



Российская академия наук

Научный совет РАН по лесу



Институт леса Карельского научного центра РАН



SYKE Центр окружающей среды Финляндии



norden Совет Министров Северных стран

**Материалы
международной научно-практической конференции**

**Антропогенная трансформация таежных
экосистем Европы:
экологические, ресурсные и хозяйственные
аспекты**

Петрозаводск
23-25 ноября 2004 г.

повреждения, когда потеря хвои составляет 11-25 % и 26-60 % соответственно.

В зоне действия выбросов автотранспорта имеет место тенденция возрастания некроза, хлороза и количества поврежденной хвои. Анализ состояния хвои показал, что на фоновой территории в еловых древостоях преобладают ($79 \pm 0.2\%$) деревья с неповрежденной хвоей. Воздействие выбросов приводит к значительному увеличению (в среднем в 2 раза) количества деревьев с явными признаками дехромации хвои.

Согласно вышеприведенным данным можно заключить, что аэротехногенное загрязнение от автомобильного транспорта отрицательно влияет на состояние фитоценозов зеленой зоны г. Сыктывкара.

Литература

Александров В.Ю., Кузубова Л.И., Яблокова Е.П. Экологические проблемы автомобильного транспорта. Аналитический обзор. Новосибирск. ГПНТБ СО РАН, 1995. 113 с. (Сер. Экология; Вып. 34)

Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest. Hamburg, Prague, 1994. 177 p.

ОСОБЕННОСТИ ЗАСЕЛЕНИЯ СУБСТРАТА ЭПИФИТНЫМИ ЛИШАЙНИКАМИ В УСЛОВИЯХ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Фадеева М. А.

*Институт леса Карельского научного центра РАН
185910, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11
fadeeva@krc.karelia.ru*

Лишайники являются одной из групп живых организмов, наиболее быстро и чутко реагирующих на любые изменения среды и выступающих в качестве очень точных индикаторов антропогенной трансформации таежных экосистем.

Закономерности расселения лишайников в естественных и подверженных аэротехногенному загрязнению лесах мы устанавливали, изучая первичные сукцессии эпифитов на еловом подросте 3-4 м высоты в спелых сосняках воронично-черничных, произрастающих на удалении 1-28 км (градиентный профиль заложен по линии преимущественных зимне-летних ветров — северо-восток — юго-запад) от Костомукшского горно-обогатительного комбината (КГОКа), ныне ОАО «Карельский окатыш», который функционирует с 1982 г. на северо-западе России. Предприятие выбрасывает в воздух соединения серы и тяжелые металлы. В очаге

загрязнения — до 13 км к северо-востоку и до 6-9 км к юго-западу от КГОКа, Кба (коэффициент биологической аккумуляции) техногенной пыли составляет 2-8, железа — 5-20, никеля — 2-10, хрома — 2- 5, серы — 2-3 (Фадеева, 1999, 2001). С 12 пробных площадей (лесных участков) градиентного профиля отбирались ветви (боковые побеги) ели (по 1 ветви с каждого из 20 деревьев на каждом участке). На годичных побегах (метамерах) вдоль центральной оси ветви 10–12 летнего возраста учтены число и линейные размеры талломов обнаруженных видов лишайников.

Установили, что основное участие в обрастании эпифитными лишайниками ветвей ели (табл. 1), принимают виды родов *Hypogymnia* (*H. physodes*, *H. tubulosa*), *Bryoria* (*B. capillaris*, *B. fuscescens* и др.), а также *Parmeliopsis ambigua*, в сумме количество их талломов составило 90 % от общего числа наблюдений. С меньшей частотой встречаются *Cetraria chlorophylla*,

Таблица 1

Видовой состав и численность эпифитов ветвей ели в сосновых лесах, произрастающих в районе функционирования КГОКа

Вид (род) лишайника	Количество наблюдений вида	Доля (%) от общего числа наблюдений
<i>Hypogymnia</i> spp.	3292	65,06
<i>Bryoria</i> spp.	1021	20,18
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	250	4,94
<i>Cetraria pinastri</i>	79	1,56
<i>Imshaugia aleurites</i>	61	1,21
<i>Platismatia glauca</i>	26	0,51
<i>Usnea</i> spp.	21	0,42
<i>Cetraria chlorophylla</i>	19	0,38
<i>Alectoria sarmentosa</i>	9	0,18
<i>Parmelia sulcata</i>	7	0,14
<i>Cetraria sepincola</i>	4	0,08
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	1	0,02
Прочие	270	5,32
Всего	5060	100

C. pinastri, *Imshaugia aleurites*, *Platismatia glauca* и *Usnea* spp. Их суммарная доля составляет 4.3%. В группу «прочие» вошли не определяемые до вида стерильные талломы накипных лишайников (5.3 %). Остальные, отмеченные на ели виды представлены несколькими или одним экземпляром.

