

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ МОНИТОРИНГА СОСНОВЫХ ЛЕСОВ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ КОЛЬСКОГО СЕВЕРА

© 2019

Ярмишко Василий Трофимович, доктор биологических наук, профессор,
заведующий кафедрой ботаники и дендрологии

Игнатъева Оксана Васильевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и дендрологии
Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова
(г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Евдокимов Александр Сергеевич, аспирант отдела Ботанический сад Петра Великого
Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Аннотация. Лесные экосистемы, расположенные на северном пределе распространения на Кольском Севере, испытывают на себе хроническое воздействие разнообразных природных и антропогенных факторов, среди которых промышленное атмосферное загрязнение в настоящее время является главным. Исследовалась пространственно-временная динамика структурно-функциональных параметров ненарушенных средневозрастных сосновых лесов (*Pinus sylvestris* L.) и лесов, подвергающихся хроническому воздействию промышленных эмиссий, в составе которых присутствуют высокоагрессивные соединения серы в сочетании с тяжелыми металлами (Cu, Ni). Многолетними исследованиями установлено, что современные тенденции состояния сообществ сосны обыкновенной в фоновых условиях обусловлены естественными природными процессами и внутривидовыми взаимоотношениями. В начале наших исследований (1982 г.) виталитетные спектры господствующей части популяций сосны отличались абсолютным господством здоровых особей, резко выраженной положительной асимметрией и островершинностью. К концу наблюдений (2014–2017 гг.) виталитетные распределения особей сосны трансформировались в полночленные, умеренно положительно асимметричные и умеренно островершинные. Аэротехногенное загрязнение в рассматриваемых условиях Кольского Севера является значимым фактором, определяющим жизненное состояние отдельных деревьев и древостоев в целом. Вблизи крупного медно-никелевого комбината оно выступает главным фактором, который оказывает угнетающее воздействие на отдельные деревья и древостои, а в отдельных случаях приводит к разрушению молодых сообществ сосны обыкновенной. Существенное снижение атмосферных выбросов комбинатом «Североникель» в последние годы вызывает заметное улучшение жизненного состояния сосновых лесов даже в зоне сильного загрязнения.

Ключевые слова: сосна обыкновенная; средневозрастные восстанавливающиеся леса; Кольский Север; экстремальные условия; многолетний мониторинг; фоновые районы; медно-никелевый комбинат; аэротехногенное загрязнение; двуокись серы; тяжелые металлы; хлорозы и некрозы хвои; продолжительность жизни; виталитетные спектры; сукцессии; индикатор.

Введение

Среди глобальных проблем современного мира важнейшее место занимает экологическое состояние окружающей среды. Неблагоприятные условия окружающей среды вызывают заметные отклонения у лесных экосистем: от нарушения морфологических параметров, виталитетной структуры до нарушения отдельных функций всей системы и ее отдельных компонентов [1–8]. Нарушения эти нетрудно заметить при сравнительном анализе нарушенных и ненарушенных лесных сообществ [9–12].

При проведении мониторинга хвойных лесов на Кольском Севере одним из основных критериев оценки жизненного состояния деревьев и древостоев является характер развития их ассимиляционного аппарата. Исследования, проведенные на территории Мурманской области в районах хронического загрязнения окружающей среды SO₂ в сочетании с тяжелыми металлами (Cu, Ni, Co), выявили целый ряд отклонений в состоянии деревьев и древостоев *Pinus sylvestris* L.: от дехромации хвои, сокращения продолжительности ее жизни до повреждения крон и частичного или полного усыхания особей [13; 3; 14–16].

Цель настоящей работы состояла в детальном анализе процессов, происходящих в восстанавливающихся после внешних нарушений лесных сообществах *Pinus sylvestris*. В задачи исследований также входила оценка возможности использования хвои

сосны обыкновенной в качестве индикатора состояния лесных сообществ на Кольском Севере.

