

СТАТЬИ

УДК 574.472:582.29

**НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В ЭПИФИТНОМ ЛИШАЙНИКЕ *HYPOGYMNINGIA PHYSODES*
В МИКРОМЕСТООБИТАНИЯХ НА БЕРЕЗЕ И РЯБИНЕ
В ХВОЙНЫХ ЛЕСАХ**

Катаева М.Н., Беляева А.И.

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

Изучены концентрации микроэлементов в эпифитных лишайниках и их субстратах в болотных и лесных сообществах подзоны средней тайги на северо-востоке Ленинградской области. Определено содержание химических элементов в эпифитном лишайнике *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (Parmeliaceae). Изучено содержание тяжелых металлов в *H. physodes* в связи с влиянием кроны березы пушистой в разных микроместообитаниях, на стволах и ветвях березы в сообществе ельника кустарничково-сфагнового. Выявлено влияние кроны березы пушистой на накопление микроэлементов в лишайнике. На стволах молодых деревьев березы пушистой на краю болота в талломах лишайника до 2,50 раз ниже концентрации Mn по сравнению с березой и рябиной в подлеске под пологом леса. Лишайник на молодых деревьях березы пушистой при слабом влиянии крон накапливает меньше Mn, по сравнению с местообитанием на березе повислой под пологом сосняка. Концентрации Zn в талломах лишайников на стволах березы в 1,73 раза более высокие по сравнению со стволами рябины. По сравнению с листьями березы пушистой и повислой, в лишайнике *H. physodes* на стволах и ветвях березы содержание микроэлементов выше – Pb в 3,2–9,3 раза, Cd в 1,57–2,54 раз, Fe в 5,9–13 раз. В лишайниках и субстратах обнаружены низкие содержания тяжелых металлов, характеризующие отсутствие техногенного загрязнения в юго-восточном Приладожье.

Ключевые слова: эпифитные лишайники, средняя тайга, микроэлементы, *Hypogymnia physodes*, *Betula pubescens*, рябина

**ACCUMULATION OF HEAVY METALS
IN EPIPHYTIC LICHEN *HYPOGYMNINGIA PHYSODES* IN MICROHABITATS
ON BIRCH AND MOUNTAIN ASH IN CONIFEROUS FORESTS**

Kataeva M.N., Belyaeva A.I.

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

Concentrations of microelements in lichens and substrates in mire and forest communities in the middle taiga subzone the North-East of the Leningrad Region were studied. The content of chemical elements in epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (Parmeliaceae) was determined. The content of heavy metals in *H. physodes* was studied in connection with the influence of pubescent birch crown in different microhabitats on trunks and branches in the dwarf-shrub-sphagnum Norway spruce forest. The influence of crown of pubescent birch on the accumulation of microelements in lichens was established. Lichen thalli on the trunks of young pubescent birch trees on the margin of mire differ from birch and rowan trunks in the undergrowth under forest canopy by concentration of Mn which is lower up to 2,50 times. Lichen on young trees of pubescent birch with weak influence of crowns accumulates less Mn compared to habitat on silver birch under canopy of pine forest. The content of Zn in lichen thalli on birch trunks is 1,73 times higher compared to lichens on rowan trunks. The content of microelements in lichen *H. physodes* on trunks and branches of birch is higher (Pb by 3,2–9,3 times, Cd 1,57–2,54 times, Fe 5,9–13 times) than in leaves of pubescent birch and silver birch. Concentrations of heavy metals in lichens and substrates that were found are reflected the absence of technogenic pollution of the South-Eastern Ladoga region.

Keywords: epiphytic lichens, middle taiga, microelements, *Hypogymnia physodes*, *Betula pubescens*, rowan

В регионе северо-запада европейской части России мало данных по содержанию микроэлементов в эпифитных лишайниках. В сопоставлении с соседними районами не установлен уровень загрязнения лишайников и не выявлены фоновые концентрации тяжелых металлов на разных видах форофитов. Особенностью территории южного берега Ладожского озера является широкое распространение болот в комплексе с лесами. В перспективных охраняемых лесных территориях около Ладоги отмечено высокое разнообразие видов лишайников [1, 2]. В южной части Ладожско-Онежского перешейка в лесных сообществах распростра-

нены береза повислая *Betula pendula* Roth. и береза пушистая *B. pubescens* Ehrh. Береза повислая предпочитает более сухие и светлые местообитания, береза пушистая – более сырые местообитания, окраины болот.