В естественных условиях (незагрязненных сосновых лесах) ветви ели заселяются лишайниками в определенной, имеющей видовую специфику, последовательности (табл. 2). Единичные талломы видов рода *Bryoria* появляются уже на метамерах 1-2 года жизни. Массовая колонизация

субстрата — ветвей ели листоватыми лишайниками происходит на 4-5 год, 7-8 — летние побеги на 100 % оказываются заселенными лишайниками. Обогащение видового состава продолжается до 8-9 лет, одновременно возрастает количество экземпляров ранее поселившихся листоватых и кустистых видов. Накипные лишайники составляют исключение, численность их талломов снижается к основанию ветви. Вероятно, медленно растущие накипные виды вытесняются более обильными и по сравнению с первыми быстрее растущими талломами листоватых и кустистых лишайников.

Темпы заселения субстрата и жизненность отдельных талломов листоватых видов к основанию ветви (10-12 летние побеги) снижаются. Так, поверхность талломов *Hypogymnia physodes* и *Imshaugia aleurites* становится морщинистой, появляются многочисленные некротические пятна, лопасти обламываются. Количество талломов с неповрежденной корой резко уменьшается, т.е. налицо все признаки старения таллома.

Таблица 2
Средние линейные размеры (см) талломов эпифитных лишайников в зависимости от возраста метамеров (ветви ели) в незагрязненных сосновых лесах, произрастающих в районе КГОКа

Вид (род) лишайника	Возраст метамера, лет									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Bryoria</i> spp.	1.90*	1.35	1.43	1.28	1.27	1.26	1.32	1.44	1.74	2.04
<i>Hypogymnia</i> spp.	—	—	0.10*	0.15	0.18	0.23	0.27	0.36	0.42	0.59
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	—	—	—	0.10*	0.15	0.20	0.31	0.30	0.32	0.42
<i>Cetraria pinastri</i>	—	—	—	0.10*	—	0.23	0.14	0.26	0.27	0.26
<i>Platismatia glauca</i>	—	—	—	—	0.10	0.24	0.37	0.38	—	0.25
<i>Imshaugia aleurites</i>	—	—	—	—	0.26	0.17	0.29	0.40	0.64	0.34
<i>Alectoria sarmentosa</i>	—	—	—	—	0.60*	2.80*	2.40	0.80	2.30*	—
<i>Cetraria chlorophylla</i>	—	—	—	—	0.70*	0.35	0.44	0.65	0.43	—
<i>Usnea</i> spp.	—	—	—	—	0.70*	1.00	1.12	1.53	0.67	1.23
<i>Cetraria sepincola</i>	—	—	—	—	—	0.10*	0.10*	0.20*	—	0.30*
<i>Parmelia sulcata</i>	—	—	—	—	—	—	0.15	0.23	—	0.45
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.60*	—	—
Прочие	—	—	—	0.10	0.10	0.09	0.11	0.13	0.10	—

Примечание: — вид отсутствует, * — размер единственного экземпляра данного вида лишайника

По-видимому, резкое снижение освещенности в приствольной части кроны, усиление конкурентных отношений (механическое давление талломов друг на друга, и, возможно, химическое воздействие) приводит к элиминации фотофильных видов, таких как *Hypogymnia physodes* и *Imshaugia aleurites* и снижает вероятность повторной колонизации. В то же

время талломы видов, легко выносящих затенение, например, *Cetraria chlorophylla* и *Platismatia glauca*, продолжают развиваться на более старых фрагментах ветвей без признаков угнетения.

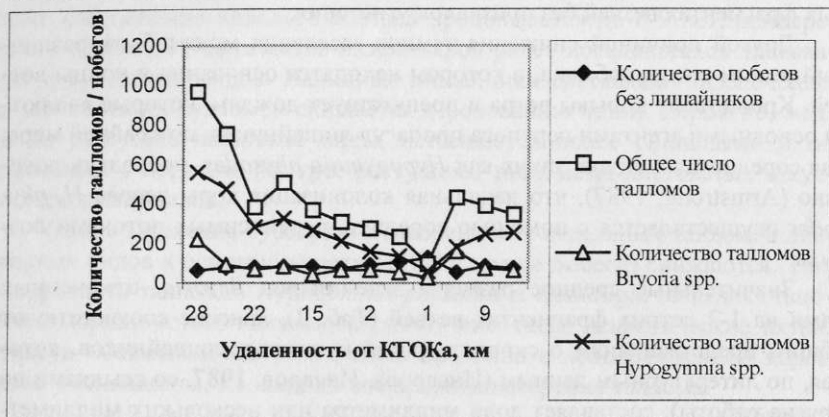
Другой причиной снижения темпов заселения может быть различный режим воздухообмена, в котором находятся основания и концы ветвей. Крона гасит порывы ветра и препятствует дождям, которые являются основными агентами переноса спор лишайников, по крайней мере, для соредиезных видов, таких как *Hypogymnia physodes*, поскольку доказано (Armstrong, 1987), что начальная колонизация коры дерева *H. physodes* осуществляется с помощью соредиев, переносимых потоками воздуха.