Объекты и методика исследований

В центральной части Кольского полуострова (рис. 1) с 1939 г. осуществляется производство цветных металлов комбинатом «Североникель» [17]. Наибольшее количество аэротехногенных выбросов в окружающую среду было отмечено в период с 1973 по 1992 гг. (рис. 2): 230 тыс. т/год SO₂ и 16 тыс. т/год мелкодисперсной полиметаллической пыли, содержащей смесь сульфидов и оксидов тяжелых металлов (Ni Cu). Затем наблюдалось последовательное снижение выбросов, в результате к концу XX века произошло 3–6-кратное сокращение объемов загрязняющих веществ по сравнению с их максимальными величинами. С начала 2000-х гг. ежегодный объем выбросов оставался относительно стабильным и составлял в среднем 40 тыс. т SO₂ и 5,2 тыс. т твердых веществ [18].

Исследования средневозрастных лишайниково-зеленомошных сосновых лесов проводятся нами с 1982 г. Постоянные пробные площади размером до 0,25 га, заложены в лесных сообществах, расположенных на различном расстоянии от комбината «Североникель», и сосредоточены в пределах трех зон: фоновой, буферной и импактной. Краткая характеристика исследованных лесных сообществ *Pinus sylvestris* на ключевых участках приведена в табл. 1.

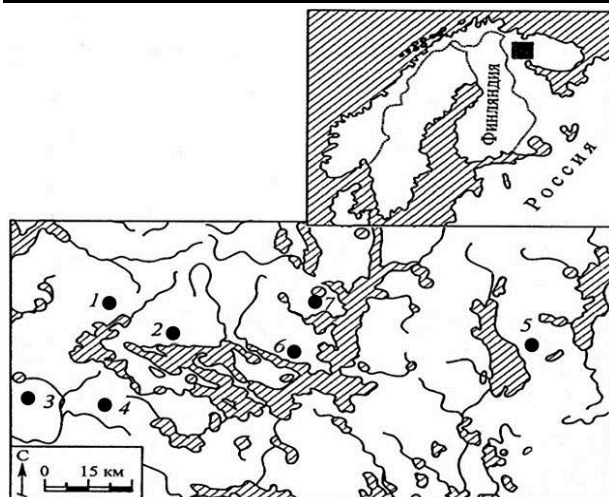


Рисунок 1 – Схема размещения постоянных пробных площадей в сосновых лесах на Кольском полуострове.

Основные районы исследований: 1 – Ливский, 2 – Мавринский, 3 – Ено-Ковдорский, 4 – Уполонский, 5 – Ловозерский, 6 – Чунозерский, 7 – Мончегорский (штриховкой показаны водные поверхности)

В напочвенном покрове доминирующими видами в травяно-кустарничковом ярусе являются: *Vaccinium myrtillus* L., *V. vitis-idaea* L., *Empetrum hermaphroditum* Hagerup. Мохово-лишайниковый ярус формируют лишайники рода *Cladonia* (*Cl. stellaris* (Opiz.) Brodo; *Cl. rangiferina* (L.) Nyl., *Cl. mitis* (Sandst.) Hus-

tich, а среди мхов чаще всего встречаются *Pohlia nutans* и *Hepaticae* spp.

На каждой ППП выполнен сплошной перебор деревьев; измерены и описаны кроны, оценено их состояние; определен возраст хвои и отобраны образцы ее для лабораторных исследований на предмет оценки степени повреждения; определено жизненное состояние всех особей *Pinus sylvestris*, входящих в состав древесного яруса [19; 3; 12; 6]. Для определения возраста и анализа радиального прироста древесины у модельных деревьев отбирали образцы древесины (керы) буравом Пресслера или спилы ствола. Количество и ширину годовых колец подсчитывали на приборе Лентаб-6 (Германия).

Продолжительность жизни хвои *P. sylvestris* определялась у 100–120 особей в верхней (8–10 мутовка) и нижней (18–20 мутовка) частях кроны с южной стороны на 3–5 побегах II порядка ветвления. Оценка площади повреждения хвои хлорозами и некрозами выполнена на основе анализа 100 пар хвоинок с помощью бинокулярной лупы типа МБС-9, отобранных с побегов II порядка ветвления у 5–7 деревьев (смешанный образец) на каждой пробной площади [3; 6].

