

УДК 631.524.6:582.9

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.1.37

**ВЛИЯНИЕ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
НА ПОКРЫТИЕ СТВОЛОВ ДЕРЕВЬЕВ
ЭПИФИТНЫМИ ЛИШАЙНИКАМИ
В ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ СЕВЕРО-ДВИНСКОГО БАССЕЙНА
И БЕЛОМОРСКО-КУЛОЙСКОГО ПЛАТО**

© С.Н. Тарханов, д-р биол. наук, ст. науч. сотр., зав. лаб.

Институт экологических проблем Севера УрО РАН, наб. Северной Двины, 23, г. Архангельск, Россия, 163000; e-mail: tarkse@yandex.ru

Анализ состояния лишайникового покрова позволяет выявить влияние техногенного загрязнения на самых начальных стадиях деградации лесных экосистем, когда изменения на уровне фитоценоза в целом еще не регистрируются. Целью исследований является изучение накопления серы и тяжелых металлов в талломе эпифитных лишайников и воздействия аэротехногенного загрязнения на общее проективное покрытие ими стволов деревьев. Исследования проводили общепринятыми методами в лесных насаждениях бассейна Северной Двины и Беломорско-Кулойского плато на пробных площадях, заложенных в ельниках черничного типа и сосняках сфагновой группы. Дана оценка содержания серы и тяжелых металлов (Zn, Cu, Cd, Pb, Hg) в талломе *Hurogymnia physodes* (L.) Nyl. в разных условиях произрастания. Определено общее проективное покрытие стволов деревьев сосны и березы эпифитными лишайниками. Полученные результаты свидетельствуют о региональном (от местных источников эмиссии) аэротехногенном загрязнении серой таллома эпифитных лишайников. Их загрязнение тяжелыми металлами, вследствие отсутствия крупных металлургических и горно-обогатительных комбинатов, незначительно и близко к фоновому уровню. Общей тенденцией аэротехногенной трансформации эпифитных лишайников является уменьшение их проективного покрытия в связи с загрязнением атмосферного воздуха, прежде всего, сернистыми соединениями. Установлены прямые связи общего покрытия эпифитными лишайниками стволов форофитов с расстоянием до Архангельского целлюлозно-бумажного комбината и объектов теплоэнергетики, что свидетельствует о его уменьшении с приближением к источнику выбросов. Это соответствует характеру деградации эпифитного лишайникового покрытия в лесных насаждениях других промышленных регионов.

Ключевые слова: эпифитные лишайники, *Hurogymnia physodes* (L.) Nyl., сера, тяжелые металлы, общее проективное покрытие, атмосферное загрязнение.

Введение

Исследования элементного состава лишайников для оценки степени загрязнения атмосферы широко ведутся учеными в Скандинавии, на Кольском полуострове [11, 13, 15] и севере материковой части России [14]. Способность к накоплению загрязняющих веществ у лишайников гораздо выше, чем у многих сосудистых растений, что объясняется особенностями их морфологии и физио-

логии. Например, у лишайников нет восковой кутикулы, вся их поверхность круглосуточно открыта для диффузии любого химического вещества, находящегося в воздухе или на субстрате [1], они способны накапливать различные соединения даже при пониженных температурах. При этом лишайники могут поглощать воду в капельно-жидком состоянии из атмосферного воздуха и накапливать токсичные вещества из сильно разбавленных растворов [7].

Анализ состояния лишайникового покрова позволяет выявить влияние техногенных эмиссий на самых начальных стадиях деградации лесных экосистем, когда изменения на уровне фитоценоза в целом еще не регистрируются. Лишайники из группы устойчивых к антропогенным воздействиям видов накапливают в своих слоевищах различные химические элементы, что свидетельствует о загрязнении среды. Результаты исследований влияния атмосферного загрязнения на состояние эпифитных лишайников отражены в работах многих исследователей [1, 6, 12, 16].

