

СТАТЬЯ

УДК 574.472:582.29

**СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ  
В ЭПИФИТНОМ ЛИШАЙНИКЕ *HYPOGYMNINGIA PHYSODES*  
В КРОНАХ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА ОБЫКНОВЕННОГО**

**Катаева М.Н., Беляева А.И.**

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

Изучены концентрации микроэлементов в эпифитном лишайнике *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (Parmeliaceae), растущем на можжевельнике и березе в лесных и прибрежных сообществах в подзоне средней тайги на северо-востоке Ленинградской области. Исследованы два ряда кустарников можжевельника на берегу Ладожского озера на разном удалении от береговой линии, и сосновый лес. Выявлены особенности накопления элементов в лишайнике на этой территории. В кроне можжевельника в сосновом сообществе в лишайнике содержатся более высокие концентрации Mn по сравнению с лишайниками в прибрежном районе. Накопление элементов в *H. physodes* различается в кроне можжевельника и березы повислой. В талломах лишайника на ветвях березы концентрации Zn в 1,5–3 раз выше по сравнению с живыми ветвями можжевельника. В листьях березы и хвое можжевельника содержание Mn в 2,8–5,4 раза выше, чем в лишайнике. Содержание металлов в лишайнике выше, чем в хвое можжевельника: Cd – в 5,4–8, Pb – в 6,8–12, Fe – в 13–15 раз. Лишайник по сравнению с коркой живых и сухих ветвей накапливает более высокие концентрации Cd – в 1,5–2,6 раза. В талломах содержание Fe выше, чем в сухих ветвях и корке сухих ветвей (в 2,4–3,8 раза). *H. physodes* накапливает больше тяжелых металлов, чем корка, сухая древесина ветвей, хвоя.

**Ключевые слова:** эпифитные лишайники, средняя тайга, микроэлементы, *Hypogymnia physodes*, *Juniperus communis*

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

**THE CONTENT OF HEAVY METALS IN EPIPHYTIC LICHEN  
*HYPOGYMNINGIA PHYSODES* IN THE COMMON JUNIPER CROWNS**

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

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

Concentrations of microelements in epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (Parmeliaceae) growing on common juniper and silver birch in the forest and lakeside communities in the middle taiga subzone the North-East of the Leningrad Region have been studied. Two rows of juniper shrubs on the different distance from the shoreline of the Lake Ladoga, and the pine forest were studied. The features of accumulation of metals in lichen thalli in this area were revealed. The lichen thalli on juniper in the pine forest contain higher concentration of Mn as compared to lichens of the shore of lake area. The accumulation of chemical elements in lichen is changed under influence of common juniper crowns and silver birch. The concentration of Zn in lichen thalli on birch branches was 1.5–3.0 times higher as compared to lichens on living branches of juniper. Content of Mn is higher to 2.8–5.4 folds in leaves of birch and juniper needles than in lichen. The concentration of metals in lichen thalli increases as compared to the juniper needles, Cd 5.4–to–8, Pb 6.8–12, Fe 13–15 fold. Lichen accumulates the concentration of Cd which is higher outer bark of living branches and dry bark of juniper, 1.5–to–2.6 folds. In lichen Fe content is higher than that of dry branches and outer dry bark (2.4–3.8 folds). *H. physodes* accumulates higher concentrations of metals than outer bark, dry wood, needles of juniper branches.

**Keywords:** epiphytic lichens, middle taiga, microelements, *Hypogymnia physodes*, *Juniperus communis*

*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».*

Эпифитные лишайники как индикаторы состояния среды используются при оценке загрязнения лесов. По сравнению с влиянием на лишайники условий лесного сообщества промышленное загрязнение как фактор внешней среды гораздо более изучено. Как известно, аэрозоли, пыль, осадки с растворенными соединениями привносят тяжелые металлы в лесные сообщества. В общем уровне загрязнения возрастает роль дальнего переноса металлов.

К одному из направлений изучения видового разнообразия лишайников относятся их характеристика в редких ландшафтных условиях и типах лесных сообществ. В северо-западном регионе они мало изучены и сохранились в районах с минимальными техногенными нагрузками. К специфичным типам сообществ относятся дюнные боры на песках в Онежском Поморье, в Архангельской области [1]. Близкие типы сообществ с участием сосны на песках распро-

странены на побережье Ладожского озера. В массивах сохранившихся ненарушенных лесных сообществ выявлен видовой состав и обнаружены редкие виды лишайников [2, 3]. Концентрации тяжелых металлов в эпифитных лишайниках Карелии получены уже более 20 лет назад [4].

