

УДК 581.5:582.4

## ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ТАЛЛОМОВ ЛИШАЙНИКА *CLADONIA STELLARIS* В УСЛОВИЯХ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Т. А. Сухарева

Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН

Исследовано содержание химических элементов в талломах лишайника рода *Cladonia* в районах воздействия металлургических комбинатов Мурманской области. Выявлены аномально высокие уровни накопления тяжелых металлов (Cu, Ni, Fe) в лишайниках в условиях техногенной нагрузки. Степень аккумуляции тяжелых металлов у лишайников гораздо выше, чем у хвойных деревьев и кустарничков. В лишайниках активно накапливаются рассеянные элементы – Co, Cd, Pb, As, Cr. Дана оценка состояния лишайников особо охраняемых природных территорий – Лапландского государственного природного биосферного заповедника и государственного природного заповедника «Пасвик». Выполнен сравнительный анализ результатов исследований разных периодов (1991, 2004, 2007, 2011 гг.). Показано, что на современном этапе в талломах лишайников снизились концентрации Al, Fe, Zn, Ni, Cu в зоне воздействия комбината «Североникель» (г. Мончегорск), Fe – в районе влияния комбината «Печенганикель» (п. Никель). Продолжающееся накопление никеля и меди в лишайниках в зоне воздействия комбината «Печенганикель» (15 км от источника загрязнения) обусловлено сохранением значительных объемов выбросов соединений никеля и меди в атмосферу. Значительная биогеохимическая подвижность характерна для Fe, K, P, S, Al, Cu, Ni. Установлены парцеллярные различия в элементном составе лишайников, произрастающих в подкروновых и межкروновых пространствах. В подкروновых пространствах ненарушенных фитоценозов в талломах лишайников возрастает концентрация K, P, Zn, Cu, в условиях атмосферного загрязнения – Ca, Mn, Zn.

Ключевые слова: лишайниковый индикатор; минеральные элементы; концентрация; медно-никелевые комбинаты; загрязнение; тяжелые металлы; *Cladonia stellaris*; северотаежные леса; Мурманская область.

### T. A. Sukhareva. ELEMENTAL COMPOSITION OF THALLI OF THE LICHEN *CLADONIA STELLARIS* UNDER AIR POLLUTION

The elemental composition of *Cladonia* lichens in areas affected by the Murmansk Region metal processing industry was investigated. Abnormally high levels of heavy metals (Cu, Ni, Fe) were detected in lichens under this impact. Lichens can accumulate far greater amounts of heavy metals than coniferous trees and shrubs. Lichens actively accumulate trace elements – Co, Cd, Pb, As, Cr. The condition of lichens was assessed in protected areas – Lapland Biosphere Reserve and Pasvik Strict Nature Reserve. Comparative analysis of results from different periods was carried out. Recent surveys showed a reduction in the concentrations of Al, Fe, Zn, Ni, Cu in lichens in the impact zone of the Severonikel smelter (City of Monchegorsk) and of Fe in the Pechenganickel smelter impact zone (Nickel urban-type settlement). Continuing accumulation of nickel and copper in lichens in the Pechenganickel impact zone (15 km from the smelter) is due to persistent substan-

tial emissions of nickel and copper compounds. Fe, K, P, S, Al, Cu, Ni are characterized by significant biogeochemical lability. Differences in the elemental composition were detected between lichens growing in the crown projection area and between crowns. In undisturbed plant communities lichens thalli growing in the crown projection area had elevated concentrations of K, P, Zn, Cu, whereas under air pollution – of Ca, Mn, Zn.

**Key words:** lichen indication method; mineral elements; concentration; copper-nickel smelter complex; pollution; heavy metals; *Cladonia stellaris*; northern taiga forests; Murmansk Region.

## Введение

Лишайники широко применяются в индикационных исследованиях при различных видах естественного и антропогенного загрязнения [Nash, Gries, 1995; Бязров, 2002; Cvijan et al., 2008; Вершинина и др., 2011; Московченко, Валева, 2011; Анищенко и др., 2014; Gandois et al., 2014], в том числе на территории Кольского полуострова [Кузьменкова и др., 2015; Лянгузова и др., 2015]. Лишайникам присуща атмосферная стратегия питания, что позволяет их использовать в качестве информативных биомониторов для оценки региональных атмосферных нагрузок и миграции атмосферных загрязнителей. Эти организмы способны накапливать элементы в концентрациях, превышающих их физиологические потребности, и удерживать их в талломе долгое время [Баргальи, 2005]. При аэротехногенном воздействии лишайники заметно обогащаются поллютантами по сравнению с другими представителями биоты. Это обусловлено тем, что обмен элементов у лишайников осуществляется через всю поверхность их талломов. Основными механизмами поглощения лишайниками минеральных элементов из окружающей среды являются улавливание взвешенных в атмосфере частиц, обмен ионов и внутриклеточное поглощение. В таежных экосистемах лишайниковый покров выполняет важную функцию биологического барьера на пути потоков химических элементов, в том числе элементов-загрязнителей [Власова, 2011]. С учетом медленного роста и гидролабильности лишайников полагают, что атмосферные источники выбросов играют доминирующую роль в химическом составе талломов [Вайнштейн, 1982; Бязров, 2009]. Другим источником поступления элементов в лишайники является субстрат. Эпигейные лишайники тесно контактируют с литосферными источниками минеральных элементов, и концентрация минеральных элементов в них может довольно точно отражать геохимические особенности условий произрастания [Erdman, Gough, 1977; Рассеянные элементы..., 2004]. Концентрации ионов металлов в слоевищах

лишайников в значительной степени зависят от интенсивности выпадения пылевых и аэрозольных частиц [Seaward, 1992]. Способность лишайников в высокой концентрации накапливать тяжелые металлы подтверждает мысль ряда исследователей о существовании адаптационных механизмов, обуславливающих перевод этих элементов в связанные (хелатированные) формы, перенос и локализацию их на поверхности талломов [Золотарева, 1981; Панин, 1999]. Установлено, что в лишайниках основная масса элементов содержится в клеточных стенках и мембранах [Страховенко и др., 2008].

Металлургические комбинаты, расположенные на территории Мурманской области, являются главными источниками атмосферного загрязнения региона тяжелыми металлами и диоксидом серы. Данные о содержании химических элементов в талломах *Cladonia stellaris* немногочисленны, хотя данный вид является типичным как для северотаежных лесов, так и для тундровых и лесотундровых сообществ. Кроме того, исследования касаются, как правило, выявления пространственных закономерностей различных показателей, а не временных. Изучение лишайников на одних и тех же объектах в разные периоды представляет огромную значимость для оценки состояния лесных экосистем в условиях долговременного аэротехногенного воздействия.

Цель исследования – изучение пространственно-временных закономерностей изменения элементного состава напочвенного лишайника *Cladonia stellaris* в условиях атмосферного загрязнения северотаежных лесов соединениями серы и тяжелыми металлами в районе действия горно-металлургических предприятий – комбинатов «Североникель» (г. Мончегорск) и «Печенганикель» (г. Никель), включая территории государственных природных заповедников.

## Материалы и методы

Исследования проводили в центральной, юго-западной и северо-западной частях Мурманской области.