В среднетаежной подзоне широко распространены лесные сообщества, в которых древесный ярус образован двумя-тремя видами. По сравнению с другими форофитами, содержание микроэлементов в лишайниках на березе менее изучено. Биологические особенности березы как древесной породы могут определять отличия в биоаккумуляции тяжелых металлов в лишайниках. Береза имеет собирающий тип кроны,

с интенсивным стоком осадков по стволам, что может способствовать обогащению микроэлементного состава лишайников. Влияние сомкнутого древостоя формирует в пространстве крон градиенты влажности и температуры. Развитая крона деревьев сосны рассеивает атмосферные осадки.

Роль пород древесного яруса как эдификатора в условиях заболоченных лесов и болот снижена. Известно, что для роста и развития лишайников важными условиями являются влагообмен с атмосферой, освещенность местообитаний. Под пологом лесного сообщества образуется влажный микроклимат, который благоприятен для развития лишайников. В заболоченных сообществах и на болотах с разреженным древесным ярусом на эпифитные лишайники действуют такие экологические факторы, как высокая относительная влажность воздуха и интенсивная освещенность. Градиент влажности, обычный под пологом леса, изменяется. Для болот характерен особый микроклимат и высокая влажность воздуха. В открытых сильно освещенных местообитаниях болот при отсутствии влияния полога леса на древесном субстрате разнообразие лишайников снижается.

Исследование проводилось для выявления влияния экологических условий полога соснового леса и кроны березы на накопление тяжелых металлов в эпифитных лишайниках в различных микроместообитаниях, по сравнению с условиями роста на молодых деревьях березы пушистой в ельнике кустарничково-сфагновом. Лишайники, растущие на древесных породах в подлеске, находятся под влиянием осадков, прошедших через кроны древостоя. В дренированных лесах в подлеске обычный вид листовых пород – рябина обыкновенная, содержание микроэлементов в лишайниках на рябине ранее не было изучено. Представляет интерес определение накопления кадмия в лишайнике на березе.

Цель исследования – определить содержание тяжелых металлов в виде *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., сем. Parmeliaceae, растущем на березе, по сравнению с рябиной в ярусе подлеска сосняка, в гидроморфных и дренированных условиях в среднетаежной подзоне.

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-сфагновом, краевая часть болота в июле–августе 2018–2019 гг. Район исследования – подзона сред-

ней 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. Над уровнем моря высота 24–26 м. Локальные источники атмосферного загрязнения в районе отсутствуют.

В сосняке кустарничково-зеленомошном древостой образует сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* L., встречается береза повислая *Betula pendula* Roth. В древесном ярусе и подлеске – рябина *Sorbus aucuparia* L., можжевельник, ольха, сосна. Возраст сообщества около 90–110 лет, пожаром не повреждено. В редкостойном ельнике кустарничково-сфагновом при интенсивном освещении эпифитные лишайники поселяются под кронами тонких берез на стволиках и ветвях, в кронах ели. На краю болота лишайник собирали в разных микроместообитаниях на стволиках и ветвях березы пушистой. Возраст низкорослой ели европейской (2,0–2,2 м) в ельнике кустарничково-сфагновом – 95 лет, определен по радиальным спилам основания стволов. При этом диаметр стволов ели при основании очень небольшой, всего 3,8–4,0 см. На высоте 1,3 м диаметр ствола ели 2,54 см. Возраст березы пушистой – 31 год, диаметр оснований стволов – 6,0–6,3 см. Высота березы 2,5–3,0 м.