Важными условиями роста и развития лишайников являются влагообмен с атмосферой и водный режим, фотосинтетическая активность. В разных ландшафтных условиях и типах леса изменяются метеопараметры, влияющие на состояние лишайников, в первую очередь поступление осадков. В кронах хвойных деревьев преобразуются экологические факторы среды. В древесном пологе снижается интенсивность освещения, концентрируются осадки. С осадками происходит перенос растворенных веществ, они участвуют в минеральном обмене лесных сообществ. Химический состав осадков изменяется при взаимодействии с кронами. В осадках возрастает содержание органических веществ и неорганических ионов, изменяется кислотность. Частично в пологе леса осадки задерживаются.

Благоприятный микроклимат для развития лишайников образуется под пологом леса, при более влажных и затененных условиях. Строение крон можжевельника может способствовать накоплению микроэлементов в лишайниках.

Необходимо выявить индикационные особенности эпифитных лишайников сем. Parmeliaceae по накоплению тяжелых металлов с учетом влияния ландшафтно-климатических факторов, влияния фитоценозов, определить элементный состав лишайников в кроне можжевельника.

Цель исследования: определить содержание тяжелых металлов в эпифитном лишайнике *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., сем. Parmeliaceae, произрастающем на можжевельнике обыкновенном в подзоне средней тайги.

#### Материалы и методы исследования

Образцы эпифитного лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. собирали в двух сообществах: в сообществах можжевельника с участием сосны на юго-восточном побережье Ладожского озера и в сосняке кустарничково-зеленомошном, в дренированных условиях в июле–августе 2018 г. Для оценки состояния сообщества обследовали далее в 2019–2023 гг. Район исследования – подзона средней тайги, северо-запад европейской части, южная часть Ладожско-Онежского перешейка бассейн р. Свирь, северо-восток Ленинградской области, Волховский и Лодейнопольский р-ны. Ло-

кальные источники атмосферного загрязнения отсутствуют.

На побережье Ладожского озера представлены кустарниковые сообщества можжевельника *Juniperus communis* L., с одиночными экземплярами сосны. В этих сообществах встречаются можжевельники древовидной формы роста. В сосняке кустарничково-зеленомошном в древостое – сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* L., береза повислая *Betula pendula* Roth. В подлеске – можжевельник обыкновенный. Возраст около 100–120 лет, без повреждения пожаром. Образцы *H. physodes* и тонкий слой корки ветвей собирали с 2–3 экз. кустарников можжевельника. Диаметр стволов: 1,3 м – 3–4 см, при основании 10–11 см. На берегу диаметр оснований изученных стволов можжевельника – 10–12 см, на 1,3 м – 5–7 см, высота 3–4 м. Талломы *H. physodes* – 3–5 см в диаметре – собирали в кроне можжевельника на живых ветвях с хвоей, сухих ветвях. Высота 1,30–1,50 м. Сбор образцов хвои можжевельника проведен в 2018 г., повторно – в 2021 г. В работе представлены средние данные анализа хвои 2018 и 2021 гг. формирования. Образцы лишайников собраны в двух рядах кустарников можжевельника на берегу.

Образцы лишайников помещали в бумажные пакеты, высушивали в термостате до абсолютно сухого веса. Пробы озоляли при 450°C в муфеле, золу растворяли при нагревании в 2N HCl, фильтровали через фильтр «синяя лента». Концентрации химических элементов определяли на ААС «Квант-АФА», Россия. Анализ проведен в двух аналитических повторностях, с использованием государственных стандартных образцов. Данные обрабатывали в Microsoft Excel 2010.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Лишайник *H. physodes* – вид с широкой экологической амплитудой, встречается в разнообразных местообитаниях, на сухой древесине, на корке стволов, при интенсивном разрастании талломов может встречаться на хвое. В прибрежном районе сравнивали состав лишайника в ближайшем первом ряду кустарников можжевельника от линии берега и воды, и во втором ряду, более 40–50 м.

Анализ показал определенные различия содержания химических элементов в лишайнике на двух типах ветвей можжевельника. В талломах лишайника в кроне можжевельника концентрации Ni, Cu, Pb и Cd довольно низкие, как на живых ветвях, так и на сухих (табл. 1).