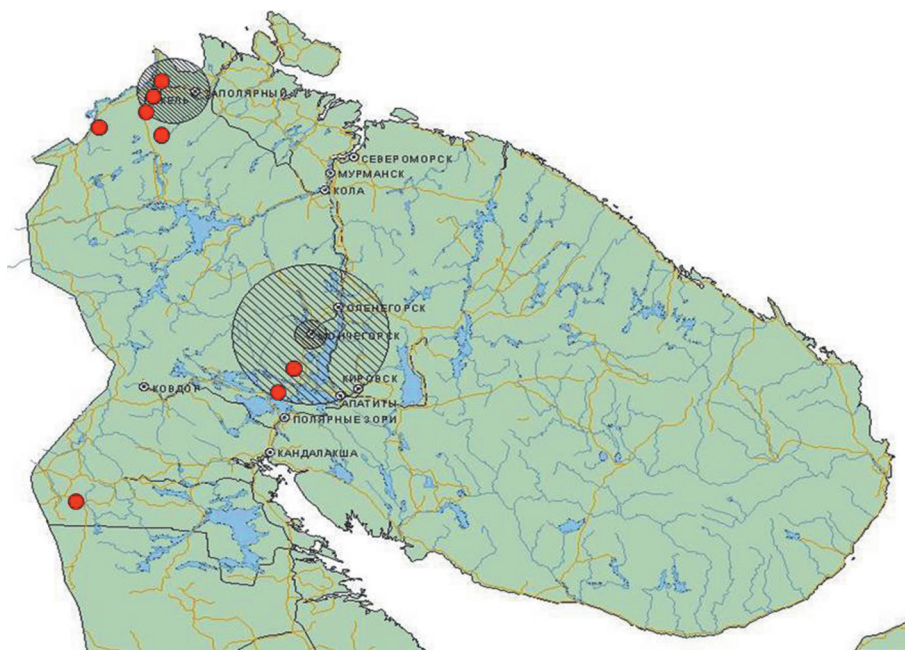


Рис. 1. Карта-схема расположения пробных площадей на территории Мурманской области

Климат района исследования формируется под влиянием теплых масс воздуха из северных и центральных районов Атлантического океана и более холодных из атлантического сектора Арктики, близости незамерзающего Баренцева моря, согреваемого теплым течением Гольф-стрим, и Белого моря. Характерной особенностью атмосферной циркуляции является интенсивная циклоническая деятельность зимой и в переходные сезоны и слабо выраженная – в вегетационный период [Яковлев, 1961].

Преобладающим типом растительности являются хвойные леса. Это еловые и сосновые леса незначительной высоты (12–16 м), с сильной разреженностью древостоев [Лукина, Никонов, 1998]. Лесные экосистемы длительное время подвергаются влиянию техногенных факторов. В непосредственной близости от медно-никелевых комбинатов леса сухостойные или сильно поврежденные. Снижение объемов производства в течение последних двух десятилетий обусловило начальные признаки восстановления экосистем, но процессы накопления загрязняющих веществ в различных компонентах лесных фитоценозов продолжают. На сильно загрязненных участках в напочвенном покрове преобладают кустарнички, такие как вороника и брусника, которые относительно устойчивы к воздействию тяжелых металлов и прочих загрязнителей. Доля лишайников увеличивается постепенно по мере удаления от горно-металлургических комбинатов, и на незагрязненных территориях лишайники

наряду с кустарничками и мхами являются доминантами напочвенного покрова.

Объект исследования – напочвенный лишайник *Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar et Vězda, произрастающий в сосновых лесах в условиях разной степени аэротехногенного загрязнения.

Исследования проводили на постоянных мониторинговых площадях на различном удалении от медно-никелевых комбинатов «Североникель» (центральная часть Мурманской области, Мончегорский градиент – 31, 48, 175 (фон) км) и «Печенганикель» (северо-западная часть Мурманской области на границе с Норвегией, Никельский градиент – 5, 10, 15, 44, 73 км), включая территории Лапландского государственного природного биосферного заповедника и государственного природного заповедника «Пасвик» (рис. 1). Фоновая территория расположена в юго-западной части Мурманской области на значительном расстоянии от источников загрязнения.

В последние два десятилетия произошло снижение объемов выбросов и в несколько раз сократилось количество поступающих в атмосферу приоритетных поллютантов (рис. 2). Годовые объемы выбросов SO<sub>2</sub> комбината «Североникель» снижались от 232,5 тыс. т в 1990 году до 31,3 тыс. т в 2011 году, никеля – от 2,7 до 0,3 тыс. т, меди – от 1,7 до 0,5 тыс. тонн соответственно; комбината «Печенганикель»: SO<sub>2</sub> – от 257,5 до 103,0 тыс. т, а объемы выбросов тяжелых металлов Ni и Cu остаются высокими.

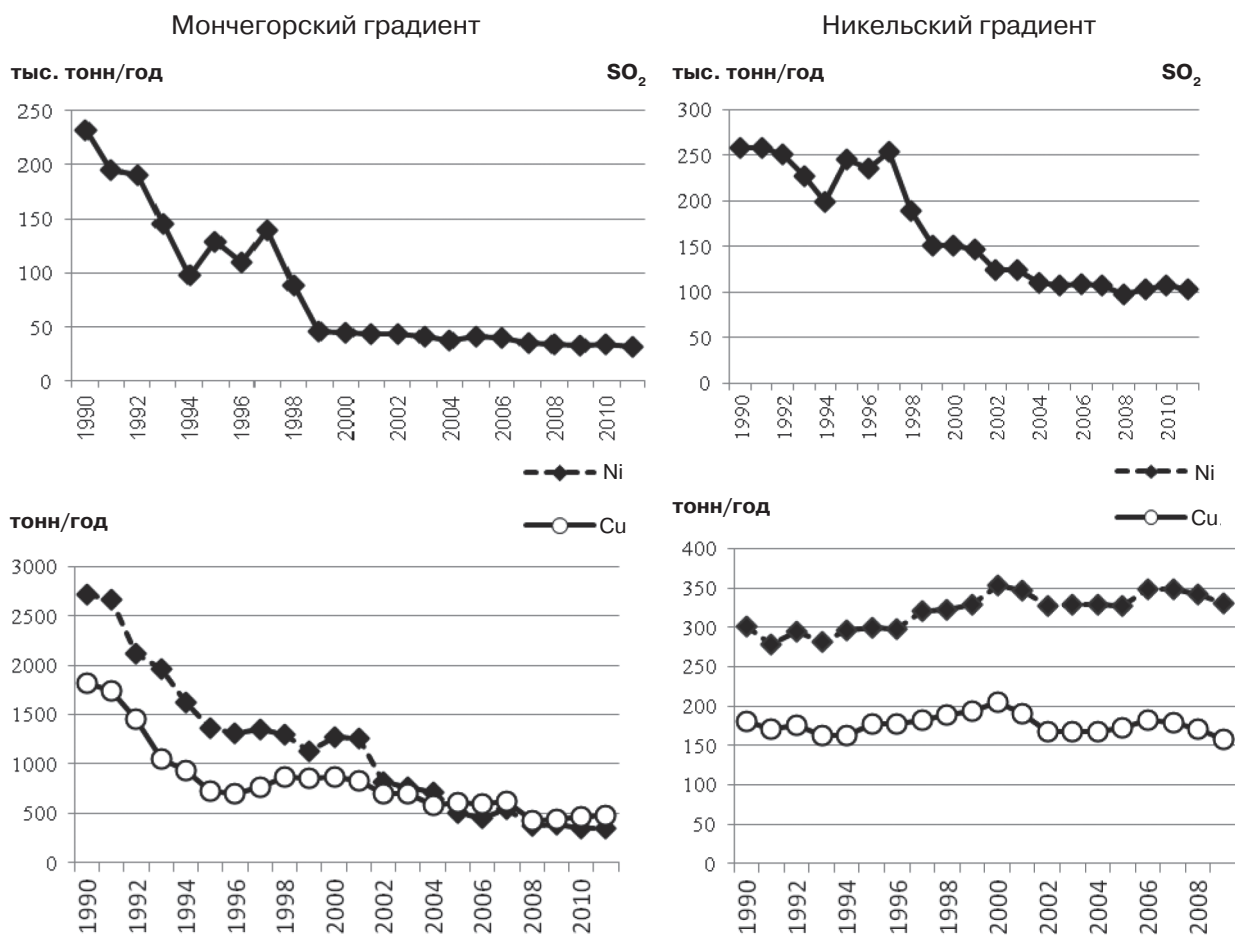


Рис. 2. Динамика поступления  $\text{SO}_2$ , Ni, Cu в атмосферу в период с 1990 по 2011 гг. (по данным управления научно-технического развития и экологической безопасности ОАО «Кольская ГМК»)

Сбор образцов напочвенного лишайника *Cl. stellaris* проводили на одних и тех же пробных площадях в 1991, 2004, 2007 и 2011 гг. в 3–5-кратной повторности в конце периода вегетации (август). Пробы, отобранные в 2004 году в районе комбината «Печенганикель» в рамках международного проекта «Development and implementation of an environmental monitoring and assessment programme in the joint Finnish, Norwegian and Russian border area» [Программа..., 2008], объединены, и получен смешанный образец с каждой пробной площади. В фоновых условиях пробы отобраны в 5–10-кратной повторности.