Характеристики живого напочвенного покрова исследуемых лесных сообществ определялись на постоянных учетных площадках (20–25 шт. на ППП) размером 1 × 1 м [12].

Статистическую обработку данных проводили методами дисперсионного и регрессионного анализов [20].

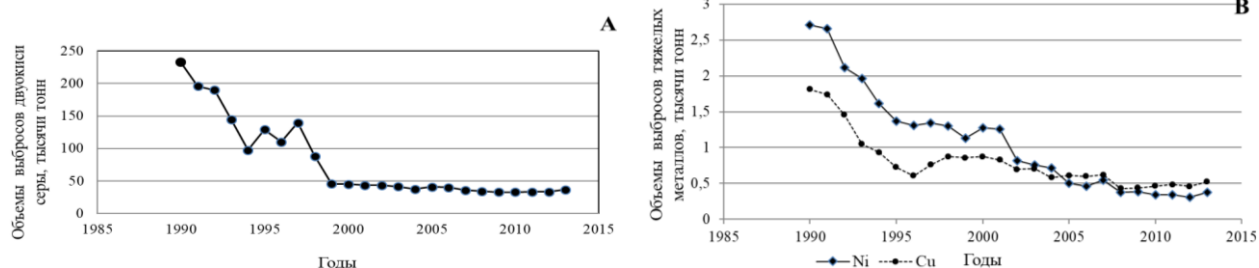


Рисунок 2 – Динамика атмосферных выбросов SO_2 (А), твердых веществ и Ni, Cu (Б) (по данным [18])

Таблица 1 – Краткая таксационная характеристика исследуемых лишайниково-зеленомошных сосновых лесов III–IV классов возраста на постоянных пробных площадях на Кольском полуострове

№№ п/п	Место расположения ППП, координаты	Высота над уровнем моря, м	Экспозиция склона; уклон склона, °	Расстояние до источника, км загрязнения	Состав древостоя	Средние таксационные характеристики древостоев					Класс бонитета
						Высота, м	Диаметр, см	Возраст, лет	Количество деревьев, шт./га	Запас древесины, м³/га	
Фоновая зона											
1	67°33,227' с.ш., 31°04,751' в.д.	180	ЮЗ; 3°	70	10 С	8,5	10,1	50	1750	22,3	V
2	67°35,356' с.ш., 31°39,159' в.д.	161	ЮЗ; 2–3°	60	10 С	8,0	8,3	60	5273	47,5	V
Буферная зона											
3	67°38,168' с.ш., 32°42,234' в.д.	177	ЮЗ; 5°	35	10 С	8,1	7,9	70	1852	32,0	V
Импактная зона											
4	67°49,216' с.ш., 32°46,447' в.д.	175	ЮЗ; 4°	8	10 С	3,2	3,4	60	5300	10,1	V-a
5	68°00,384' с.ш., 32°55,540' в.д.	198	ЮЗ; 10°	10	10 С, Ел Б	4,3	5,1	70	5450	21,8	V-a

Результаты исследований и их обсуждение

В ненарушенных сосновых лесах на Кольском Севере в органогенном горизонте Al-Fe-гумусовых подзолистых почв содержание подвижных форм Ni и Cu составляет в среднем 10 мг/кг (рис. 3). Эти концентрации тяжелых металлов были приняты нами за фоновое содержание [6]. В 1–4-летней хвое *P. sylvestris* и листьях доминантных видов кустарничков за исследованный период содержание этих загрязнителей изменялось в пределах: Ni – с 16,1 до 1,5 мг/кг и Cu – с 11,7 до 2,5 мг/кг абсолютно сухого вещества. Эти величины находятся в интервале региональных фоновых концентраций и соответствуют нормальному содержанию этих элементов в растениях [21; 2; 22–24].