Таблица 1

Средние концентрации металлов в лишайнике *Hypogymnia physodes* на можжевельнике, мг/кг, сухой массы

Тип	Ni	Cu	Cd	Pb	Fe	Mn	Zn
	Сообщества можжевельника, крона, ветви, 1 ряд кустарника на берегу						
Живые тонкие 3–4 мм	1,45±0,06	3,42±0,05	0,261±0,01	4,95±0,7	444±7	103±3	38±1
Сухие тонкие 5 мм	2,91±0,01	4,73±0,04	0,313±0,01	6,36±0,4	730±84	75±11	40±5
Сообщества можжевельника, крона, ветви, 2 ряд кустарника, берег							
Живые тонкие	2,43±0,60	3,54±0,52	0,390±0,13	4,17±0,9	494±55	115±6	25±10
Среднее, ветви в кроне можжевельника, берег							
Ветви	2,26±0,41	3,90±0,72	0,321±0,06	5,16±1,1	556±153	98±21	34±8
Стволы можжевельника в кроне, 1 ряд кустарника, берег							
Ствол, диаметр 5–7 см	2,55±0,10	4,48±0,37	0,486±0,05	4,88±0,1	560±83	50±15	63±4
Сосняк кустарничково-зеленомошный, крона можжевельника							
Живые ветви	2,45±0,27	3,70±0,73	0,446±0,10	4,96±0,2	388±83	490±34	53±9
Сосняк кустарничково-зеленомошный, в кроне на ветвях березы							
Береза, ветви	2,59±0,04	3,3±0,05	0,397±0,01	5,3±0,02	223±4	732±8	79±2

В кронах можжевельника на побережье на живых и сухих ветвях в *H. physodes* отмечаются довольно близкие концентрации микроэлементов. Различия в этих местообитаниях следующие: в лишайнике на сухих ветвях более высокие концентрации Cd и Pb и накапливается Fe, до 730 мг/кг. На берегу озера концентрации Mn в талломах лишайников на сухих ветвях (75 мг/кг) заметно ниже.

В прибрежном районе в сообществе можжевельника состав *H. physodes* на живых ветвях отличается от показателей под пологом сосняка. На берегу озера в лишайниках, растущих на можжевельнике, содержатся более высокие концентрации Pb, Fe, а также Cd. На берегу в лишайнике на сухих ветвях в кроне можжевельника концентрации выше, чем на ветвях в сосняке: Fe – в 1,9, Pb – в 1,3 раза. В лишайнике на стволах можжевельника концентрация Fe в 1,44 раза выше концентраций на живых ветвях можжевельника в сосняке. Близкие концентрации Cd в сосняке и на стволах кустарников на берегу (на стволах Cd выше в 1,09 раза).

В зависимости от удаления от берега кустарников можжевельника есть различия, в лишайнике на живых ветвях повышаются концентрации во втором ряду от береговой линии. Изменения по элементам: Cd в 1,49 раза, Ni в 1,68 раза, Fe в 1,11 раза. В талломах лишайника в первом ряду несколько выше содержание Pb. В первом

ряду растут экземпляры кустарников можжевельника меньшего возраста и высоты. Из-за влияния освещенности, ветра, по видимому, в нем менее благоприятные условия для роста лишайников. Концентрации элементов на стволах и ветвях можжевельника изменяются.

Получены данные по составу лишайника на разных видах форофитов. Под влиянием состава осадков кроны на ветвях березы в *H. physodes* концентрация Mn в 1,5 раза выше, чем на живых ветвях можжевельника: 732 мг/кг, что сопоставимо с ранее полученными результатами. Цинк накапливается в лишайнике как на ветвях, так и на стволах березы. В сосняке на ветвях березы лишайник содержит также более высокие концентрации Zn – 79 мг/кг, что в 1,5–3 раза выше по сравнению данными для ветвей можжевельника. Это связано с избирательностью аккумуляции Zn листьями березы, с составом осадков под кронами. Концентрации Zn в листьях березы выше, чем в субстратах можжевельника, древесине ветвей и хвое. Концентрации Mn и Zn в *H. physodes* на этих видах изменяются сильнее. Как указывали ранее, крона березы способствует накоплению Zn, а также увеличению Cd в лишайнике на стволе из-за стока осадков по стволу, концентрирования осадков. Концентрации Cd в лишайнике на ветвях березы и на ветвях можжевельника близкие – 0,397 и 0,321 мг/кг соответственно.

В меньшей степени в лишайнике на двух видах форофитов изменяется содержание Pb, Ni, Cu, что обычно для не нарушенных выбросами лесных сообществ.