В лаборатории пробы лишайников очищены от примесей (листья/хвоя, мох, корни и другие части растений) с помощью пинцета, высушены при комнатной температуре и размолоты. Концентрации химических элементов определяли в вытяжке после мокрого озоления концентрированной азотной кислотой. Проведено изучение доступных для биоты соединений элементов в органогенном горизонте иллювиально-гумусовых подзолов межкрупных

пространств, отобранных в пятикратной повторности на пробных площадях в 2011 г. В почвенных образцах экстракцию металлов проводили 1 М  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  (pH = 4,65) [Halonen et al., 1983]. Металлы (Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu, Ni, Zn, Sr, Co, Cd, Pb, Cr, As) определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии, K – атомно-эмиссионной спектрометрии, P – фотоколориметрическим методом по интенсивности окраски фосфорно-молибденового комплекса (метод Лоури–Лопеса) [Чернавина и др., 1978], S – турбидиметрическим методом [ГОСТ 26490–85].

Рассчитан коэффициент концентрации (Kc), используемый при проведении биогеохимических исследований и позволяющий оценить уровень содержания поллютантов в исследуемом объекте. Коэффициент концентрации (Kc) – отношение концентрации элемента в лишайниках при техногенной нагрузке по отношению к среднефоновому содержанию, т. е. в нашем случае в лишайниках, произрастающих в условиях регионального фона.

Таблица 1. Элементный состав талломов *Cladonia stellaris* основных лесов в зоне воздействия комбинатов «Североникель» и «Печенганикель», мг кг<sup>-1</sup> абс. сухого вещества

Расстояние от комбината, км	Год отбора	Ca	K	P	Mg	Mn	S	Al	Fe	Zn	Cu	Ni
175 (260)*	2011	<u>393 ± 14</u>	<u>1223 ± 208</u>	<u>379 ± 75</u>	<u>183 ± 39</u>	<u>76 ± 7</u>	<u>224 ± 58</u>	<u>111 ± 30</u>	<u>125 ± 42</u>	<u>11 ± 1</u>	<u>1,7 ± 0,2</u>	<u>1,3 ± 0,1</u>
		540 ± 41	1823 ± 130	670 ± 76	270 ± 31	100 ± 10	300 ± 33	169 ± 38	163 ± 42	17 ± 2	2,3 ± 0,2	0,9 ± 0,1
Комбинат «Североникель»												
48	1991	122 ± 12	1141 ± 81	н. о.	224 ± 6	20 ± 3	н. о.	453 ± 31	1229 ± 78	23 ± 2	45,3 ± 6,1	81,2 ± 8,3
		255 ± 32	735 ± 83	261 ± 14	127 ± 8	32 ± 4	213 ± 52	286 ± 43	258 ± 27	11 ± 1	10,2 ± 0,4	23,9 ± 0,9
31**	2011	<u>778 ± 29</u>	<u>1040 ± 4</u>	<u>559 ± 17</u>	<u>175 ± 5</u>	<u>37 ± 4</u>	<u>315 ± 85</u>	<u>291 ± 10</u>	<u>272 ± 20</u>	<u>11 ± 1</u>	<u>9,8 ± 0,3</u>	<u>18,2 ± 0,3</u>
		286 ± 7	1285 ± 59	584 ± 24	140 ± 2	40 ± 1	304 ± 13	245 ± 14	204 ± 11	19 ± 1	12,9 ± 0,15	25,9 ± 1,3
31**	2007	552 ± 122	1294 ± 121	310 ± 10	169 ± 26	39 ± 7	221 ± 34	192 ± 20	154 ± 20	20 ± 2	33,1 ± 3,3	92,6 ± 5,9
		<u>800 ± 35</u>	<u>1338 ± 43</u>	<u>528 ± 9</u>	<u>175 ± 11</u>	<u>34 ± 5</u>	<u>407 ± 30</u>	<u>207 ± 6</u>	<u>191 ± 11</u>	<u>14 ± 1</u>	<u>36,3 ± 0,9</u>	<u>70,0 ± 3,4</u>
73***	2011	419 ± 45	1419 ± 223	667 ± 31	199 ± 46	97 ± 6	276 ± 45	204 ± 42	176 ± 40	24 ± 3	36,0 ± 7,2	106 ± 2
		433 ± 98	1109 ± 43	н. о.	186 ± 12	42 ± 5	324 ± 54	н. о.	н. о.	9 ± 1	7,1 ± 0,3	6,2 ± 1,2
44	1991	128 ± 12	481 ± 65	н. о.	142 ± 5	37 ± 8	н. о.	148 ± 14	246 ± 33	10 ± 1	18,4 ± 0,7	20,2 ± 1,0
		281	1433	663	201	29	351	43	146	15	13	24
15	2011	393 ± 17	1340 ± 34	1340 ± 34	222 ± 5	57 ± 7	798 ± 29	77 ± 3	217 ± 30	12 ± 1	17,9 ± 0,7	24,1 ± 0,9
		76 ± 7	1223 ± 40	н. о.	528 ± 53	16 ± 6	н. о.	523 ± 51	1219 ± 65	30 ± 5	63,7 ± 2,7	76,4 ± 1,9
10	1991	286	1226	620	370	44	583	284	1030	26	98	125
		346 ± 12	1840 ± 67	790 ± 54	315 ± 7	51 ± 5	893 ± 39	146 ± 13	974 ± 40	25 ± 1	146,5 ± 2,1	178,2 ± 10,9
5	2004	94 ± 20	1831 ± 260	н. о.	456 ± 14	50 ± 16	н. о.	402 ± 71	1138 ± 112	21 ± 2	98,2 ± 28,8	69,4 ± 4,0
		586	1600	881	544	78	640	137	994	24	147	232
Комбинат «Печенганикель»												

Примечание. Здесь и в табл. 2–3 приведены средние значения ( $\pm$  стандартная ошибка), н. о. – не определяли. \* Фоновая территория, расстояние указано от медно-никелевых комбинатов «Североникель» («Печенганикель»); \*\* Лапландский государственный природный биосферный заповедник; \*\*\* Государственный природный заповедник «Пасвик». Над чертой – межкороновые пространства, под чертой – подкороновые (в остальных случаях данные только по межкороновым пространствам).