Предприятия целлюлозно-бумажной промышленности (более 80 тыс. т выбросов в год) и объекты теплоэнергетики (около 60 тыс. т выбросов в год) обуславливают специфику качественного состава атмосферных эмиссий в Северодвинском бассейне, в частности увеличение доли сернистых соединений в воздухе, что определяет загрязнение ими лишайникового покрова в лесных насаждениях. Общий объем выбросов вредных веществ в атмосферный воздух региона составляет ежегодно до 250 тыс. т. На формирование регионального фона также может оказывать влияние дальний перенос атмосферных загрязнений, прежде всего от предприятий цветной металлургии на Кольском полуострове. На расстоянии 15...30 км от промышленных зон максимальные по метеоусловиям концентрации диоксида серы в приземном слое атмосферного воздуха, рассчитанные с помощью программы «Эколог», составляют 0,02 мг/м³ [8]. Среднегодовая концентрация сульфат-ионов в снеге на периферии зон влияния предприятий Архангельска и Новодвинска колеблется от 5 до 20, в фоновых районах – 0,51 мг/л [2]. Отсутствие металлургических и горно-обогатительных предприятий определяет невысокий уровень загрязнения атмосферного воздуха соединениями металлов. Содержание микроэлементов (Fe, Ni, Cu, Zn, Mn, Cr, Pb) в Архангельске и Северодвинске значительно ниже, чем в других промышленных городах России, особенно в центрах металлургии [8]. Площадь двукратного (в сравнении с фоном) загрязнения снежного покрова твердыми веществами (на расстоянии до 30 км от промышленных зон Архангельска, Северодвинска и Новодвинска) составляет 2558 км², десятикратного (на расстоянии до 20 км) – 1380 км².

Целью настоящих исследований является оценка содержания серы и тяжелых металлов в таллеме эпифитных лишайников в различных условиях произрастания и влияния аэротехногенного загрязнения на покрытие ими стволов деревьев.

Методы исследования

Объекты исследований расположены в типичных северотаежных ландшафтах, преимущественно с равнинным или слегка волнистым рельефом,

в бассейне Северной Двины и на сопредельной территории Беломорско-Кулойского плато (Приморский, Холмогорский, Плесецкий, Пинежский, Мезенский районы Архангельской области и юго-западная часть Ненецкого автономного округа (НАО)) (рис. 1).



Рис. 1. Схема районов расположения пробных площадей

Пробные площади (в количестве 99 шт.) располагались в основном в северной тайге, в ельниках и сосняках черничных, на подзолистых почвах с высокой кислотностью верхних горизонтов, бедных элементами питания, в частности обменными основаниями, гумусом и азотом, и с бедным подзолистым горизонтом. Часть пробных площадей (16 шт.) размещена в сосняках сфагновой группы, произрастающих преимущественно на болотных верховых торфяных и торфяно-глеевых почвах.

Пробные площади в соответствии с принятыми в лесоустройстве стандартами закладывали на различном расстоянии от самых мощных региональных источников выбросов – Архангельского ЦБК (г. Новодвинск) и Архан-

гельской ТЭЦ (г. Архангельск), с учетом преобладающих ветров. Они располагались вне зон влияния «низких» и «неорганизованных» источников эмиссии, авто- и железнодорожных магистралей, что предопределило их подверженность загрязнению в основном «высокими» источниками выбросов. Расстояние между пробными площадями вблизи источников выбросов составляло 0,5...1,0 км, в более удаленных районах – до 10...20 км. На каждой пробной площадке методом случайной выборки у основания ствола и на высоте 1,3 м с северной и южной сторон у 10...30 деревьев сосны и березы в вегетационный период (преимущественно 1997–1998 гг.) при помощи рамки определяли общее проективное покрытие эпифитными лишайниками (в процентах от площади субстрата), отбирали образцы эпифитного лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. и формировали один смешанный образец (массой в воздушно-сухом состоянии не менее 200 г) для проведения лабораторных анализов. Этот вид доминирует, составляя до 70...90 % покрытия эпифитными лишайниками и встречается в различных экологических условиях (встречаемость до 95 %). Общее проективное покрытие эпифитными лишайниками стволов сосны (на высоте 1,3 м) и березы (у основания ствола) относится к наиболее информативным и приемлемым для оценки степени загрязнения атмосферы [8].