Риск загрязнения лесных сообществ прибрежной зоны Ладожского озера связан с переносом воздушных масс от промышленных центров, ближайшие из них г. Санкт-Петербург, южная часть Карелии, Финляндии. Химический состав лишайников использовали при индикации выбросов производства [5]. Развитие и расширение металлургического производства в г. Хяръявалта может негативно повлиять на леса.

Микроклимат в сообществах в зоне побережья Ладожского озера отличается от микроклимата в массиве леса из-за более интенсивного ветрового режима, переноса осадков. Снежный покров аккумулирует загрязняющие техногенные компоненты атмосферы за длительное время. В кронах можжевельника на побережье задерживаются осадки, накапливается снег, по-видимому, при интенсивном ветре зимой, что влияет на состав лишайников.

При повышении содержания Fe в лишайнике на берегу соотношение концентрации Mn к Fe в талломе менее 1. В сосняке это соотношение более 1 за счет большей концентрации Mn. В прибрежном сообществе можжевельников по сравнению с хвоей и коркой, сухими ветвями с коркой, в сухой древесине ветвей определены самые низкие концентрации элементов (табл. 2).

Проведен анализ состава хвои и субстратов можжевельника в сосняке (табл. 2). Содержание Zn в хвое можжевельника на побережье и в сосняке в 8–11 раз ниже по сравнению с листьями березы (134 мг/кг). Кроме березы, другие виды деревьев также накапливают Zn, например род *Salix* [6], *Plex*, или падуб [7] и др.

Анализ показал, что хвоя можжевельника и листья березы довольно интенсивно аккумулируют Mn: 556–1970 мг/кг. В большей степени накапливают Cd листья березы – до 0,246 мг/кг, что в 3,8–5,1 раза выше по сравнению с концентрацией Cd в хвое можжевельника в разных условиях. Концентрации Zn и Cd в листьях березы соответствуют данным незагрязненных сообществ Фенноскандии [6]. Фоновые концентрации Zn и Cd в листьях березы выше (224 и 0,28 мг/кг), чем в хвое можжевельника (23 и 0,085 мг/кг). Сравнимые концентрации Mn, а также Fe, Pb (0,33 и 0,2 мг/кг) содержатся в хвое можжевельника, листьях березы.

На содержание химических элементов в листьях и хвое влияет состав осадков под кронами леса. Осадки вымывают из крон элементы питания растений и вредные для растений примеси. Состав осадков изучен под кронами березы, в них выше концентрации Zn [8]. В осадках под кронами деревьев по сравнению с атмосферными осадками особенно заметно возрастание концентрации Mn [8], Zn, Ni, Cu [9].

Таблица 2

Содержание металлов в хвое и субстрате лишайников в сосняке и сообществе можжевельника на побережье, мг/кг абс. сухой массы

Тип	Ni	Cu	Cd	Pb	Fe	Mn	Zn
Можжевельниковое сообщество, песчаный берег							
Можжевельник, 1 ряд кустарников, ветви							
Сухие, с коркой	1,35±0,1	5,3±0,05	0,207±0,03	5,1±0,1	193±5	47±8	13±1
Древесина сухая	<	2,0±0,02	0,053±0,01	<	9±1	21±3	5±0,3
Можжевельник, ветви кроны, хвоя							
Хвоя, 2018 и 2021 гг.	4,4±1,1	2,4±0,5	0,049±0,02	0,41±0,0	32±8	556±270	12±3
Можжевельник, корка ветвей							
Сухие, пыль	1,94±0,1	3,4±0,1	0,159±0,01	4,9±0,2	305±5	52±10	28±2
Корка, живые	2,9±0,1	4,1±0,2	0,171±0,01	5,5±0,2	559±11	95±6	14±2
Сосняк кустарничково-зеленомошный							
Береза							
Листья березы	3,2±0,2	2,8±0,1	0,246±0,03	0,40±0,1	34±2	1970±75	134±9
Можжевельник, ветви кроны							
Хвоя, 2018 и 2021 гг.	1,5±0,06	1,8±0,02	0,065±0,02	0,73±0,1	30±2	1360±90	16±2
Корка, живые тонкие	1,2±0,08	2,9±0,2	0,170±0,01	3,9±0,2	117±5	540±110	16±3

Состав эпифитных лишайников зависит от вида форофита, но приводятся и другие данные. Изменение состава показано для трансплантированных талломов *H. physodes* на стволах *Fagus sylvatica* и *Picea abies*, с накоплением Mn на ели [10].