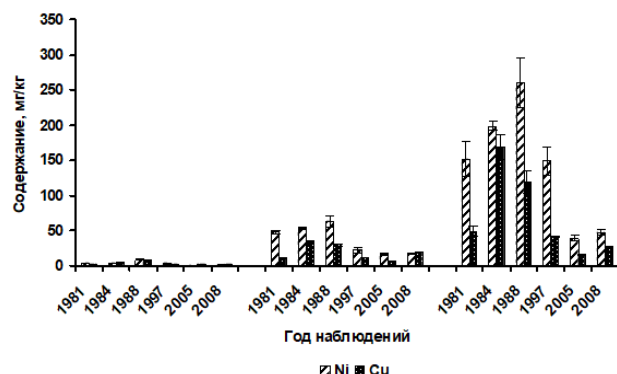


Рисунок 3 – Погодичная динамика содержания Ni и Cu в 1–4-летней хвое *Pinus sylvestris* в фоновом районе (А), буферной (Б) и импактной (В) зонах

Длина, ширина, толщина хвои разного возраста сосны обыкновенной и ее масса тесно взаимосвязаны ($r = 0,80, p < 0,05$) как в начале наших исследований, так и в настоящее время. В ряде случаев отмечены достоверные различия в линейных размерах и массе хвои сосны по мере приближения к источнику загрязнения, но взаимосвязь этого показателя с уровнем загрязнения местообитания отсутствует [3; 25].

Неоднократные детальные обследования поверхности хвоинок разного возраста в фоновых районах позволили установить, что показатели жизненного состояния хвои достоверно не различались в исследованные периоды времени. В этих условиях лишь небольшая часть (не более 5%) хвои сосны имела хлорозы и отдельные точки в виде некрозов, которые занимали площадь менее 5% от общей поверхности (табл. 2). На хвое 5–7-летнего возраста площадь визуально наблюдаемых изменений цвета хвои иногда достигала 20% поверхности, что обусловлено, по-видимому, возрастными изменениями ассимиляционных органов данного вида.

В пределах буферной зоны в начале исследований лишь 64% 1-летней хвои было отнесено к категории здоровой, более 30% хвоинок имели следы повреждения хлорозами и некрозами, однако площадь этих повреждений не превышала 5% от общей поверхности (табл. 2, [3; 25]). С увеличением возраста хвои уменьшалась доля здоровой хвои и возрастала площадь повреждений: так, 50% 4-летней хвои было покрыто хлорозами и некрозами, занимающими площадь до 10% поверхности; незначительная часть хвои (2–3%) имела некрозы в виде точек красно-

коричневого цвета, количество здоровой хвои не превышало 10%. В 2014 г. основная часть (93–98%) однолетней хвои *P. sylvestris* не имела следов изменения повреждений (табл. 2). Пятнистые хлорозы и точечные некрозы, занимающих до 5% поверхности, встречались только у незначительной части (6–7%) хвои 1–3-летнего возраста. Доля здоровой хвои 4-летнего возраста составляла 78%, остальная хвоя имела повреждения хлорозами и некрозами, но их площадь в большинстве случаев не превышала 5%.

Таблица 2 – Интенсивность повреждения хвои *Pinus sylvestris* хлорозами и некрозами в условиях разного уровня аэротехногенного загрязнения (в числителе данные 1988 г., в знаменателе – 2014 г.)

Площадь повреждения, %	Доля хвои 1–4-летнего возраста, %			
	1-летней	2-летней	3-летней	4-летней
Фоновый район				
<1	100 / 98	100 / 95	98 / 96	96 / 91
1–5	– / –	– / 5	2 / 2	4 / 7
6–10	– / –	– / –	– / –	– / 2
11–25	– / 1	– / –	– / –	– / –
26–50	– / 1	– / –	– / 2	– / –
51–75	– / –	– / –	– / –	– / –
>76	– / –	– / –	– / –	– / –
Буферная зона				
<1	66 / 98	17 / 93	10 / 94	– / 78
1–5	31 / 1	56 / 6	56 / 6	10 / –
6–10	3 / –	17 / –	16 / –	50 / 18
11–25	– / –	9 / –	16 / –	32 / –
26–50	– / 1	1 / –	2 / –	8 / 2
51–75	– / –	– / 1	– / –	– / –
>76	– / –	– / –	– / –	– / 2
Импактная зона				
<1	25 / 74	– / 55	– / 12	– / 3
1–5	37 / 23	6 / 27	– / 49	– / 52
6–10	17 / 3	21 / 13	27 / 32	– / 34
11–25	12 / –	38 / 5	36 / 7	– / 3
26–50	9 / –	19 / –	20 / –	– / 2
51–75	– / –	3 / –	7 / –	– / 3
>76	– / –	13 / –	10 / –	– / 3