Общее содержание серы (S) в образцах определяли турбидиметрическим методом [5], содержание тяжелых металлов (Cd, Pb, Zn, Cu) – методом атомно-абсорбционной спектроскопии с распылением и атомизацией раствора в пламени на спектрофотометре «Спектр-5» [3]. Пробы готовили методом сухого озоления при температуре $t = 500$ °С с дальнейшей обработкой золы кислотами. Содержание ртути (Hg) определяли на анализаторе «Юлия-2М» [4]. Минерализацию проводили концентрированной азотной кислотой в герметических реакторах при $t = 180$ °С в течение 1 ч.

Районы аэротехногенного загрязнения соответствовали критериям, рассмотренным в работах [2, 8, 10]. Фоновые площадки заложены на удалении более 120 км от г. Архангельска (Мезенский, Пинежский районы Архангельской области и юго-запад НАО). Полученный при исследованиях материал обработан методами вариационной статистики при помощи пакета лицензионных программ Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Имеются данные [7], что содержание веществ в слоевищах разных видов листоватых и кустистых лишайников, отобранных с различных субстратов (коры разных древесных пород) достоверно не различается. В таблице приведены и проанализированы усредненные данные валового содержания S и тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb, Cd, Hg), полученные по смешанным образцам талломов *H. physodes* без учета древесной породы – форофита. Концентрация S в талломе *H. physodes* ельников черничных в районах аэротехногенного загрязнения достоверно в 1,4 раза ($t_{\text{факт}} = 4,00$; $t_{0,01} = 3,27$) превышает фоновый уровень. Хотя по максимальным показателям превышение в районах аэротехногенного

Содержание тяжелых металлов (мг/кг) и серы (%) в эфигтных лишайниках (в числителе минимальное и максимальное значения, в знаменателе – среднее арифметическое значение с ошибкой)

Районы	Pb	Cd	Zn	Cu	Hg	S
Аэротехногенного загрязнения *	0,55...75,09 6,78±1,43	0,01...0,25 0,10±0,01	16,24...423,29 53,28±7,80	1,40...12,20 5,14±0,27	0,005...0,56 0,24±0,01**	0,06...0,20 0,11±0,00
	2,28...10,25 5,91±0,70	0,05...0,16 0,10±0,01	23,09...47,12 33,49±2,27	4,30...9,82 6,24±0,50	0,10...0,32 0,22±0,02	0,05...0,15 0,09±0,01
	4,31...7,13 5,51±0,66	0,09...0,11 0,10±0,00	28,82...43,43 35,61±3,27	3,74...4,71 4,38±0,23	0,16...0,21 0,18±0,01	0,06...0,10 0,08±0,01
	1,45...15,87 5,84±0,85	0,04...0,19 0,12±0,01	31,17...54,89 42,57±1,56	3,75...6,44 4,97±0,18	0,15...0,34 0,23±0,02	0,06...0,20 0,10±0,01
	2,49...11,47 5,19±0,78	0,00...0,36 0,13±0,03	37,24...74,40 55,58±3,46	2,25...8,63 4,84±0,63	0,12...0,28 0,20±0,03****	0,06...0,13 0,08±0,01****
	5,45...9,25 7,35±1,90	0,10...0,12 0,11±0,01	35,40...42,86 39,13±1,86	3,73...4,98 4,36±0,62	Не отр.	Не отр.
	* Локальный и субрегиональный территориальный уровень техногенного воздействия [9]. ** Число пробных площадей n = 46. *** n = 15. **** n = 6. ***** n = 7.					