В работе использованы количественные показатели интенсивности биологического поглощения элементов. Одним из таких показателей является коэффициент биологического поглощения Перельмана (Кб), показывающий, во сколько раз содержание элемента в золе больше, чем в литосфере в целом (или в конкретной горной породе, почве) [Геохимия..., 1990]. Для расчета Кб использовано отношение содержания элемента в слоевище лишайника к валовому содержанию элемента в органогенном горизонте иллювиально-гумусового подзола. По интенсивности биологического поглощения элементы подразделяются на следующие категории: элементы энергичного поглощения ( $K_b = 10-100$ ); элементы сильного поглощения ( $K_b = 1-10$ ); элементы слабого поглощения и среднего захвата ( $K_b = 0,1-1,0$ ); элементы слабого захвата ( $K_b = 0,01-0,10$ ) [Геохимия..., 1990]. Впоследствии Н. С. Касимовым с соавт. [1995] предложен коэффициент биогеохимической подвижности (Вх), рассчитываемый по отношению к подвижным формам элементов в субстрате. Данный коэффициент дает наиболее объективную картину поглощения живым веществом химических элементов из почвы. Для расчета Вх использовано отношение содержания элемента в слоевище лишайника к подвижным формам элементов в органогенном горизонте иллювиально-гумусового подзола.

Математическую обработку данных проводили с помощью общепринятых статистических методов с использованием пакета программ Microsoft Excel 6.0. Проведена оценка достоверности различия средних значений с использованием непараметрических статистических критериев: U-критерия Манна-Уитни (для парных сравнений) и H-критерия Краскела-Уоллиса [StatSoft, Inc., 2010].

## Результаты и обсуждение

Результаты анализа содержания химических элементов в лишайниках представлены в табл. 1. Из зольных элементов в талломе лишайника ненарушенных сообществ преобладает калий ( $n \cdot 10^4$  мг/кг), концентрация которого в 2–3 раза выше, чем фосфора и кальция ( $n \cdot 10^3$  мг/кг). Содержание серы, магния, алюминия и железа составляет  $n \cdot 10^3$  мг/кг, марганца, цинка, меди и никеля –  $n \cdot 10^2$  –  $n \cdot 10$  мг/кг. Фоновые концентрации Ni и Cu не превышают 2 мг/кг.

В талломах лишайников на территории заповедника «Пасвик», несмотря на его значительную удаленность от источников

выбросов, концентрации Ni ( $U_{5,5} = 0, p < 0,01$ ) и Cu ( $U_{5,5} = 0, p < 0,01$ ) превышают фоновые значения в 4–5 раз, S – в 1,5 раза. Концентрация остальных элементов минерального питания в лишайниках на территории заповедника сопоставима с фоновым содержанием, за исключением марганца, содержание которого достоверно ниже фоновых показателей ( $U_{5,5} = 0, p < 0,01$ ) (табл. 1).

В условиях атмосферного загрязнения лишайники в большом количестве накапливают тяжелые металлы (Cu, Ni). Никель аккумулируется более интенсивно. Данная особенность в условиях атмосферного загрязнения была нами отмечена и для хвойных деревьев [Сухарева, Лукина, 2014], она объясняется тем, что в выбросах (рис. 2) и атмосферных выпадениях [Рассеянные элементы..., 2004] за периоды наблюдений с 1991 по 2002 гг. (Мончегорский градиент) и с 1991 по 2011 гг. (Никельский градиент) существенно преобладал Ni. Это же может являться причиной его преобладания над Cu в растениях и лишайниках, поскольку значительная доля частиц осаждается на поверхности листьев (талломах) в результате процессов седиментации вблизи источников выбросов или в форме аэрозольных частиц на удалении от комбината.

Анализ данных за три срока наблюдений в зоне воздействия комбината «Североникель» (48 км от источника загрязнения) показал, что концентрации Al ( $H_{2,9} = 5,79, p < 0,05$ ), Fe ( $H_{2,9} = 7,45, p < 0,02$ ), Zn ( $H_{2,9} = 7,45, p < 0,02$ ), Ni ( $H_{2,9} = 6,16, p < 0,05$ ), Cu ( $H_{2,9} = 6,60, p < 0,05$ ) в лишайниках снизились по сравнению с уровнями накопления в начале 90-х годов XX века (табл. 1). Но значительное превышение фоновых концентраций никеля и меди сохраняется. Превышение фоновых концентраций отмечено также для железа и алюминия. Данные элементы, имеющие литосферное происхождение, могут поступать в слоевище лишайника с почвенными частицами в результате ветровой эрозии [Бязров, 2009]. Почвы района исследования являются Al-Fe-гумусовыми подзолами, особенность которых – обогащенность иллювиально-гумусового слоя оксидами алюминия и железа [Лукина и др., 2008]. Аккумуляция железа и алюминия в талломах лишайников может происходить в результате пыления минеральных горизонтов с незакрепленной поверхности почвы. На стационарной пробной площади на территории Лапландского государственного природного биосферного заповедника (31 км от комбината) за период 2007–2011 гг. в талломах лишайников снизилась только концентрация Ni ( $U_{5,3} = 0, p < 0,02$ ).

Таблица 2. Валовый состав и содержание подвижных форм элементов в органогенном горизонте иллювиально-гумусовых подзолов межкروновых пространств (лишайниковые парцеллы) основных лесов в зоне воздействия комбината «Североникель» и значения коэффициентов биологического поглощения (Кб) и биогеохимической подвижности (Вх)

Расстояние от комбината, км	Ca	K	P	Mg	Mn	S	Al	Fe	Zn	Cu	Ni
Валовое содержание элементов в почве, мг кг <sup>-1</sup>											
175 (260) *	3599 ± 2	2782 ± 554	1600 ± 242	980 ± 126	266 ± 34	500 ± 15	12828 ± 767	11838 ± 226	75 ± 1	65 ± 4	164 ± 30
31**	3425 ± 480	2041 ± 382	1685 ± 307	1001 ± 150	275 ± 59	620 ± 177	5105 ± 1093	6025 ± 415	54 ± 1	121 ± 38	258 ± 89
Коэффициент биологического поглощения (Кб)											
48	0,2	0,5	0,4	0,2	0,1	0,6	0,02	0,02	0,1	0,2	0,1
31**	0,2	0,7	0,3	0,2	0,1	0,7	0,04	0,03	0,3	0,3	0,3
Содержание подвижных форм элементов в почве, мг кг <sup>-1</sup>											
175 (260) *	1812 ± 215	751 ± 78	161 ± 24	237 ± 23	42 ± 14	106 ± 7	81 ± 16	9 ± 2	18 ± 1	0,1 ± 0,0	0,5 ± 0,1
48	1030 ± 82	503 ± 103	113 ± 10	129 ± 28	43 ± 3	121 ± 9	211 ± 63	27 ± 6	20 ± 3	10,7 ± 1,8	19,3 ± 0,3
31**	1312 ± 78	508 ± 97	93 ± 26	187 ± 31	20 ± 5	84 ± 8	143 ± 23	12 ± 2	20 ± 4	14,2 ± 4,8	41,7 ± 4,6
Коэффициент биогеохимической подвижности (Вх)											
175 (260) *	0,2	1,6	2,4	0,8	1,8	2,1	1,4	14,6	0,6	17,1	2,8
48	0,8	2,1	2,8	1,3	0,8	2,6	1,4	10,0	0,6	0,9	0,9
31**	0,6	2,6	5,9	0,9	1,7	4,8	1,4	16,1	0,7	2,6	1,7

За исследуемый период в районе комбината «Североникель» (48 км от источника загрязнения) в слоевищах лишайников достоверно увеличилось содержание Ca ( $H_{2,9} = 5,79$ ,  $p < 0,05$ ), P ( $U_{3,3} = 0$ ,  $p < 0,05$ ). Аналогичные закономерности отмечены в химическом составе лишайников на территории Лапландского заповедника (табл. 1). Напротив, концентрации доступных форм соединений Ca и P в почве за исследуемый период снизились (табл. 2). Повышение содержания кальция и фосфора в талломах лишайников, скорее всего, связано с атмосферным поглощением. Показано, что минеральные элементы могут попадать в лишайники в виде пыли, в т. ч. кальций, калий, фосфор [Каурри, 1980].