На территории импактной зоны в 1988 г. лишь 25% 1-летней хвои было отнесено к категории здоровой, остальная хвоя была покрыта хлорозами и некрозами, площадь которых достигала 50% от общей поверхности (табл. 2). Вся хвоя 2- и 3-летнего возраста имела повреждения. Кроме пятнистых хлорозов и точечных некрозов, на хвое были отмечены сравнительно большие (до 3–5 мм) пятнистые и краевые некрозы. Нередко встречались апикальные некрозы хвои длиной 8–10 мм и более. Повторное обследование состояния ассимиляционных органов сосны в 2014 г. показало, что лишь хвоя текущего года не имеет видимых следов повреждения. Доля 1-летней поврежденной хвои составляла 26%, но при этом площадь повреждений не превышала 10%

(табл. 2). С увеличением возраста хвои доля здоровой хвои уменьшалась, а интенсивность повреждения постепенно усиливалась. Здоровая хвоя 4-летнего возраста составляла лишь 3% от ее общего количества, а остальная часть имела повреждения хлорозами и некрозами, площадь которых в основном не превышала 5%. В отдельных случаях (3% хвои) хлорозы и некрозы занимали свыше 75% поверхности.

Достаточно чувствительным и легко определяемым показателем состояния хвойных пород на северном пределе их распространения является продолжительность жизни хвои на деревьях [11; 13; 26; 3; 27; 15]. Информативность рассматриваемого показателя определяется большой продолжительностью функционирования ассимиляционных органов хвойных деревьев в северо-таежных сообществах, в которых хвоя сосны на деревьях сохраняется 6–9, иногда 10–12 лет [13; 3]. В исследованных лесах на ключевых участках в фоновых условиях продолжительность жизни хвои *P. sylvestris* на деревьях за весь период наблюдений варьировала в пределах от 5,7 до 6,7 лет (табл. 3), что согласуется с данными других исследователей для сосновых лесов Кольского полуострова [13; 28]. Колебания в продолжительности жизни хвои сосны на конкретных пробных площадях в фоновых районах, связаны, главным образом, с различиями погодных условий в отдельные годы.

Таблица 3 – Средняя продолжительность жизни хвои *Pinus sylvestris* на деревьях в средневозрастных сосновых лесах в районах с разным уровнем промышленного атмосферного загрязнения на Кольского Севере

Годы наблюдений	Районы (зоны) исследований		
	Фоновый район	Буферная зона	Импактная зона
1982	6,0 ± 0,4	3,9 ± 0,8	2,4 ± 0,6
1987	5,7 ± 0,6	4,2 ± 1,0	2,5 ± 0,6
2005	6,4 ± 0,4	4,2 ± 0,7	5,3 ± 0,7
2008	6,7 ± 0,5	6,4 ± 0,7	5,0 ± 0,6
2014	6,2 ± 0,5	6,1 ± 0,5	5,3 ± 0,7
2017	6,3 ± 0,4	6,2 ± 0,6	5,3 ± 0,6