загрязнения по Pb, Zn, Cu и Hg составляет соответственно 6,5; 5,7; 1,4 и 2,0 раза, усредненные показатели содержания тяжелых металлов достоверно не различаются. Можно отметить повышенное накопление S в *H. Physodes* в ельниках черничных по сравнению с сосняками черничными влажными ($t_{\text{факт}} = 4,00$; $t_{0,05} = 3,18$), а также Zn – по сравнению с сосняками сфагновыми ($t_{\text{факт}} = 2,44$; $t_{0,05} = 2,08$). Под крону у ели проникает меньше осадков, чем у сосны, что может препятствовать вымыванию этих биофильных элементов из эпифитных лишайников.

Накопление химических веществ в талломе *H. Physodes* зависит от их концентрации в воздухе, которая связана с метеорологическими условиями в районе загрязнения атмосферного воздуха (направлением и скоростью ветра, осадками, температурными инверсиями и др. факторами). Нами установлено [8], что концентрация серы в талломе *H. Physodes* в районе увеличивается с повышением расчетных концентраций диоксида серы (SO_2) и сероводорода (H_2S) в приземных слоях атмосферного воздуха в юго-западном направлении от Архангельской ТЭЦ и Архангельского ЦБК ($r = 0,46 \dots 0,63$; $s_r = 0,17 \dots 0,20$; $p < 0,05$ и $p < 0,01$ соответственно), а также с повышением концентрации H_2S в воздухе ($r = 0,39$; $s_r = 0,17$; $p < 0,01$) по северо-восточному румбу.

Ранее [8] было показано, что максимальное общее проективное покрытие (ОПП) эпифитными лишайниками сосны для всей совокупности изучаемых нами пробных площадей в ельниках и сосняках черничных с северной стороны дерева у основания ствола составляет (80 ± 5 %), с южной – значительно ниже (60 ± 4 %). На высоте 1,3 м эти показатели гораздо меньше (65 ± 3 и 39 ± 4 % соответственно). У березы максимальные показатели ОПП лишайников у основания ствола и на высоте 1,3 м почти не различаются, составляя $78 \dots 79 \pm 7$ % с севера и 84 ± 6 и 77 ± 4 % с юга. Максимальные показатели ОПП эпифитных лишайников в сосняках сфагновой группы достигают $55 \dots 60 \pm 4$ % в прикорневой части деревьев, на высоте 1,3 м – 45 ± 4 % с северной стороны и только 27 ± 4 % с южной стороны. Следовательно, различия с максимальными показателями покрытия сосны лишайниками, характерными для насаждений черничного типа леса, с северной стороны ствола составляют 20 %, с южной – 5 % у основания ствола и 12 % на высоте 1,3 м.

В Северо-Двинском бассейне и на Беломорско-Кулойском плато общая площадь покрытия стволов деревьев эпифитными лишайниками значительно изменяется, если фоновый уровень загрязнения атмосферы превышен в 2,0–2,5 раза [8]. Для условий Среднего Урала это превышение может составлять 1,5–2,3 раза [6]. По нашим данным, в сосняках сфагновой группы ОПП стволов деревьев лишайниками с северной стороны на высоте 1,3 м тесно и отрицательно коррелирует с расчетной концентрацией SO_2 в приземных слоях воздуха по юго-западному румбу ($r = -0,79$). Линейные зависимости ОПП эпифитными лишайниками стволов форофитов от расстояния до источника эмиссии довольно тесные (рис. 2), вклад фактора достоверен на принятых

уровнях значимости, особенно у сосны на высоте 1,3 м к северо-востоку (F – критерий, $p = 0,001$) и у основания ствола березы к юго-западу от источников выбросов (F – критерий, $p < 0,001$).