В сосняке лишайники собраны на стволах березы повислой (диаметр 18–25 см) и на молодых невысоких рябинах (высота 1,5–2 м, диаметр стволика на 1,3 м 1,0–1,4 см). В ельнике кустарничково-сфагновом лишайники собирали на березе пушистой в двух типах микроместообитаний, на ветвях с диаметром 0,5 см толщины и на гладкой корке стволов. Высота сбора проб лишайников и корки стволов 1,3 м.

Размер талломов *H. physodes* – 4–5 см. Образцы собирали на двух-трех деревьях вида форофита. В местообитаниях лишайников также собирали субстрат, пробы корки стволов и листья березы. Образцы лишайников складывали в бумажные пакеты, высушивали в лаборатории до воздушно-сухого веса, сушили в термостате (40 °С). Пробы озоляли при 450 °С в муфеле, золу растворяли при нагревании в 2 N HCl, фильтровали через фильтр «синяя лента». Концентрации химических элементов определяли на ААС Квант-АФА, Россия, в двух аналитических повторностях. Данные обрабатывали в Microsoft Excel 2010.

Результаты исследования и их обсуждение

В лесных сообществах лишайник *Hypogymnia physodes* – обычный вид с широкой

экологической амплитудой на разных видах форофитов. На болотах деревья из-за недостатка питания и неблагоприятного водного режима низкорослые. На болотах лишайники осваивают ветви в низко расположенных кронах деревьев [3]. Особенность роста лишайников на болотах с влажным микроклиматом – это отсутствие выраженных зон развития по вертикали, обычных в дренированных лесах. В разреженном ельнике кустарничково-сфагновом лишайники, включая кустистые виды р. *Bryoria*, растут на ветвях и стволах берез, при затенении, начиная с нижней части стволов на высоте 30–50 см.

При анализе в лишайниках на стволах и ветвях березы в ельнике кустарничково-сфагновом обнаружены довольно низкие концентрации металлов – Ni, Cu, Pb, Cd (табл. 1).

Под пологом сосняка к ярусу подлеска поступают обогащенные микроэлементами осадки, прошедшие сквозь кроны верхнего яруса. Тяжелые металлы в талломах *H. physodes* содержатся в низких концентрациях, что свидетельствует об отсутствии техногенного влияния на сообщество. Под пологом леса и разных видах форофитов в *H. physodes* менее сильно изменяются концентрации других микроэлементов по сравнению с Zn и Mn. Концентрации Zn в *H. physodes* на ветвях и стволах березы – 82,2–82,7 мг/кг соответственно. Лишайники на стволах и ветвях березы пушистой в ельнике кустарничково-сфагновом накапливают Zn. Следует отметить, что содержание Mn в *H. physodes* на березе пушистой в двух микроместообитаниях выше содержания Fe или сопоставимое. На стволах и ветвях березы в лишайнике *H. physodes* содержание Mn – 306–358 мг/кг, что выше, чем на коротких (30–80 см) живых и сухих ветвях в слаборазвитой кроне низкорослой ели, 193 мг/кг [4]. Высокое содержание Zn на березах

в *H. physodes* под пологом дренированного сосняка и в ельнике кустарничково-сфагновом слабо различается. Под пологом сосняка *H. physodes* на березе и рябине содержит до 2,50 раз больше Mn (819–831 мг/кг). Под пологом леса Mn и Zn – обычные биогенные элементы в составе осадков. Кроны низкорослой березы пушистой в ельнике на краю болота способствуют обогащению состава лишайника. Состав лишайника в ельнике отличается при небольшой кроне и молодом возрасте березы, 31 год.

Два вида берез довольно хорошо отличаются по форме кроны, наличию трещин с темной корой на стволах березы повислой, опушению побегов березы пушистой. Листья березы обычно накапливают довольно высокие концентрации Zn, 156 мг/кг и, как многие древесные породы тайги, высокие концентрации Mn [5–7]. Лишайники на березе накапливают Zn. На березе пушистой лишайник *H. physodes* содержит концентрацию Zn в 1,73 раза выше, чем на рябине под пологом сосняка, 47,6 мг/кг. Под пологом леса в подлеске на рябине и стволах березы повислой лишайник накапливает Mn больше, чем на молодых деревьях березы пушистой на краю болота. Кроме этого, в лишайнике на стволах березы пушистой из-за стока осадков содержание Cd (0,460 мг/кг), несколько выше.