Значительные средние размеры экземпляров *Bryoria*, отмеченных нами на 1-2 летних фрагментах ветвей (Таб. 2), явно не соответствуют общим представлениям о скорости роста кустистых лишайников, которая, по литературным данным (Инсарова, Инсаров, 1987, со ссылками на другие работы), составляет доли миллиметра или нескольких миллиметров в год. Так же «скачкообразный» характер изменения длины талломов у других кустистых видов (роды *Alectoria*, *Usnea*) на побегах смежных возрастов говорит о предпочтительном размножении их фрагментами талломов. Таким образом, кустистые виды распространяются преимущественно фрагментами талломов, что позволяет им в самые короткие сроки осваивать новый субстрат.

Листоватые лишайники, к примеру, *Hypogymnia* spp., на концах ветвей представлены мелкими талломами. Средние размеры талломов *Hypogymnia* постепенно увеличиваются к основанию ветви, что хорошо объясняет ту минимальную роль, которую играют фрагменты таллома в процессе освоения свежего субстрата этой группой лишайников. Различиями в способах вегетативного размножения, вероятно, объясняется меньший интервал времени, необходимый для закрепления на субстрате видов, размножающихся фрагментами таллома по сравнению с видами, размножающимися соредиями.

В условиях загрязнения среды заселенность субстрата лишайниками падает. На ближайших к КГОКу наиболее «грязных» пробных площадях, находящихся на расстоянии до 2 км от него, по сравнению с «условно чистыми», наиболее удаленными (на 25 и более км) пробными площадями, снижены число случаев колонизации субстрата как всеми видами, так и доминантами. На «грязных» участках выше число побегов без лишайников («голых»). Сравнение частоты встречаемости незаселенных фрагментов ветвей на пробных площадях градиентного профиля с использованием критерия χ^2 с высокой степенью достоверности ($\chi^2=47.3$, $n=12$, $p<0.005$) выявило связь числа «голых» побегов с наиболее «грязными»

пробными площадями. На остальных пробных площадях (удаленных от КГОКа на 5-6 и более км) их число статистически не различалось.



Успешная колонизация субстрата зависит от количества и качества диссеминационного материала, возможности разноса вегетативных пропагул (диаспор) лишайников и «узнаваемости» самого субстрата лишайником.

При загрязнении среды процессы репродукции у лишайников нарушаются (Jürging, 1975; Kauppi, Mikkonen, 1980 и др.). Соредиеобразование в поврежденных участках талломов, по одним данным (De Slover, Le Blanc, 1970, цит. по: Wirth, 1976), усиливается, по другим (Kiss, 1988), формирование каких-либо органов размножения в районах с высоким уровнем загрязнения (например, SO_2) у многих видов затруднено.

Мы сравнили сроки и интенсивность соредиеобразования у *Hypogymnia physodes* (на ели) и только интенсивность соредиеобразования у *Parmeliopsis ambigua* (на сосне) в «грязных» биотопах и «условно чистых». Для первого вида различия не выявлены ни по одному из двух показателей. У *P. ambigua* количество целиком соредиеобразующих талломов было выше на «грязных» участках ($p < 0.05$). Экстенсивное соредиеобразование ведет к увеличению количества диссеминационного материала, тем самым повышая вероятность заселения нового субстрата. Мы считаем, что в условиях загрязнения облегчается также рассеивание диаспор лишайников, поскольку в загрязненных древостоях вследствие повышения интенсивности дефолиации по сравнению с «незагрязненными», кроны деревьев изреживаются (Габукова, Ивонис, 1994; Литинский, 1996), что приводит к изменению ветрового режима (в сторону усиления ветра)

в нижних ярусах леса. Как известно, при усилении ветра возрастает интенсивность и дальность рассеивания диссеминационного материала лишайников (Armstrong, 1987).