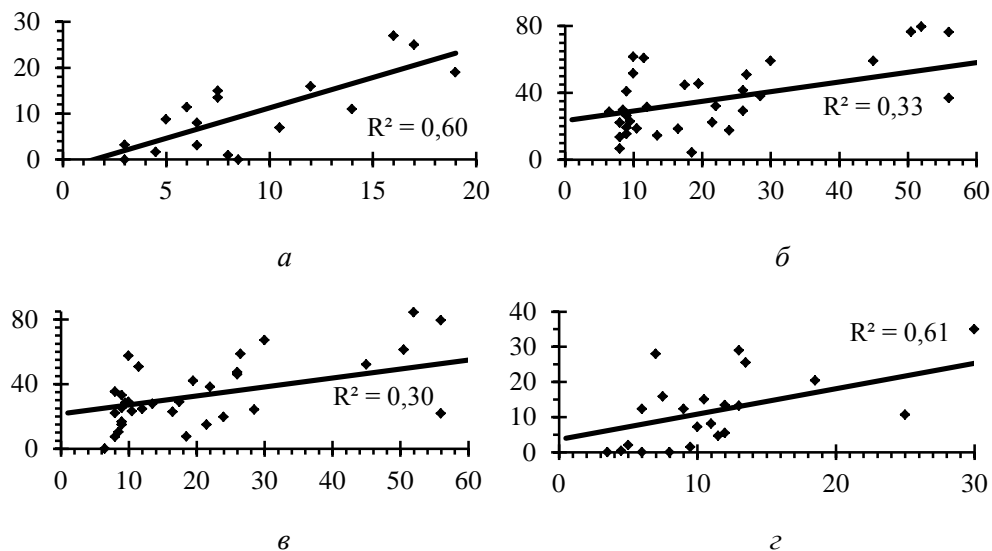


Рис. 2. Зависимость общего проективного покрытия стволов сосны на высоте 1,3 м (а – ю, СВ) и основания стволов березы (б – с, ЮВ; в – ю, ЮВ; г – ю, ЮЗ) эпифитными лишайниками от расстояния до источника выбросов (с, ю – соответственно северная и южная стороны ствола; СВ, ЮВ, ЮЗ – соответственно северо-восточный, юго-восточный, юго-западный румбы; вертикальная ось – ОПП, %; горизонтальная ось – расстояние до источника выбросов, км)

Связи покрытия стволов форофитов эпифитными лишайниками с содержанием в талломе тяжелых металлов слабые или отсутствуют. ОПП стволов сосны эпифитными лишайниками на высоте 1,3 м с южной стороны (без учета румба и типов леса) отрицательно и в слабой степени ($r = -0,40 \dots -0,42$; $s_r = 0,16 \dots 0,18$; $p < 0,05$) коррелирует с концентрацией Hg, Cu в талломе *H. Physodes*. Покрытие лишайниками основания стволов березы отрицательно и слабо коррелирует с концентрацией в талломе Hg и Cu ($r = -0,33 \pm 0,13 \dots -0,38 \pm 0,12$; $p < 0,05$). Это связано с отсутствием в регионе основных источников загрязнения тяжелыми металлами, в первую очередь металлургических и горно-обогатительных предприятий, как на Урале [6].

Заключение

В бассейне Северной Двины и на Беломорско-Кулойском плато аэротехногенное воздействие на разные компоненты лесных экосистем, в том числе на эпифитные лишайники, определяется главным образом выбросами кислотооб-