Древесная растительность влияет на концентрацию ионов в составе осадков под кронами [8, 9]. В лесном сообществе различается интенсивность смыва и растворения веществ в кронах разных форофитов. В кроне деревьев осадки частично стекают по стволам, часть проходит сквозь ветви и листья. Состав осадков, стекающих по коре стволов деревьев, обогащается дольше, в большей степени, чем при поступлении сквозь листья кроны. Минеральные элементы вымываются из крон березы с дождевыми осадками.

Таблица 1

Средние концентрации металлов в лишайниках на березе в разных микроместообитаниях ельника и под пологом сосняка, мг/кг сухой массы

Субстрат	Ni	Cu	Cd	Pb	Fe	Mn	Zn
<i>Ельник кустарничково-сфагновый, береза пушистая</i>							
Ствол березы 1,3 м	1,22±0,54	3,74±0,14	0,460±0,12	5,15±1,2	308±25	306±51	82,7±7
Ветви березы 1,3–1,5 м	1,23±0,46	3,40±0,44	0,361±0,01	4,54±0,7	333±26	358±81	82,2±18
Средние на березе	1,23±0,01	3,57±0,54	0,410±0,07	4,85±0,4	320±18	332±37	82,5±1
<i>Сосняк кустарничково-зеленомошный, под кронами</i>							
Ствол березы повислой	1,11±0,22	2,99±0,24	0,457±0,23	4,96±1,2	190±11	819±6	79,0±6
Ствол и ветви рябины	1,40±0,67	3,28±0,49	0,437±0,01	5,11±0,7	304±96	831±91	47,6±9

В составе подкроновых осадков березы в лесах средней тайги выявлено возрастание поступления водорастворимых форм Zn и Mn [8]. В составе осадков под кронами молодых лиственных лесов возрастает концентрация Mn, Zn, Ni, Cu по сравнению с атмосферными осадками [9]. Состав осадков под пологом леса связан с содержанием химических элементов в листьях и хвое, вымыванием и выщелачиванием из древесной растительности. Листья берез, хвоя сосны и ели интенсивно накапливают Mn [5, 6]. В фоновых условиях листья березы содержат высокие концентрации Mn, до 1600 мг/кг, Zn, до 156 мг/кг [5, 6]. Листья березы в фоновых условиях Карелии более интенсивно, чем хвоя, накапливают Cd – 0,67 мг/кг [7]. В листьях березы более высокая зольность и более высокие концентрации микроэлементов, по сравнению с хвоей сосны и ели [5, 6].

Строение кроны березы, в которой ветви прикреплены под острым углом к стволу, способствует интенсивному стоку по стволам. Крона березы – собирающая осадки. Осадки, стекающие по стволам и проходящие через кроны березы, обогащаются минеральными элементами, которые накапливаются в лишайниках. Состав лишайников на стволах березы, с повышением в них концентраций Zn и Mn, а также Cd, соответствует особенностям листьев.

На лишайники влияют экологические условия внутри лесного сообщества. Состав лишайников в связи с влиянием естественных факторов среды, видов форофитов менее изучен, чем при промышленном загрязнении и в городской среде.

Химический состав эпифитных лишайников с их атмосферным способом питания связан с составом осадков. В промышленных выбросах тяжелые металлы поступают в фитоценозы при осаждении аэрозолей, пыли, также в виде растворенных соединений со снеговыми и дождевыми осадками. Тяжелые металлы могут быть обнаружены в лесных сообществах далеко от источни-

ков выбросов. Типичное техногенное влияние на леса в западноевропейских странах, на севере европейской части – поступление кислых осадков с высокими концентрациями тяжелых металлов в растворимой и твердой форме аэрозолей.