В пределах буферной зоны в 1982 г. средняя продолжительность жизни хвои сосны составила около четырех лет (3,9 ± 0,8 лет), что на 2–3 года меньше, чем в фоновом районе (табл. 3). В дальнейшем, до 1990 г., величина этого показателя достоверно не изменялась, что, по-видимому, обусловлено примерно одинаковыми годовыми объемами атмосферных выбросов комбината «Североникель» (рис. 2). Проведенные в начале текущего столетия повторные исследования выявили достоверное повышение (до 6,1–6,4 года) продолжительности жизни хвои по сравнению с предыдущим периодом (табл. 3). Увеличение продолжительности жизни хвои практически до фоновых значений произошло в период резкого падения объемов атмосферных выбросов загрязняющих веществ в начале XXI века (рис. 2). Таким образом, можно заключить, что в настоящее время уровень атмосферного загрязнения, отмечаемый в пределах буферной зоны, уже не оказывает столь резкого негативного влияния на продолжительность жизни хвои *Pinus sylvestris*, как это было выявлено в начале наших исследований.

На территории импактной зоны в 1982 и 1987 гг., когда интенсивность промышленного атмосферного загрязнения была максимальной, средняя продолжительность жизни хвои сосны достигала чуть более 2-х лет (табл. 3). В 1990-е годы величина этого показателя превышала 2,3–2,5 года, но достоверно не отличалась от величины, установленной в предыдущий период. На фоне существенного сокращения объема атмосферных выбросов комбинатом «Североникель» SO₂ наблюдается увеличение продолжительности жизни хвои сосны обыкновенной в этом районе в 2 раза (табл. 3). Значение этого показателя в среднем составило 5,1 ± 0,6 лет, но было достоверно ниже по сравнению с таковым в буферной зоне. Иными словами, резкое уменьшение объемов атмосферных выбросов загрязняющих веществ привело к существенному увеличению продолжительности жизни хвои сосны обыкновенной.

Выводы

Многолетние (более 35 лет) исследования восстанавливающих после внешних нарушений средневозрастных лишайниково-зеленомошных сосновых лесов в экстремальных условиях Кольского Севера при разных уровнях атмосферного загрязнения позволили выявить существенные изменения структурно-функциональных характеристик отдельных деревьев и древостоев, изменения виталитетной структуры сообществ, нарушения в состоянии хвои, ее продолжительности жизни на деревьях, а также накопление в ней тяжелых металлов.

В фоновых сосновых лесах показатели жизненного состояния хвои достоверно не различаются в исследованные периоды времени. В этих условиях лишь небольшая часть (не более 5%) хвои сосны имела хлорозы и/или некрозы, которые занимали площадь менее 5% от общей поверхности. Иногда климатические аномалии провоцируют процессы ускоренного старения и преждевременного опадания ее с деревьев. Продолжительность жизни хвои сосны на деревьях в исследуемый период времени колебалась в пределах от 5,7 до 6,7 лет.

В районе средних уровней промышленного загрязнения (буферная зона) состояние ассимиляционных органов сосны обыкновенной в последние годы приблизилось к таковому в фоновых сосновых лесах: продолжительность жизни хвои составляет в среднем 6,3 года, практически отсутствуют повреждения на 1–3-летней хвое, а доля 4-летней с хлорозами и некрозами не превышает 22%.

В пределах импактной зоны к настоящему времени наблюдается 2-кратное увеличение продолжительности жизни хвои, которая в настоящее время составляет в среднем 4,5 ± 0,1 лет; свыше 70% 1-летней хвои практически не имеет хлорозов и некрозов, жизненное состояние 2–4-летней хвои также существенно улучшилось. Улучшение жизненного состояния, увеличение продолжительности жизни хвои и снижение содержания в ней тяжелых металлов обусловлено исключительно резким сокращением интенсивности аэротехногенного загрязнения комбинатов «Североникель».

Наблюдаемое в настоящее время значительное улучшение жизненного состояния и увеличение продолжительности жизни хвои *Pinus sylvestris* свидетельствуют о положительной реакции средневоз-

растных лишайниково-зеленомошных сосновых лесов на снижение аэротехногенной нагрузки и о продолжении процессов их восстановления в районах исследований [29].