Выявлены парцеллярные различия в элементном составе растений и лишайников, произрастающих в подкروновых и межкروновых пространствах (табл. 1). Под кроной ненарушенных фитоценозов в талломах лишайников возрастает концентрация K ( $U_{5,10} = 8$ ,  $p < 0,04$ ), P ( $U_{5,10} = 8$ ,  $p < 0,04$ ), Zn ( $U_{5,10} = 8$ ,  $p < 0,04$ ), Cu ( $U_{5,10} = 7$ ,  $p < 0,03$ ). Таким образом, дополнительным источником элементов минерального питания становятся элементы, вымываемые осадками из кроны деревьев и растений напочвенного покрова. В условиях атмосферного загрязнения достоверное увеличение концентрации в подкроновых пространствах отмечено для Ca ( $U_{6,6} = 0$ ,  $p < 0,004$ ), Mn ( $U_{6,6} = 5$ ,  $p < 0,04$ ), Zn ( $U_{6,6} = 0$ ,  $p < 0,004$ ).

Анализ данных по валовому содержанию элементов (табл. 2) в органогенном горизонте почвы показывает, что содержание никеля в 10–15 раз, а меди в 1,5–3 раза превышает значения регионального фона, которые составляют для никеля 17 мг/кг, для меди – 41 мг/кг [Попова, Накваксина, 2014]. Величины коэффициентов биологического поглощения свидетельствуют, что практически все химические элементы относятся к элементам слабого накопления или среднего захвата ( $K_b = 0,1-1$ ), за исключением железа и алюминия, которые относятся к элементам слабого захвата ( $K_b = 0,02-0,04$ ). Но интенсивность биологического поглощения минеральных элементов часто не зависит от валового содержания элементов в минеральных горизонтах почвы из-за преобладания форм, труднодоступных для биоты. Данные по содержанию доступных форм соединений в почве являются более информативными параметрами при изучении минерального питания в отличие от валовых концентраций элементов в почве. В лесах на северном пределе распространения органогенный горизонт является основным источником минеральных

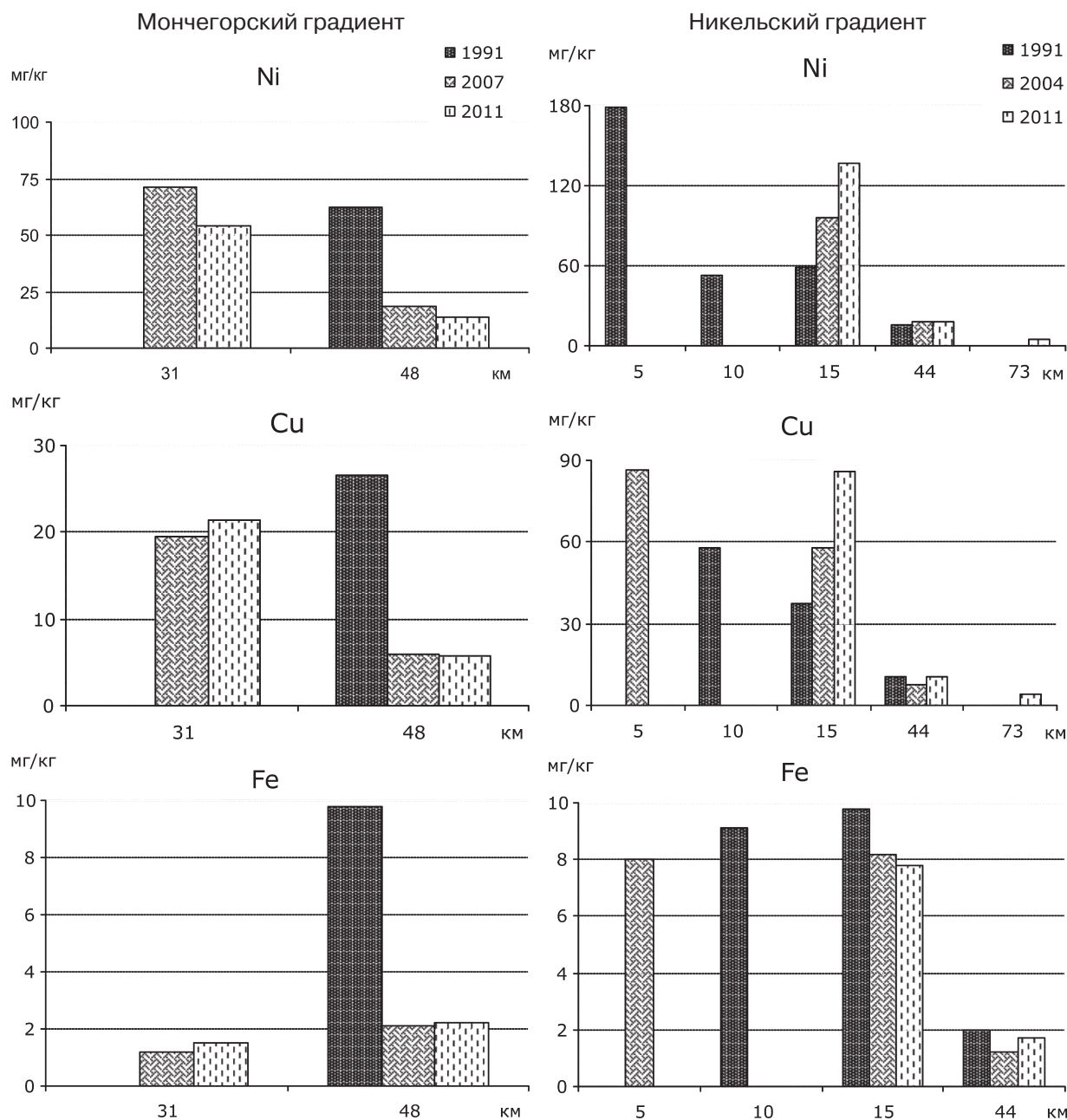


Рис. 3. Коэффициенты концентрации (Kc) химических элементов в лишайниках в зоне воздействия комбинатов «Североникель» (Мончегорский градиент) и «Печенганикель» (Никельский градиент)

элементов для биоты. Отношение содержания элемента в слоевище лишайника к содержанию его подвижных форм в органометном горизонте показывает коэффициент биогеохимической подвижности (Вх), который характеризует не только доступность элементов растениям (лишайникам), но и степень использования ими подвижных элементов, содержащихся в почве. Коэффициент биогеохимической подвижности демонстрирует для всех рассматриваемых элементов более высокие значения, чем Кб (табл. 2). Наиболее высокие значения Вх обнаружены для железа, что свидетельствует

о его высокой биогеохимической активности как в ненарушенных, так и в подверженных атмосферному воздействию фитоценозах. Значительная биогеохимическая активность отмечена также для К, Р, S, Al, Cu, Ni.