Древесный полог снижает интенсивность испарения, колебания температуры воздуха и почвы. Смешанный состав лесных сообществ способствует сохранению теплового баланса. При прохождении осадков через полог леса возрастает доля растворимой, геохимически активной части тяжелых металлов. Кадмий и Pb – одни из наиболее опасных металлов, загрязняющих экосистемы с дальним переносом выбросов. Кадмий при низких концентрациях высокотоксичный элемент, подвижен в водной и газовой фазе, способен к вторичному накоплению. При поступлении элементов в таллом лишайников и накоплении тяжелых металлов главный механизм – катионообменные свойства клеточных стенок [10].

В лишайнике выше содержание микроэлементов по сравнению с коркой березы (табл. 2).

Корка более молодых деревьев березы (береста) отличается большей влажностью [11], что может отчасти способствовать поселению лишайников. Концентрации микроэлементов в корке и листьях березы низкие, находятся в пределах естественных фоновых значений при отсутствии влияния загрязнения. В листьях березы пушистой по сравнению с *H. physodes* содержатся гораздо более высокие концентрации Mn, 1035 мг/кг, что выше, чем в лишайнике, в 1,26–3,11 раза. Концентрации Zn в листьях 105–175 мг/кг, выше до 1,33–2,12 раза. По сравнению с листьями берез пушистой и повислой, в лишайнике *H. physodes* на стволах и ветвях березы накапливается больше Pb (в 3,2–9,3 раза), Cd (в 1,57–2,54 раза), Fe (в 5,9–13 раза). В краевой части болота в лишайнике также выше Ni и Cu (2,2 раза). В лишайнике в фоновых условиях концентрация Cd в 4,15–4,56 раз, Pb в 14–16 раз выше, чем в корке ствола березы.

Таблица 2

Концентрации металлов в субстрате лишайников корке ствола и листьях березы, мг/кг

Субстрат	Ni	Cu	Cd	Pb	Fe	Mn	Zn
<i>Ельник кустарничково-сфагновый, береза пушистая</i>							
Корка стволиков	0,14±0,01	2,44±0,08	0,090±0,03	0,30±0,02	6,82±0,1	228±37	37,9±8
Листья березы	0,23±0,01	1,62±0,11	0,261±0,03	1,50±0,05	24,6±0,1	1035±17	175±18
<i>Сосняк кустарничково-зеленомошный, береза повислая</i>							
Корка стволов	0,17±0,01	2,80±0,45	0,110±0,07	0,35±0,35	7,20±0,1	244±7	38,0±0,40
Листья березы	2,35±1,40	2,79±0,07	0,180±0,01	0,53±0,02	32,0±2	1927±65	105±30

Сравнение накопления микроэлементов в эпифитном лишайнике на разных видах форофитов и в разных экологических условиях показало следующее. В лишайниках в микроместообитаниях на стволах березы пушистой на краю болота в ельнике содержание Cd, 0,460 мг/кг, выше на 27%, чем на ветвях. Это, по-видимому, связано с влиянием питания лишайников на стволах березы обогащенным микроэлементами стоком, вымыванием Cd из листьев кроны березы, собирающей осадки. В листьях берез в Карелии фоновые концентрации Cd – 0,67 мг/кг [7]. По-видимому, поступление Cd в лишайники с осадками на стволах березы происходит как за счет концентрирования собирающим типом кроны березы с осадками из пылевых фракций воздуха, так и со стоком по стволам при вымывании из листьев. Концентрация Cd в лишайнике на рябине в подлеске низкая (0,437 мг/кг). Содержание Cd и Pb в лишайниках в ельнике не выше фоновых концентраций [10, 12]. Накопление Pb в *H. physodes* на обоих видах берез близкое – 4,85–4,96 мг/кг и слабо отличается на рябине. Не обнаружено загрязнения лишайников тяжелыми металлами.

В подкروновых осадках, прошедших древесный полог, концентрации ионов увеличиваются, из листьев выщелачивается Mn, в зависимости от возраста леса [9, 13]. В лишайнике под пологом соснового леса заметно повышение содержания Mn по сравнению с открытыми местообитаниями края болота с отсутствием древесного полога.