Лесные сообщества создают благоприятную среду для роста лишайников. Конденсация осадков, по-видимому, играет важную роль в питании лишайников в кронах можжевельника под пологом леса. В открытых сообществах на побережье лишайники находятся под действием особых экологических условий: более интенсивного действия инсоляции по сравнению с условиями роста под пологом крон сосняка. Крона создает высокую относительную влажность, снижает колебания температуры, затеняет местообитания. В кроне улучшаются условия роста лишайников за счет высокой влажности, испарения, конденсации осадков. Влажный микроклимат сообществ можжевельника на берегу, по-видимому, способствует развитию лишайников при их более длительной физиологической активности.

В экологическом распределении лишайников важную роль играют адаптация к световым условиям, пигменты и их способность защищать фотобионт от интенсивного света. В частности, кустистые светлоокрашенные лишайники, синтезирующие отражающую свет уксусную кислоту, более приспособлены к условиям под кронами, и они более многочисленны. Виды рода *Bryoria*, которые заселяют открытые и освещенные местообитания с защитным темным пигментом меланином в коровом слое, более специализированы [11]. При распределении кустистых лишайников в неоднородном ландшафте выявлена связь с площадью лесных островов, сходная с вертикальной дифференциацией ниш в кронах [12]. На небольших по площади островах доминировали виды р. *Bryoria*, на более крупных – чувствительный к свету вид *Alectoria sarmentosa*.

Анализ показал, что в прибрежной части в кроне можжевельника в *H. physodes* на сухих ветвях и живых ветвях с хвоей сильнее различается содержание Mn, Cd, Pb, Fe. В этих сообществах на берегу озера, в сухих ветвях с коркой на можжевельнике, по-видимому, из-за загрязнения осадков выше содержание тяжелых металлов. В сухих ветвях с коркой Pb – 5,1 мг/кг, Fe – 193, Cd – 0,207 мг/кг. В корке сухих ветвей выше содержание Fe – 305 мг/кг. В корке сухих ветвей можжевельника концентрация Cd, Pb, Fe выше, чем в сухой древесине можжевельника, хвое. В них отмечается слабое накопление металлов. Концентрация Cd в кор-

ке в 3,0–3,9 раза выше, чем в древесине, Fe выше более чем в 20–30 раз. По сравнению с коркой можжевельника в лишайнике содержание Cd выше в 1,5–2,3 раза.

Причиной загрязнения этих древесных субстратов лишайников является поступление металлов с осадками. Как известно, зимой атмосферные примеси охватывают более широкий ареал, в связи с этим в формировании осадков вовлекаются более удаленные территории, города и их промышленность. Зимой в атмосфере накапливаются загрязняющие вещества. Перенос снеговых осадков по озеру к побережью, очевидно, более интенсивный. Осадки накапливаются в кронах можжевельника. Корка слабо загрязнена, в корке живых и сухих ветвей можжевельника определены высокие концентрации Fe, Pb. В корке живых ветвей содержание Fe и Pb сопоставимо с концентрациями в лишайнике.

Растущие и сухие ветви в кроне можжевельника – довольно различные местообитания лишайников. Отличия таких местообитаний от корки кустарников связаны с влажностью древесины и со слабым накоплением в ней микроэлементов.

В лишайнике, растущем на можжевельнике, определены концентрации Cd: 0,261–0,486 мг/кг, которые не превышают фоновые концентрации в лишайниках [13]. Концентрации элементов, пределы: Ni – 1,45–2,91 мг/кг, Cu – 3,42–4,73 мг/кг, Pb – 4,17–6,36 мг/кг. Следует отметить довольно высокие концентрации Fe в лишайнике. В лишайнике на побережье на разных субстратах можжевельника концентрации сохраняются в пределах величин одного порядка. В субстрате больше изменяется содержание Fe.

По сравнению с хвоей можжевельника лишайник *H. physodes* интенсивнее накапливает тяжелые металлы. В хвое низкие концентрации Cd, всего 12,6–18,8%, Pb 8,3–14,7% от накопления в лишайнике. Содержание Fe также выше в лишайнике, чем в хвое можжевельника, в 13–15 раз. Содержание Zn в талломах в 2,0–3,3 раза выше концентрации в хвое. Показано влияние крон на лишайник, на ветвях березы *H. physodes* накапливаются в 1,5–3,0 раза более высокие концентрации Zn относительно можжевельника. В сообществах можжевельников на берегу в хвое концентрации Mn в 4,8–5,4 раза (7,4 на сухих ветвях) выше, чем в лишайнике. Листья березы под пологом сосняка по содержанию Mn превышают его в 2,7, хвоя можжевельника – в 2,8 раза.