разующих сернистых соединений от АЦБК и Архангельской ТЭЦ. Концентрация серы в талломе эпифитных лишайников (*Hypogymnia physodes* L.) в ельниках черничных в районах аэротехногенного загрязнения в 1,4 раза выше чем в фоновых районах (на удалении более 120 км от Архангельска). Общей тенденцией аэротехногенной трансформации эпифитных лишайников является уменьшение их проективного покрытия в связи с влиянием соединений серы. Установлена прямая корреляция общего покрытия стволов сосны и березы эпифитными лишайниками на расстоянии до АЦБК и Архангельской ТЭЦ ($r = 0,55 \dots 0,78$), что свидетельствует о его уменьшении с приближением к источнику эмиссии. Это соответствует характеру деградации эпифитных лишайников в лесных насаждениях других промышленных регионов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андерсон Ф.К., Трешоу М. Реакция лишайников на атмосферное загрязнение // Загрязнение воздуха и жизнь растений. Л.: Гидрометеиздат, 1988. С. 295–326.
2. Лобанова О.А., Надеин А.Ф., Тарханов С.Н., Кочерина Е.В. Химический состав осадков и снежного покрова как показатель аэротехногенного загрязнения окружающей среды Архангельской агломерации//Север. экология: сб. науч. тр. ИЭПС: Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2000. С. 40–54.
3. Методические рекомендации по спектральному определению тяжелых металлов в биологических материалах и объектах окружающей среды. М.: Госкомгидромет СССР, 1986. 51 с.
4. Методические указания по обнаружению и определению общей ртути в пищевых продуктах методом беспламенной атомной адсорбции. М.: Центральный НИИ агрохимического обслуживания сельского хозяйства, 1990. 11 с.
5. Методические указания по турбидиметрическому определению серы в растениях. М.: Центральный НИИ агрохимического обслуживания сельского хозяйства, 1986. 9 с.
6. Михайлова И.Н., Воробейчик Е.Л. Эпифитные лишайники в условиях химического загрязнения: зависимости доза – эффект//Экология. 1995. № 6. С. 455–460.
7. Свирко Е.В., Страховенко В.Д. Тяжелые металлы и радионуклиды в слоевищах лишайников в Новосибирской области, Алтайском крае и Республике Алтай//Сиб. экол. журн. 2006. № 3. С. 385–390.
8. Тарханов С.Н., Прожерина Н.А., Коновалов В.Н. Лесные экосистемы бассейна Северной Двины в условиях атмосферного загрязнения. Диагностика состояния. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2004. 333 с.
9. Черненко Т.В., Бочарников В.Н. Комплексная оценка и организация данных в системе биомониторинга лесных территорий//Лесоведение. 2003. № 1. С. 37–47.
10. Юдахин Ф.Н., Лобанова О.А., Тарханов С.Н. Аэротехногенное загрязнение окружающей среды Архангельской агломерации и прилегающих к ней территорий//Геоэкология, инженерная геология, геогидрология, геокриология. 2001. № 4. С. 369–375.
11. Dorozhkina M.V., Pavlova Ye.Yu., Budnikova L.L. Heavy metals in lichens and soils of Monchegorsk (Kola Peninsula)//The AMAP Intern. Symp. On environmental pollution of Arctic: Extended abstr. Troms, 1997. Vol. 1. P. 359–362.

12. *Le Blanc F., De Sloover J.* Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal//Can. y. Bot., 1970. Vol. 48, N 8. P. 1485–1496.

13. *Lippo H., Poikolainen J., Kubin E.* The use of moss, lichen and pine bark in the nationwide monitoring of atmospheric heavy metal deposition in Finland//Water, Air and Soil Pollut. 1995. Vol. 85. P. 2241–2246.

14. *Melnikov S.A.* The state of the Arctic environment: Report on heavy metals. Rovaniemi: Arctic Centre, 1991. Vol. 2. P. 82–153.

15. *Reimann C., Caritat P. de, Halleraker J.H., Finne T.E., Boyd R., Jæger Ø., Volden T., Kashulina G., Bogatyrev I., Chekushin V., Pavlov V., Åyräs M., Räsänen M-L., Niskavaara H.* Regional atmospheric deposition patterns of Ag, As, Bi, Cd, Hg, Mo, Sb and Tl in a 188,000 km² area in the European Arctic as displayed by terrestrial moss samples – Long range atmospheric transport versus local impact // Atmospheric Environment. 1997. Vol. 31. P. 3887–3901.

