровня в лишайнике в 3,2–5,5 раза.

Параметры среды внутри кроны деревьев отличаются от открытого пространства. Прямые метеонаблюдения показали, что при повышенной инсоляции в кроне старого можжевельника *Juniperus excelsa* образуются благоприятные условия фитолимата, днем выше относительная влажность (до 15%), ниже температура (до 8%) [13]. Крона задерживает осадки. В кроне можжевельника в сосняке в *H. physodes* накапливаются Mn, Fe, Pb, Cd, Ni, выше концентрации Cd в 2,4, Pb в 1,5, Fe в 2,6 раза, чем в его корке.

На содержание элементов в лишайниках влияет распределение осадков с более интенсивным поступлением осадков под краями кроны. Концентрации Fe выше на субгоризонтальных поверхностях живых ветвей ели в *H. physodes*, до 446 мг/кг, на сухих до 290 мг/кг, относительно стволов березы и сосны, не более 200 мг/кг.

Содержание микроэлементов в *H. physodes* – самое низкое на стволах сосны в одном типе фитоценоза, в особенности Ni, Cu, Mn, чем на других видах хвойных. На стволах сосны более сухие местообитания лишайников. Накопление Fe и Ni в лишайнике в 2,4 раза выше, чем в корке сосны, по другим элементам это соотношение близко к 1.

На разных форофитах по сравнению с сосной, концентрации в *H. physodes* изменяются: Ni в 1,56–2,44 раза, по Cu в 1,1–1,12 раза, Cd – 1,09–1,75, Pb – 2,1–2,6, Mn – 2,3–4,8, Fe – 1,04–2,36, Zn – 1,0–2,0 раза (табл. 1). В лишайнике – фоновые концентрации элементов, на разных видах форофитов: Ni – 0,9–2,3, Cu – 2,9–3,9 и Pb – 2,2–6,3 мг/кг. В лишайнике Cd не выше фонового [14]. Слабое накопление тяжелых металлов Pb и Cd в хвое и листьях древесных пород связано с механизмами их поглощения. В фоновых условиях лишайники интенсивнее накапливают тяжелые металлы, чем хвоя (1–2 лет), побеги, листья березы, корка. Хвоя разных видов содержит низкие концентрации Cd – всего 8,8–15,7, Pb 6,6–16,1% состава *H. physodes*. Лишайники дают оценку атмосферного загрязнения за длительное время. В этом районе возможно увеличение выбросов производства минеральных удобрений, его влияния на сообщества. При определении фоновых концентраций в лишайниках нужно учитывать вид форофита и местообитание.

#### Заключение

Показано влияние древесных пород на биоаккумуляцию тяжелых металлов в лишайнике в сосняке и ельнике средней тайги. Определены концентрации микроэлементов в лишайнике *H. physodes* и их изменение под влиянием кроны форофитов, можжевельника обыкновенного, ели европейской, сосны и березы. В составе лишайника сильнее накапливаются Cd, Pb, Fe, Ni, Cu, чем в листьях березы, хвое ели, сосны и можжевельника. На разных форофитах в лишайнике более резко различается концентрация Mn, Zn. Под влиянием кроны березы *H. physodes* накапливает Zn в 1,4–2,0 раза больше, чем в местообитаниях на живых ветвях ели, можжевельника и сосны. Самое низкое накопление микроэ-

лементов в лишайнике *H. physodes* на стволах сосны. В лишайнике и субстратах определены фоновые концентрации тяжелых металлов.

*Авторы благодарят канд. биол. наук научного сотрудника П.Н. Катютину, БИН РАН, за определение возраста ели.*

### Список литературы

1. Сорокина И.А., Степанчикова И.С., Гимельбрант Д.Е., Ликсакова Н.С., Спирин 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. Сорокина И.А., Степанчикова И.С., Ефимов П.Г., Гимельбрант Д.Е., Спирин В.А., Кушневская Е.В. Краткие очерки восьми предлагаемых ООПТ Ленинградской области // Ботанический журнал. 2013. Т. 98, № 2. С. 233–254.
3. Сорокина И.А., Ликсакова Н.С., Ефимов П.Г. Флора проектируемого заказника «Ивинский разлив» (Ленинградская область, Подпорожский район): состав, структура, охраняемые объекты // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2018. XII (2). С. 96–127.
4. Рассабина А.Е., Гурьянов О.П., Бекетт Р.П., Минибаева Ф.В. Меланин лишайников *Cetraria islandica* и *Pseudovernia furfuracea*: особенности строения и физико-химические свойства // Биохимия. 2020. Т. 85, № 5. С. 729–735.
5. Phinney N.H., Gauslaa Y., Palmquist K., Essen P.-A. Macroclimat drives growth of hair lichens in boreal forest canopy // Journal of Ecology. 2021. Vol. 109. P. 478–490.
6. Wan S., Ellis C.J. Are lichen growth form categories supported by continuous functional traits: water-holding capacity and specific thallus mass? // Edinburgh Journal of Botany. 2020. Is. 77 (1). P. 65–76.
7. Дьяконов В.В., Козлов В.А., Коржицкая З.А. Оценка загрязнения тяжелыми металлами и серой лесных экосистем Республики Карелия // Проблемы антропогенной трансформации лесных биогеоценозов Карелии. 1996. Петрозаводск. С. 167–182.
8. Шильцова Г.В., Ласточкина В.Г. Влияние полога соснового и березового леса на химический состав осадков в заповеднике «Кивач» // Труды Карельского научного центра РАН. 2006. № 10. С. 180–184.
9. Пристова Т.А. Химический состав атмосферных осадков, подкрановых и поверхностных вод в среднетаежных лиственных насаждениях послерубочного происхождения // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 63–69.
10. Бобкова К.С., Смоленцева Н.Л., Тужилкина В.В., Артемов В.А. Кружоворот азота и зольных элементов в сосново-еловом насаждении средней тайги // Лесоведение. 1982. № 5. С. 3–11.
11. 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.
12. 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.
13. Корсакова С.П., Ильницкий О.А., Паштецкий А.В. Особенности формирования фитолимата внутри крон *Quercus pubescens* Willd. и *Juniperus excelsa* Bieb. // Биоразнообразие, подходы к изучению и сохранению. Материалы Международной конференции к 100-летию кафедры ботаники ТвГУ. Тверь, 2017. С. 179–182.
14. 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.