Всесторонний анализ полученных данных позволяет заключить, что хвоя сосны обыкновенной в достаточной степени реагирует на изменения состояния окружающей среды, в частности на аэротехногенное загрязнение, что дает нам веские основания признать ее эффективным индикатором состояния лесных сообществ в условиях Кольского Севера. Особенно это важно при проведении маршрутных рекогносцировочных экспедиционных исследований.

Список литературы:

1. Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова. Л.: БИН РАН, 1990. 195 с.
2. Лукина Н.В., Никонов В.В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения. Ч. 1–2. Апатиты: КНЦ РАН, 1996. 234 с.
3. Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб.: НИИ химии СПбГУ, 1997. 210 с.
4. Жиров В.К. Адаптация и возрастная изменчивость растений на Севере. Ч. 1–2. Апатиты: КНЦ РАН, 2001. 355 с.
5. Жиров В.К., Голубева Е.И., Говорова А.Ф., Хаитбаев А.Х. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Крайнем Севере. М.: Наука, 2007. 166 с.
6. Динамика лесных сообществ Северо-Запада России. СПб.: ВВМ, 2009. 276 с.
7. Hanisch B., Kilz E. Waldschaden erkennen. Fichte und Kiefer. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 1990, 334 p.
8. Nojd P., Kauppi P. Growth of Scots pine in a changing environment // Kola peninsula and forest ecosystems in Lapland. Final rep. of the Lapl. Forest damage project. 1995. P. 61–65.
9. Дончева А.В. Ландшафт в зоне воздействия промышленности. М.: Лесная промышленность, 1978. 96 с.
10. Биоиндикация загрязнения наземных экосистем / под ред. Р. Шуберта. М.: Мир, 1988. 350 с.
11. Алексеев В.А. Некоторые вопросы диагностики и классификации поврежденных загрязнением лесных экосистем // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. С. 38–54.
12. Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИ химии СПбГУ, 2002. 240 с.
13. Цветков В.Ф. Состояние лесов, подверженных воздействию промышленных эмиссий в Мурманской области и проблемы их сохранения // Экологические исследования в лесах Европейского Севера: сборник статей / под ред. В.Ф. Цветкова. Архангельск: Архангельский институт леса и лесохимии, 1991. С. 125–136.
14. Ярмишко В.Т. Реакция сосновых лесов на снижение антропогенной нагрузки на Европейском Севере // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: мат-лы второй междунар. науч.-техн. конф. Т. 2, СПб.: СПбГЛТУ, 2017. С. 169–172.
15. Ярмишко В.Т., Лянгузова И.В. Многолетняя динамика параметров и состояния хвои *Pinus sylvestris* L. в условиях аэротехногенного загрязнения на Европейском Севере // Известия Ленинградской лесотехнической академии. 2013. Вып. 3. С. 137–148.
16. Lyanguzova I., Yarmishko V., Gorshkov V., Stavrova N., Bakkal I. Impact of heavy metals on forest ecosystems of the European North of Russia // Heavy Metals. 2018. Ch. 6. P. 92–114. DOI: 10.5772/intechopen.73323.
17. Позняков В.Я. Североникель: страницы истории комбината «Североникель». М.: Руда и металлы, 1999. 428 с.
18. Ежегодник состояния загрязнения атмосферного воздуха и выбросов вредных веществ в атмосферу на территории деятельности ГУ «Мурманское УГМС» в 2009 г. Мурманск: Гидромет, 2010. 178 с.
19. Санитарные правила в лесах Российской Федерации (Утв. приказом Федеральной службы лесного хозяйства России от 15.01.1998). М., 1998. № 10. 18 с.
20. Зайцев Г.И. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.
21. Раменская М.Л. Микроэлементы в растениях Крайнего Севера. Л.: Наука, 1974. 158 с.
22. Лукина Н.В., Никонов В.В. Питательный режим лесов северной тайги. Природные и техногенные аспекты. Апатиты: КНЦ РАН, 1998. 316 с.
23. Лозановская И.Н., Орлов Д.С., Садовникова Л.К. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: учеб. пособие для хим., хим.-технол., биол. специальностей и направлений вузов. М.: Высш. шк., 1998. 286 с.
24. Лянгузова И.В. Динамика атмосферных выбросов предприятия по производству цветных металлов и накопление токсических веществ в растениях и почве // Динамика лесных сообществ Северо-Запада России. СПб.: ВВМ, 2009. С. 25–58.
25. Ярмишко В.Т. Динамика древесного яруса сосновых (*Pinus sylvestris* L.) лесов // Динамика лесных сообществ северо-запада России. СПб.: ВВМ, 2009. С. 58–73.
26. Степанчик В.В., Тарасенко В.П., Василенко А.И. Техногенное загрязнение Республики Беларусь и его влияние на сосновые насаждения // Проблемы лесоведения и лесоводства: науч. сборник Инта леса АН Беларуси. Вып. 37, Ч. 1. Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 1993. С. 62–70.
27. Ярмишко В.Т. Крона дерева как индикатор его состояния в условиях техногенного загрязнения окружающей среды // Проблемы экологии растительных сообществ Севера. СПб.: ВВМ, 2005. С. 28–57.
28. Цветков В.Ф., Никонов В.В. Структура и запасы фитомассы хвои в сосновых молодняках Кольского полуострова // Лесоведение. 1985. № 1. С. 32–39.
29. Лянгузова И.В., Ярмишко В.Т., Беляева А.И., Салихова Ф.С., Евдокимов А.С. Состояние лесных экосистем Кольского п-ова на фоне снижения объемов антропогенных выбросов предприятием цветной металлургии // Растительные ресурсы. 2018. Т. 54, № 4. С. 65–72.