16. *Stringer P.W., Stringer M.H.L.* Air pollution and distribution of epiphytic lichens and bryophytes in Winnipeg, Manitoba // Bryologist. 1974. Vol. 77. N 4. P. 405–426.

Поступила 19.12.14

UDC 631.524.6:582.9

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.1.37

Influence of Aerotechnogenic Pollution on the Tree Trunks Coverage by Epiphytic Lichens in the Forest Plantations of the Northern Dvina Basin and the White Sea-Kuloi Plateau

S.N. Tarkhanov, Doctor of Biological Sciences, Senior Research Officer

Institute of Ecological Problems of the North, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, Arkhangelks, 163000, Russian Federation; e-mail: tarkse@yandex.ru

Analysis of the lichen cover reveals the influence of technogenic pollution at the very initial stages of forest ecosystems degradation, when changes at phytocenosis are not yet registered. The purpose of our research is to study the accumulation of sulfur and heavy metals in the thallus of epiphytic lichens and the impact of aerotechnogenic pollution on the total projective cover of the tree trunks. The research was carried out by conventional methods in the sampling areas of the blueberry spruce forests and sphagnum pine forests in the Northern Dvina basin and the White Sea-Kuloi plateau. The estimation of sulfur and heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb, Hg) in thallus of *Hypogymnia rhyodes* (L.) Nyl. in different growing conditions is given. The total projective cover of tree trunks of pine and birch by the epiphytic lichens is determined. The results demonstrate the regional (from the local emission sources) environmental contamination of thallus of epiphytic lichens by sulfur. Their heavy metal contamination is insignificant due to the absence of major metallurgical and mining and processing plants, and close to the background level. The general trend of aerotechnogenic transformation of epiphytic lichens is to reduce their projective cover because of the air pollution, especially by the sulfur compounds. The direct links of total cover of the phorophit trunks by epiphytic lichens with the distance to the Arkhangel'sk pulp and paper mill and heating enterprises are established. The total cover decreases with the approach to the source

of emissions. This corresponds to the nature of the degradation of epiphytic lichen cover in the forest plantations of other industrial regions.

Keywords: epiphytic lichens, *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., sulfur, heavy metals, total projective cover, atmospheric pollution.