В заповеднике «Кивач» изучен видовой состав лишайников. Установлены концентрации тяжелых металлов в *H. physodes* [12]. Нужны данные о влиянии загрязнения на лишайники в юго-восточном Приладожье. В бассейне р. Свирь на северо-востоке области в заболоченных лесах отмечен значительный возраст деревьев ели (150 лет) и видовое разнообразие лишайников [1, 2]. При сохранении видového разнообразия лишайников сфагновые ельники представляют ценный тип сообществ. Во влажных, заболоченных ельниках, в которых береза встречается в виде примеси в древостое, на березе возрастает число видов лишайников [14]. Лишайники способствуют увеличению запаса микроэлементов в лесах, но их масса незначительная. В ельнике 230-летнего возраста опад эпифитов 4,3 г/м² в год [15]. В разреженном ельнике поступление тяжелых металлов в большей степени определяется атмосферными источниками, кроны молодых берез влияют на микроэлементный состав лишайников слабо.

Заключение

Получены новые данные концентраций тяжелых металлов в эпифитном лишайнике *H. physodes* под пологом сосняка на стволах рябины и в микроместообитаниях на стволах и ветвях березы пушистой. В *H. physodes* и корке березы выявлены естественные фоновые концентрации микроэлементов, их можно применять для оценки степени загрязнения. В разных экологических условиях сообществ в связи с влиянием полога леса и возраста березы в лишайниках более резко различается содержание Mn. На стволах молодых деревьев березы пушистой на краю болота в лишайнике до 2,50 раз ниже концентрации Mn, чем под пологом леса. Под влиянием форофитов – двух видов березы в *H. physodes* накапливается Zn. Содержание Zn в *H. physodes* на стволах березы выше в 1,66–1,73 раза, по сравнению с рябиной. В лишайнике концентрация микроэлементов выше, чем в листьях березы и корке стволов. Влияние форофита на лишайники нужно учитывать при биоиндикации загрязнения.

Работа выполнена по плановой теме НИР 2021–2023гг. № 121032500047-1 «Растительность европейской части России и северной Азии: разнообразие, динамика и принципы организации». Авторы благодарят канд. биол. наук н.с. П.Н. Катютину, БИН РАН, за определение возраста деревьев березы и 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. 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. Толпышева Т.Ю. Элементы структуры сообществ эпифитных лишайников олиготрофных болот Среднего Приобья (Западная Сибирь) // Вестник Московского университета. 2004. Сер. 16. Биология. № 4. С. 42–46.
4. Катаева М.Н., Беляева А.И. Содержание тяжелых металлов в эпифитных лишайниках лесных и болотных фитоценозов средней тайги // Вестник Тверского государственного университета. Серия: биология и экология. 2021. Т. 64. № 4. С. 164–169.
5. 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.
6. Сухарева Т.А. Элементный состав листьев древесных растений в условиях техногенного загрязнения // Химия в интересах устойчивого развития. 2012. № 20. С. 369–376.
7. 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 Российской академии наук. 2015. № 1. С. 86–94.

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, подкroновых и поверхностных вод в среднетаежных лиственных насаждениях послерубочного происхождения // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 63–69.

10. 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.

11. Грязькин А.В., Беяева Н.В., Данилов Д.А., Ванджурак Г.В., Ван Хунг Ву Изменчивость толщины и массы

кoры березы по длине ствола // Известия вузов. Лесной журнал. 2019. № 2. С. 32–39.

12. 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.

13. Пристова Т.А. Задержание атмосферных осадков пологом древостоя березово-елового молодняка в условиях средней тайги Республики Коми // Лесной вестник. 2022. Т. 26. № 1. С. 28–34.

14. Пыстина Т.Н. Лишайники таежных лесов европейского Северо-Востока (подзоны южной и средней тайги). Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 240 с.

15. Дымов А.А., Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Ракина Д.А. Растительный опад в коренном ельнике и лиственнично-хвойных насаждениях // Известия вузов. Лесной журнал. 2012. № 3. С. 7–18.