Лишайники гораздо более интенсивно накапливают тяжелые металлы, чем листья, хвоя древесных растений. В листьях березы

Cd – 0,246 мг/кг, что в 3,8–5,1 раза выше, чем в хвое можжевельника. Довольно близкие концентрации Cd в лишайнике на ветвях обоих видов, но есть и более высокое содержание (на стволах можжевельников). В лишайнике на березе концентрация Cd выше в 1,6 раза по сравнению с листьями. В лишайнике на живых ветвях содержание Cd выше в 5,4–8,4 раза, чем в хвое можжевельника.

Концентрации металлов в лишайнике (Ni, Cu, Cd, Pb) на можжевельнике низкие, не выше фоновых значений. В кустарниковых сообществах можжевельника на берегу озера в лишайнике не выявлено сильных различий с данными Карелии, кроме повышения Fe, относительно значений, принятых в качестве фоновых: 500 мг/кг. Содержание Pb сопоставимо: 4–10 мг/кг. В кроне можжевельника в лишайнике сильнее различаются концентрации Mn, Fe, Pb и Cd. На сухих ветвях на берегу лишайник содержит меньше Mn. В сосняке различия связаны с влиянием форофитов.

### Заключение

Под влиянием ландшафтных факторов изменяются концентрации микроэлементов в лишайнике *H. physodes* на можжевельнике обыкновенном в сосняке по сравнению с сообществами можжевельника на побережье Ладожского озера. Риск загрязнения лишайников можжевельниковых сообществ связан с переносом воздуха от промышленных районов. По сравнению с хвоей можжевельника в лишайнике *H. physodes* выше концентрации Cd (5,4–8 раз), Pb (6,8–12 раз), Fe (13–15 раз). Изучены концентрации в *H. physodes* на двух видах. Накопление тяжелых металлов Cd, Pb, Fe, Cu, Zn в талломах лишайников выше, чем в хвое можжевельника.

### Список литературы

1. Макарова М.А., Дровнина С.И., Петрова Н.В. Дюнная растительность побережий Белого моря на Летне-Золотидком участке Национального парка «Онежское Поморье» // Растительный покров Европейского Севера и Арктики. XIV Перфильевские научные чтения, посвященные 140-летию со дня рождения А.И. Перфильева: сборник материалов. Архангельск: САФУ: КИРА, 2022. С. 131–139.
2. 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.
3. 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.
4. 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. Петрозаводск, 1996. С. 167–182.
5. Laaksovirta K., Olkkonen H. Epiphytic lichen vegetation and element contents of *Hypogymnia physodes* and pine needles examined as indicators of air pollution at Kokkola, W. Finland // *Annales Botanici Fennici*. 1977. Vol. 14 (3). P.112–130.
6. Reimann C., Englmaier P., Fabian K., Gough L., Lamothé P., Smith D. Biogeochemical plant-soil interaction: Variable element composition in leaves of four plant species collected along a south-north transect at the southern tip of Norway // *Science of the Total environment*. 2015. Vol. 506–507. P. 480–495.
7. Ulbich M.C.N., Motta A.C.V., Magri E., Prior S. A., Albuquerque C.G., Gavelaki F., Barbosa J. Z., Wendling I., Pogger G.C. Accumulation capacity of nickel and zinc in yerba mate cultivated in soils with contrasting parent material // *Biological Trace Element Research*. 2023. Vol. 201 (11). P. 1–13.
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. Asplund J., Ohlson M., Gauslaa Y. Tree species shape the elemental composition in the lichen *Hypogymnia physodes* transplanted to pairs of spruce and beech trunks // *Fungal Ecology*. 2015. Vol. 16. P.1–5.
11. Gauslaa Y., Goward T. Sunscreening pigments shape the horizontal distribution of pendant hair lichens in the lower canopy of unmanaged coniferous forests // *Lichenologist*. 2023. Vol. 55 (2). P. 81–89.
12. Essen P.-A. Strong influence of landscape structure on hair lichens in boreal forest canopies // *Canadian Journal of Forest Research*. 2019. Vol. 49 (8). P. 994–1003.
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.