REFERENCES

1. Anderson F.K., Treshou M. Reaktsiya lishaynikov na atmosfernoe zagryaznenie [Reaction of Lichens on Air Pollution]. *Zagryaznenie vozdukha i zhizn' rasteniy* [Air Pollution and Plant Life]. Leningrad, 1988, pp. 295–326.
2. Lobanova O.A., Nadein A.F., Tarkhanov S.N., Kocherina E.V. Khimicheskiy sostav osadkov i snezhnogo pokrova kak pokazatel' aerotekhnogenogo zagryazneniya okruzhayushchey sredy Arkhangel'skoy aglomeratsii [Chemical Composition of Precipitation and Snow Cover as an Indicator of Aerotechnogenic Pollution of the Environment of the Arkhangelsk Agglomeration]. *Sever. ekologiya: sb. nauch. tr.* [The North Ecology: Proc.]. Yekaterinburg, 2000, pp. 40–54.
3. *Metodicheskie rekomendatsii po spektral'nomu opredeleniyu tyazhelykh metallov v biologicheskikh materialakh i ob"ektakh okruzhayushchey sredy* [Guidelines for the Spectral Determination of Heavy Metals in Biological Materials and Environmental Samples]. Moscow, 1986. 51 p.
4. *Metodicheskie ukazaniya po obnaruzheniyu i opredeleniyu obshchey rtuti v pishchevykh produktakh metodom besplamennoy atomnoy adsorbtsii* [Guidelines for the Detection and Determination of Total Mercury in Food by Flameless Atomic Absorption Method]. Moscow, 1990. 11 p.
5. *Metodicheskie ukazaniya po turbidimetricheskomu opredeleniyu sery v rasteniyakh* [Guidelines for the Turbidimetric Determination of Sulfur in Plants]. Moscow, 1986. 9 p.
6. Mikhaylova I.N., Vorobeychik E.L. Epifitnye likhenosinuzii v usloviyakh khimicheskogo zagryazneniya: zavisimosti doza – effect [Epiphytic Lichensynusia in Conditions of Chemical Pollution: the Dose–Effect Dependency]. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 1995, no. 6, pp. 455–460.
7. Svirko E.V., Strakhovenko V.D. Tyazhelye metally i radionuklidy v sloevishchakh lishaynikov v Novosibirskoy oblasti, Altayskom krae i Respublike Altay [Heavy Metals and Radionuclides in Lichen Thalli in the Novosibirsk Region, Altai Territory and Republic of Altai]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*, 2006, no. 3, pp. 385–390.
8. Tarkhanov S.N., Prozherina N.A., Kononov V.N. *Lesnye ekosistemy basseyna Severnoy Dviny v usloviyakh atmosferного zagryazneniya. Diagnostika sostoyaniya* [Forest Ecosystems of the Northern Dvina Basin in Terms of Air Pollution. The Diagnostics]. Yekaterinburg, 2004. 333 p.
9. Chernen'kova T.V., Bocharnikov V.N. Kompleksnaya otsenka i organizatsiya dannykh v sisteme biomonitoringa lesnykh territoriy [Comprehensive Assessment and Data Management in the Biomonitoring System of Forest Areas]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2003, no. 1, pp. 37–47.
10. Yudakhin F.N., Lobanova O.A., Tarkhanov S.N. Aerotekhnogennoe zagryaznenie okruzhayushchey sredy Arkhangel'skoy aglomeratsii i prilgayushchikh k ney territoriy [Aerotechnogenic Pollution of the Environment of the Arkhangelsk Agglomeration and Adjacent Territories]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya* [Environmental Geoscience], 2001, no. 4, pp. 369–375.

11. Dorozhkina M.V., Pavlova Ye.Yu., Budnikova L.L. Heavy Metals in Lichens and Soils of Monchegorsk (Kola Peninsula). *The AMAP Intern. Symp. on Environmental Pollution of Arctic: Extended Abs.* Troms, 1997, vol. 1, pp. 359–362.

12. Le Blanc F., De Sloover J. Relation Between Industrialization and the Distribution and Growth of Epiphytic Lichens and Mosses in Montreal. *Can. J. Bot.*, 1970, vol. 48, no. 8, pp. 1485–1496.

13. Lippo H., Poikolainen J., Kubin E. The Use of Moss, Lichen and Pine Bark in the Nationwide Monitoring of Atmospheric Heavy Metal Deposition in Finland. *Water, Air and Soil Pollut.*, 1995, vol. 85, pp. 2241–2246.

14. Melnikov S.A. *The State of the Arctic Environment: Report on Heavy Metals.* Rovaniemi, 1991, vol. 2, pp. 82–153.

15. Reimann C., de Caritat P., Halleraker J.H., Finne T.E., Boyd R., Jæger Ø., Volden T., Kashulina G., Bogatyrev I., Chekushin V., Pavlov V., Äyräs M., Räisänen M.L., Niskavaara H. Regional Atmospheric Deposition Patterns of Ag, As, Bi, Cd, Hg, Mo, Sb and Tl in a 188,000 km² Area in the European Arctic as Displayed by Terrestrial Moss Samples – Long Range Atmospheric Transport Versus Local Impact. *Atmospheric Environment*, 1997, vol. 31, pp. 3887–3901.

16. Stringer P.W., Stringer M.H.L. Air Pollution and Distribution of Epiphytic Lichens and Bryophytes in Winnipeg, Manitoba. *Bryologist*, 1974, vol. 77, no. 4, pp. 405–426.

Received on December 19, 2014