Коэффициенты концентрации (Kc) позволяют определить уровень загрязнения в результате атмосферного переноса загрязнителей от источников выбросов. Аномальными считаются концентрации, Kc которых равен или больше 1,5 [Геохимия..., 1990]. Наиболее высокие значения Kc отмечены для никеля, меди, железа – приоритетных элементов-загрязнителей



Таблица 3. Содержание (мг кг<sup>-1</sup> абс. сухого в-ва) и коэффициенты концентрации Sr, Co, Cd, Pb, Cr, As в талломах *Cladonia stellaris* в зоне воздействия комбината «Печенганикель»

Расстояние от комбината	Год отбора	Sr	Co	Cd	Pb	As	Cr
Концентрация, мг кг <sup>-1</sup>							
44	2004	2,3	1,1	0,1	1,4	0,3	0,6
	2011	1,3 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,1 ± 0,0	1,1 ± 0,0	0,4 ± 0,0	0,8 ± 0,1
15	2004	2,2	7,6	0,2	8,0	2,2	3,1
	2011	1,7 ± 0,4	7,4 ± 0,3	0,3 ± 0,0	4,1 ± 0,1	3,1 ± 0,1	3,9 ± 0,3
5	2004	2,9	10,5	0,2	5,8	2,8	3,1
Коэффициенты концентрации							
15	2004	0,9	6,9	2,0	5,7	7,3	5,2
	2011	0,7	8,2	3,0	3,7	7,8	4,9
5	2004	1,3	9,5	2,0	4,1	9,3	5,2

района исследования (рис. 3). По мере приближения к источникам загрязнения значения Кс возрастают. Самая интенсивная аккумуляция тяжелых металлов отмечена в 5–15-километровой зоне от комбината «Печенганикель». Рассчитанные для никеля и меди Кс являются аномальными для всех обследованных пробных площадей обоих градиентов, в том числе находящихся на значительном расстоянии, что свидетельствует о дальности переноса загрязняющих веществ.

В зоне воздействия комбината «Печенганикель» (15 км от комбината) наблюдения за три срока показали снижение в талломе лишайников содержания Fe ( $H_{2,11} = 6,73$ ,  $p < 0,03$ ) и Al ( $H_{2,11} = 8,18$ ,  $p < 0,02$ ). Одновременно концентрации Ni ( $H_{2,11} = 8,18$ ,  $p < 0,02$ ) и Cu ( $H_{2,11} = 8,18$ ,  $p < 0,02$ ) не только не снизились, но возросли более чем в 2 раза (табл. 1). На расстоянии 44 км от комбината содержание Fe, Cu, Ni осталось сопоставимым с данными 1991 г. В 2011 г. содержание серы в лишайниках увеличилось в 1,5–2,3 раза по сравнению с данными 2004 г. За исследуемый период (1991–2011 гг.) на расстоянии 15 км от комбината выявлено достоверное увеличение содержания Ca ( $H_{2,11} = 8,18$ ,  $p < 0,02$ ), K ( $H_{2,11} = 7,53$ ,  $p < 0,02$ ), Mn ( $H_{2,11} = 7,56$ ,  $p < 0,03$ ); на расстоянии 44 км от комбината – Ca ( $H_{2,11} = 8,18$ ,  $p < 0,02$ ), K ( $H_{2,11} = 8,18$ ,  $p < 0,02$ ), что вероятно, как и в зоне воздействия комбината «Североникель», связано не с оптимизацией почвенных условий, а с атмосферным поступлением данных элементов в талломы лишайников.

В районе комбината «Печенганикель» в лишайниках определено содержание ряда химических элементов, не являющихся основными для функционирования (табл. 3). Наиболее высокие уровни накопления отмечаются для Co (в 7–10 раз), Cd (в 2–3 раза), Pb (в 4–6 раз), As (в 7–9 раз), Cr (в 5 раз) по

сравнению с наиболее удаленной пробной площадью Никельского градиента (44 км от комбината). Особенность лишайников накапливать не только основные химические элементы, необходимые для собственного роста и развития, но и сопутствующие, слабо вовлекаемые в биологический круговорот в зависимости от их содержания в окружающей среде, отмечалась и другими исследователями [Власова, 2011; Межибор, Большунова, 2014].

Проведенные исследования показывают высокую аккумуляционную способность лишайников в условиях атмосферного загрязнения, в том числе на значительном расстоянии от источников выбросов. Степень аккумуляции тяжелых металлов лишайниками гораздо выше, чем у хвойных деревьев и кустарничков. Содержание никеля и меди в лишайниках в 3–8 раз выше, чем в листьях сосудистых растений [Исаева, Сухарева, 2013; Сухарева, 2013]. В условиях загрязнения лишайники накапливают в своих талломах высокие концентрации тяжелых металлов. Анализ коэффициентов концентрации (Кс) и биологического поглощения (Кб) показал, что лесные экосистемы Мурманской области испытывают значительное воздействие со стороны горно-металлургических предприятий региона. Высокие значения Кс характерны для Ni, Cu, Co, Fe, S, As; Кб – для Fe, Cu, Ni, S. Атмосферные выбросы распространяются на значительное расстояние, являясь причиной изменения биогеохимических параметров лесных экосистем (почвы и биоты).

## Заключение

Химический состав лишайников существенно трансформируется в условиях атмосферного загрязнения. Лишайники в большом количестве накапливают тяжелые металлы (Cu, Ni, Fe), никель аккумулируется наиболее

интенсивно. Аномально высокие уровни накопления тяжелых металлов в лишайниках отмечаются как в непосредственной близости от медно-никелевых комбинатов (5–10 км от источника загрязнения), так на значительном удалении от источников выбросов (30–70 км от комбината). Высокие уровни накопления в лишайниках отмечаются также для рассеянных элементов – Co, Cd, Pb, As, Cr.

При сравнении результатов анализов разных периодов исследования (1991, 2004, 2007, 2011 гг.) обнаружилось, что на современном этапе в талломах лишайника *Cladonia stellaris* снизились концентрации Al, Fe, Zn, Ni, Cu в зоне воздействия комбината «Североникель», содержание Fe – в районе влияния комбината «Печенганикель». Одновременно в зоне воздействия комбината «Печенганикель» (на расстоянии 15 км) концентрация Ni в лишайниках возросла более чем в 2 раза.

Произошло увеличение концентраций Ca, K и P в лишайниках в зоне воздействия горно-металлургических предприятий региона, но связано оно не с оптимизацией минерального состава почвы, а с атмосферным поглощением данных элементов лишайниками.

Высокие уровни накопления тяжелых металлов отмечены в лишайниках на территориях Лапландского государственного природного биосферного заповедника и государственного природного заповедника «Пасвик», несмотря на значительную удаленность последнего от источника выбросов, что свидетельствует о дальности переноса загрязняющих веществ. В лишайниках на территории Лапландского государственного природного биосферного заповедника за период 2007–2011 гг. в талломах лишайников снизилась только концентрация никеля.

Установлены парцеллярные различия в химическом составе лишайников подкروновых и межкروновых пространств. Под кроной ненарушенных фитоценозов в талломах лишайников возрастает концентрация K, Zn, Cu, в условиях атмосферного загрязнения – K, P, Fe, Zn, Cu, т. е. дополнительным источником элементов минерального питания становятся элементы, вымываемые осадками из кроны деревьев и растений напочвенного покрова.

Анализ величин коэффициента биогеохимической подвижности (Vx) показывает высокую биогеохимическую активность Fe как в ненарушенных, так и в подверженных атмосферному воздействию фитоценозах северотаежных лесов. Значительную биогеохимическую подвижность демонстрируют также K, P, S, Al, Cu, Ni. Данный коэффициент оказывается более информативным по сравнению

с коэффициентом биологического поглощения (Кб) при оценке геохимических особенностей условий произрастания.

Способность лишайников к аккумуляции загрязняющих веществ гораздо выше, чем у хвойных деревьев и кустарничков, что позволяет использовать их элементный состав в качестве критерия оценки загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами и соединениями серы в условиях атмосферного загрязнения, в том числе на значительном расстоянии от источников выбросов.