Специального обсуждения требует вопрос о влиянии техногенного загрязнения на жизнеспособность лишайниковых диаспор. В доступной нам литературе мы не встретили данных, касающихся эпифитов. По данным Т.Н. Отнюковой (1997), у напочвенных кустистых видов рода *Cladina* из загрязненных биотопов в верхних, растущих частях подстилки отсутствуют клетки водорослей, а поскольку кладины размножаются обламывающимися верхушками талломов, то при загрязнении среды обитания снижается жизнеспособность диссеминационного материала.

Эпифитные лишайники обитают на субстрате (коре дерева) с определенным уровнем трофности, что является главным аргументом для признания наличия взаимосвязи эпифит-форофит. Большинство исследователей придерживается этой точки зрения, хотя существует и противоположное мнение (Motyka, 1927; Felfoldy, 1941, цит. по: Koskinen, 1955). Нам первая точка зрения представляется более предпочтительной с позиции оценки негативного влияния аэротехногенного загрязнения на лишайниковый покров. Она хорошо объясняет причины снижения видового богатства и обилия лишайников по мере роста загрязнения: поглощающий загрязняющие вещества субстрат становится «неузнаваемым» лишайником и непригодным для обитания.

Литература

Габукова В.В., Ивонис И.Ю. Влияние антропогенного загрязнения на физиологические процессы у сосны // Адаптация, рост и развитие растений. 1994. Петрозаводск. С.141- 152.

Инсарова И.Д., Инсаров Г.Э. Анализ роста лишайников // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л., 1987. Т.10. С. 87-114.

Литинский П.Ю. Оценка динамики деградации лесов в зоне воздействия выбросов Костомукшского ГОКа дистанционными методами // Проблемы антропогенной трансформации лесных биогеоценозов Карелии. Петрозаводск. 1996. С. 182-192.

Отнюкова Т. Н. Морфологическое состояние *Cladina stellaris* (Cladoniaceae, Lichenes) как показатель атмосферного загрязнения // Бот. журн. 1997. Т. 82. № 3. С. 57 — 66.

Фадеева М.А. Лишайники сосновых лесов северо-запада Карелии в условиях атмосферного загрязнения. Автореф. дисс. на соиск. учен. ст. к.б.н. С.-Пб. 1999. 27 с.

Фадеева М.А. Мониторинг состояния воздушной среды в районе Костомукшского горно обогатительного комбината (КГОКа) с использованием

лишайников // Биоэкологические аспекты мониторинга лесных экосистем Северо — Запада России. Петрозаводск. 2001. С. 209-224.

Armstrong R.A. Dispersal in a population of the lichen *Hypogymnia physodes* // Environmental and Experimental Botany. 1987. 27 (3) : 357-363.

Jürging P. Epiphytische Flechten als Bioindikatoren der Luftverunreinigung // Bibliotheca Lichenologica. Cramer. Vaduz. 1975. 164 p.

Kauppi M., Mikkonen A. Floristic versus single species analysis in the use of epiphytic lichens as indicators of air pollution in a boreal forest region, Northern Finland // Flora. 1980. 169: 255-281.

Kiss T. Dispersal and growth-forms: an approach towards an understanding of the life-strategy concept in lichenology // Acta bot. Hungarica. 1988. 1-2 : 175-191.

Wirth V. Über den Einfluss des SO₂ auf die Flechtenvegetation in urbanen Räumen und die Indication des SO₂-Belastung durch Flechten // Schriftenreihe für Vegetationskunde. 1976. H. 10. S. 203-214.

Koskinen A. Über die Kryptogamen der Bäume, besonders die Flechten im Wassergebiet des Päijänne sowie an den Flüssen Kolajoki, Lestijoki und Pyhäjoki. Floristische, soziologische und ökologische Studie. I. Helsinki. 1955. 176 s.

СОДЕРЖАНИЕ СЕРЫ, ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ХВОЕ PINUS SYLVESTRIS L. В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Фуксман И.Л.

*Институт леса КарНЦ РАН
185910, Петрозаводск, ул.Пушкинская, 11
irma.fuksman@krc.karelia.ru*

В последнее время в литературе появляется все больше сообщений о возможности использования вторичных метаболитов для характеристики физиологического состояния растений. Несмотря на возросший в последнее время интерес к веществам вторичного происхождения как индикаторам состояния древесных растений в условиях техногенного загрязнения, пока нет четкого понимания метаболизма этих соединений при воздействии на них поллютантов.

Исследования влияния техногенного загрязнения на сосновые древостои проводили в зоне выбросов комбината «Североникель» недалеко от г. Мончегорска. Пробные площади расположены на различном удалении от источников выбросов: 10 км (зона разрушения лесных экосистем), 30 (зона повреждения лесных экосистем) и 60 км (фоновая зона). Объектом