Работа выполнена в рамках государственного задания по плановой теме «Коллекции живых растений Ботанического института им. В.Л. Комарова (история, современное состояние, перспективы использования)», номер АААА – А18–11803289141–4.

SOME ASPECTS OF SCOTS PINE FORESTS MONITORING IN EXTREME CONDITIONS OF THE KOLA NORTH

© 2019

Yarmishko Vasily Trofimovich, doctor of biological sciences, professor,
head of Botany and Dendrology Department

Ignateva Oksana Vasilievna, candidate of biological sciences,
associate professor of Botany and Dendrology Department

Saint Petersburg State Forest Technical University (Saint Petersburg, Russian Federation)

Evdokimov Alexander Sergeevich, postgraduate student of Botanical Garden of Peter the Great
Komarov Botanical Institute of Russian Academy of Sciences (Saint Petersburg, Russian Federation)

Abstract. Forest ecosystems located at the Northern limit of distribution in the Kola North are chronically affected by a variety of natural and anthropogenic factors, among which industrial atmospheric pollution is currently the main one. The spatio-temporal dynamics of structural and functional parameters of undisturbed middle-aged pine forests (*Pinus sylvestris* L.) and forests exposed to chronic industrial emissions, which contain highly aggressive sulfur compounds in combination with heavy metals (Cu, Ni) was studied. Long-term studies have established that the current trends in the state of Scots pine communities in the background conditions are due to natural processes and intra-population relationships. At the beginning of our research (1982) vitalitnyye spectra of the dominant part of the pine populations differed absolute dominance of healthy individuals, pronounced positive asymmetry and peaked. By the end of observations (2014–2017) vitality distribution of individuals of the pine was transformed into full member, asymmetrique moderately positive and moderately peaked. Aerotechnogenic pollution in the considered conditions of the Kola North is a significant factor determining the vital state of individual trees and stands in general, and near a large copper-nickel plant, it is the main factor that has an oppressive effect on individual trees and stands, and in some cases leads to the destruction of young communities of Scots pine. A significant reduction in atmospheric emissions by «Severonikel» in recent years causes a noticeable improvement in the living condition of pine forests, even in the area of heavy pollution.

Keywords: scots pine; middle-aged recovering forest; Kola North; extreme conditions; long-term monitoring; background; copper-nickel plant; aerial technogenic pollution; sulfur dioxide; heavy metals; chlorosis and necrosis of needles; duration of life; vitality spectra; succession; indicator.