## Литература

- Анищенко Л. Н., Шапурко В. Н., Сафранкова Е. А. Особенности аккумуляции тяжелых металлов растениями и лишайниками в условиях сочетанной антропогенной нагрузки // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 9. С. 1527–1531.
- Баргальи Р. Биогеохимия наземных растений / Пер. с англ. И. Н. Михайловой. М.: ГЕОС, 2005. 457 с.
- Бязров Л. Г. Лишайники в экологическом мониторинге. М.: Научный мир, 2002. 336 с.
- Бязров Л. Г. Эпифитные лишайники г. Москвы: современная динамика видового разнообразия. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2009. 146 с.
- Вайнштейн Е. А. Некоторые вопросы физиологии лишайников. III. Минеральное питание // *Ботан. журнал*. 1982. Т. 67, № 5. С. 561–571.
- Вершинина С. Э., Вершинин К. Е., Чебыкин Е. П. Биоиндикационные исследования в Прибайкалье. Сообщение 1. Элементный состав эпифитных лишайников г. Усолье-Сибирское // *Вестник Иркутской государственной сельскохозяйственной академии*. 2011. Вып. 44, ч. 4. С. 13–20.
- Власова Н. В. Ландшафтно-геохимическое состояние таежных экосистем в бассейне Нижней Тунгуски // *География и природные ресурсы*. 2011. № 2. С. 100–107.
- ГОСТ 26490–85 Почвы. Определение серы по методу ЦИНАО.
- Геохимия окружающей среды / Под ред. Ю. Е. Саеда, Б. А. Ревича, Е. П. Янина и др. М.: Недра, 1990. 334 с.
- Золотарева Б. Н., Скрипченко И. И., Мартин Ю. Л. Лишайники – индикаторы загрязнения среды тяжелыми металлами // *Природа*. 1981. № 1. С. 86–88.
- Исаева Л. Г., Сухарева Т. А. Элементный состав дикорастущих кустарничков в зоне воздействия комбината «Североникель»: данные многолетнего мониторинга // *Цветные металлы*. 2013. № 10. С. 86–92.
- Касимов Н. С., Кошелева Н. Е., Самонова О. А. Подвижные формы тяжелых металлов в почвах лесостепи Среднего Поволжья (опыт многофакторного регрессионного анализа) // *Почвоведение*, 1995. № 6. С. 705–713.
- Кузьменкова Н. В., Кошелева Н. Е., Асадулин Э. Э. Тяжелые металлы в почвах и лишайниках тундровой и лесотундровой зон (северо-запад Кольского полуострова) // *Почвоведение*. 2015. № 2. С. 244–256.

Лукина Н. В., Никонов В. В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты / Отв. ред. Л. О. Карпачевский. Апатиты: Кольский научный центр РАН, 1998. 316 с.

Лукина Н. В., Полянская Л. М., Орлова М. А. Питательный режим почв северотаежных лесов / Отв. ред. Л. О. Карпачевский. М.: Наука, 2008. 342 с.

Лянгузова И. В., Горшков В. В., Баккал И. Ю., Бондаренко М. С. Воздействие почвенного загрязнения тяжелыми металлами на напочвенный покров сосняка лишайниково-зеленомошного в условиях полевого эксперимента // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 3 (27). С. 74–86.

Межибор А. М., Большунова Т. С. Биогеохимическая характеристика сфагновых мхов и эпифитных лишайников в районах нефтегазодобывающего комплекса Томской области // Известия Томского политехнического университета. 2014. Т. 325, № 1. С. 205–212.

Московченко Д. В., Валеева Э. И. Содержание тяжелых металлов в лишайниках на севере Западной Сибири // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2011. № 11. С. 162–172.

Панин М. С. Аккумуляция тяжелых металлов растениями Семипалатинского Прииртышья / Под ред. В. Б. Ильина. Семипалатинск: Семей, 1999. 309 с.

Попова Л. Ф., Накваксина Е. Н. Нормирование качества городских почв и организация почвенно-химического мониторинга. Архангельск: Сев. (Аркт.) федер. ун-т им. М. В. Ломоносова, 2014. 108 с.

Программа «Пасвик». Общий отчет 2008: Состояние окружающей среды в приграничном районе Норвегии, Финляндии и России / Корпийувä Оу, Ювяскюля, 2008. 21 с.

Рассеянные элементы в бореальных лесах / Под ред. А. С. Исаева. М.: Наука, 2004. 616 с.

Страховенко В. Д., Хожина Е. И., Щербов Б. Л. Распределения радиоцезия и микроэлементов в системе лишайник–субстрат и в теле лишайника // Геохимия. 2008. № 2. С. 141–150.

Сухарева Т. А. Оценка состояния сосновых лесов в зоне влияния медно-никелевых комбинатов при

уменьшении эмиссионной нагрузки // Известия Самарского НЦ РАН, 2013. Т. 15, № 3 (3). С. 1072–1076.

Сухарева Т. А., Лукина Н. В. Минеральный состав ассимилирующих органов хвойных деревьев после снижения уровня атмосферного загрязнения на Кольском полуострове // Экология. 2014. № 2. С. 1–8.

Чернавина И. А., Потапов Н. Г., Косулина Л. Г., Кренделева Т. Е. Большой практикум по физиологии растений. Минеральное питание. Физиология клетки. Рост и развитие / Под ред. Б. А. Рубина. М.: Высш. школа, 1978. 408 с.

Яковлев Б. А. Климат Мурманской области. Мурманск: Мурманское книжное издательство, 1961. 200 с.

Cvijan M., Subakov-Simic G., Krizmatnic J. Monitoring of the «lichen desert» in the Belgrade area (1980/81, 1991 and 2007) // Archives of biological sciences. 2008. Vol. 60, no. 2. P. 215–222.

Erdman J. A., Gough L. P. Variation in the element content of *Parmelia chlorochroa* from the Powder River Basin of Wyoming and Montana // *Borilologist*. 1977. Vol. 80, no. 2. P. 292–303.

Halonen O., Tulkki H., Derome J. Nutrient analysis methods // *Metsantutkimuslaitoksen tiedonantoja*. 1983. Vol. 121. P. 1–28.

Nash T. H., Gries C. The use of lichens in atmospheric deposition studies with an emphasis on the arctic // *Science of the total environment*. 1995. P. 729–736.

Gandois L., Agnan Y., Leblond S., Sejalon-Delmas N., Le Roux G., Probst A. Use of geochemical signatures, including rare earth elements, in mosses and lichens to assess spatial integration and the influence of forest environment // *Atmospheric Environment*. 2014. Vol. 95. P. 96–104.

Kauppi M. Fluorescence microscopy and microfluorimetry for the examination of pollution damage in lichens // *Ann. Bot. Fenn*. 1980. Vol. 17, no. 2. P. 163–173.

Seaward M. R. D. Large-scale air pollution monitoring using lichens // *GeoJourn*. 1992. No. 4. P. 403–411.

StatSoft, Inc STATISTICA (data analysis software system), version 9.1.2010. www.statsoft.com

Поступила в редакцию 16.10.2015

## References

Anishchenko L. N., Shapurko V. N., Safrankova E. A. Osobennosti akumulatsii tyazhelykh metallov rasteniyami i lishainikami v usloviyakh sochetannoi antropogennoi nagruzki [The peculiarities of accumulation of heavy metals by plants and lichens in the conditions of combined anthropogenic load]. *Fundamental research*. 2014. Vol. 9. P. 1527–1531.

Bargal'i R. Biogeokhimiya nazemnykh rasteni [Biogeochemistry of terrestrial plants]. Transl. from English I. N. Mikhailova. Moscow: GEOS, 2005. 457 p.

Byazrov L. G. Lishainiki v ekologicheskom monitoringe [Lichens in ecological monitoring]. Moscow: Scientific world, 2002. 336 p.

Byazrov L. G. Epifitnye lishainiki g. Moskvy: sovremennaya dinamika vidovogo raznoobraziya. [Epiphytic

lichens of Moscow city: recent changes of species diversity]. Moscow: Partnership of scientific publications KMK, 2009. 146 p.

Chernavina I. A., Potapov N. G., Kosulina L. G., Krendeleva T. E. Bol'shoi praktikum po fiziologii rastenii. Mineral'noe pitanie. Fiziologiya kletki. Rost i razvitie [Advanced practical course in plant physiology. Mineral nutrition. Cell physiology. Growth and development]. Ed. B. A. Rubina. Moscow: Higher. school, 1978. 408 p.

GOST 26490–85 Pochvy. Opreделение sery po metodu TsINAO [GOST 26490–85 Soils. Determination of sulfur by CINAO method]. Geokhimiya okruzhayushchei sredy [Geochemistry of the environment]. Eds J. E. Saet, B. A. Revich, E. P. Yanin and al. Moscow: Nedra, 1990. 334 p.

Isaeva L. G., Sukhareva T. A. Elementnyi sostav dikorastushchikh kustarnichkov v zone vozdeistviya kombinata "Severonikel": dannye mnogoletnego monitoringa [Elemental composition of wild small shrubs in the area of influence of "Severonikel" combine: data of long-term monitoring]. *Tsvet*, 2013. No. 10. P. 86–92.

Kasimov N. S., Kosheleva N. E., Samonova O. A. Podvizhnye formy tyazhelykh metallov v pochvakh leso-stepi Srednego Povolzh'ya (opyt mnogofaktornogo regressionnogo analiza) [Mobile forms of heavy metals in soils of Middle Volga forest-steppe (experience of multivariate regression analysis)]. *Soil science*. 1995. Vol. 6. P. 705–713.

Kuz'menkova N. V., Kosheleva N. E., Asadulin E. E. Tyazhelye metally v pochvakh i lishainikakh tundrovoi i lesotundrovoi zon (severo-zapad Kol'skogo poluostrova) [Heavy metals in soils and lichens in the tundra and forest-tundra zones (North-West of Kola Peninsula)]. *Soil science*. 2015. Vol. 2. P. 244–256.

Lukina N. V., Nikonov V. V. Pitatel'nyi rezhim lesov severnoi taigi: prirodnye i tekhnogennye aspekty [Nutritional regime of Northern taiga forests: natural and technogenic aspects]. Ed. L. O. Karpachevskii. Apatity: Publishing house of Kola scientific centre of RAS, 1998. 316 p.

Lukina N. V., Polyanskaya L. M., Orlova M. A. Pitatel'nyi rezhim pochv severotaezhnykh lesov [Nutrient regime of soils in the Northern taiga]. Ed. L. O. Karpachevskii. Moscow: Nauka, 2008. 342 p.

Lyanguzova I. V., Gorshkov V. V., Bakal I. Yu., Bondarenko M. S. Vozdeistvie pochvennogo zagryazneniya tyazhelymi metallami na napochvennyi pokrov sosnyaka lishainikovo-zelenomoshnogo v usloviyakh polevogo eksperimenta [Influence of soil pollution (heavy metals) on the lichen pine forest soil cover in conditions of field of experiment]. *Vestnik of Volga State University of technology. Series: Forest. Ecology. Nature management*. 2015. No. 3 (27). P. 74–86.

Mezhibor A. M., Bol'shunova T. S. Biogeokhimi-cheskaya kharakteristika sfagnovykh mkhov i epifitnykh lishainikov v raionakh neftegazodobyvayushchego kompleksa Tomskoi oblasti [Biogeochemistry of sphagnum moss and epiphytic lichens in oil and gas exploration areas of Tomsk region]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2014. Vol. 325, no. 1. P. 205–212.

Moskovchenko D. V., Valeeva E. I. Soderzhanie tyazhelykh metallov v lishainikakh na Severe Zapadnoi Sibiri [Content of heavy metals in lichens of West Siberian North]. *Vestnik of ecology, forestry and landscape studies*. 2011. No. 11. P. 162–172.

Panin M. S. Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov ras-teniyami Semipalatinskogo Priirtysh'ya [Accumulation of heavy metals by plants of the Semipalatinsk area]. Ed. V. B. Il'in. Semipalatinsk: Families, 1999. 309 p.

Popova L. F., Nakvaksina E. N. Normirovanie kachestva gorodskikh pochv i organizatsiya pochvenno-khimicheskogo monitoringa [Estimation of quality of

urban soils and organization of soil chemical monitoring]. Arkhangelsk: Northern (Arctic) Federal University, 2014. 108 p.

Programma "Pasvik". Obshchii otchet 2008: Sostoyanie okruzhayushchei sredy v prigranichnom raione Norvegii, Finlyandii i Rossii [Pasvik Programme. Summary report 2008: state of the environment in the of Norwegian, Finnish and Russian border area]. Kопijyvä Oy, Jyväskylä, 2008. 21 p.

Rasseyannye elementy v boreal'nykh lesakh [Scattered elements in boreal forests]. Ed. A. S. Isaev. Moscow: Nauka, 2004. 616 p.

Strakhovenko V. D., Khozhina E. I., Shcherbov B. L. Raspredeleniya radiotseziya i mikroelementov v sisteme lishainik-substrat i v tele lishainika [Distribution of radioactive Cs and trace elements in the lichen-substrate system and in the lichen body]. *Geochemistry*. 2008. No. 2. P. 141–150.

StatSoft, Inc STATISTICA (data analysis software system), version 9.1.2010. www.statsoft.com

Sukhareva T. A. Otsenka sostoyaniya osnovnykh lesov v zone vliyaniya medno-nikelevykh kombinatov pri umen'shenii emissionnoi nagruzki [Assessment of pine forests state in zone of copper-nickel enterprises influence at emission loading reduction]. *Proc. Samara scientific center RAS*. 2013. Vol. 15, no. 3 (3). P. 1072–1076.

Sukhareva T. A., Lukina N. V. Mineral composition of assimilative organs of conifers after reduction of atmospheric pollution in the Kola Peninsula. *Russ. J. Ecol*. 2014. Vol. 45, no. 2. P. 95–102.

Vainshtein E. A. Nekotorye voprosy fiziologii lishainikov. III. Mineral'noe pitanie [Some problems of the physiology of lichens. III. Mineral nutrition]. *Botan. J*. 1982. Vol. 67, no. 5. P. 561–571.

Vershinina S. E., Vershinin K. E., Chebykin E. P. Bioindikatsionnye issledovaniya v Pribaikal'e. Soobshchenie 1. Elementnyi sostav epifitnykh lishainikov g. Usol'e-Sibirskoe [Bioindication studies in Cis-Baikal. Report 1. Elemental composition of epiphytic lichens of the city of Usolie-Siberian]. *Vestnik IrGSCCHA*. 2011. Vol. 44, part 4. P. 13–20

Vlasova N. V. Landshaftno-geokhimiicheskoe sostoyanie taezhnykh ekosistem v basseine Nizhnei Tunguski [Landscape geochemistry of taiga ecosystems in the Lower Tunguska River basin]. *Geography and natural resources*. 2011. No. 2. P. 100–107.

Yakovlev B. A. Klimat Murmanskoi oblasti [Climate of the Murmansk region]. Murmansk: Murmansk book publishing house, 1961. 200 p.

Zolotareva B. N., Skripchenko I. I., Martin Yu. L. Lishainiki – indikatory zagryazneniya sredy tyazhelymi metallami [Lichens, indicators of environment pollution by heavy metals]. *Nature*. 1981. No. 1. P. 86–88.

Received October 16, 2015



**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:****Сухарева Татьяна Алексеевна**

старший научный сотрудник, к. б. н.  
Институт проблем промышленной экологии Севера  
Кольского научного центра РАН  
Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская область,  
Россия, 184209  
эл. почта: sukhareva@inep.ksc.ru  
тел.: (81555) 79696

**CONTRIBUTOR:****Sukhareva, Tatiana**

Institute of North Industrial Ecology Problems,  
Kola Science Center, Russian Academy of Sciences  
14a Akademgorodok, 184209 Apatity, Murmansk region,  
Russia  
e-mail: sukhareva@inep.ksc.ru  
tel.: (81555) 79696