

УДК 470.1+581.552.5+630.425+633.877.3

СООБЩЕСТВА *PINUS SYLVESTRIS* L. В ТЕХНОГЕННОЙ СРЕДЕ НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ РОССИИ: СТРУКТУРА, ОСОБЕННОСТИ РОСТА, СОСТОЯНИЕ

В. Т. Ярмишко¹, О. В. Игнатьева²

¹ Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН
197376, Санкт-Петербург, ул. проф. Попова, 2

² Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова
194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., 5

E-mail: vasilijarmishko@yandex.ru, ignateva_oksana@inbox.ru

Поступила в редакцию 01.02.2021 г.

Исследовались лишайниково-зеленомошные сосновые леса, представленные сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) III–IV классов возраста, в условиях различных режимов аэротехногенного загрязнения окружающей среды в центральной части Кольского полуострова. Установлено, что современные тенденции формирования вторичных сосновых лесов на вырубках и гарях в фоновых районах обусловлены естественными природными процессами и внутривидовыми взаимоотношениями. Аэротехногенное загрязнение SO₂ с примесью тяжелых металлов (Ni, Cu, Co и др.) является основной причиной повреждения, ослабления и разрушения сосновых лесов. Первый признак отклонения от нормы состояния сосны обыкновенной – дехромирование хвои. Площадь пораженной поверхности хвоинок хлорозами и некрозами может достигать 75 % и более. В связи с преждевременным опадением поврежденной хвои ее продолжительность жизни на деревьях снижается до 2–3 лет в районе интенсивного загрязнения в сравнении с 6–7 годами в фоновых древостоях. Атмосферное загрязнение подавляет ростовые процессы у сосны обыкновенной: до 40–70 % прирост центральных побегов в высоту и на 30 % и более прирост по диаметру в сравнении с ненарушенными сообществами. Под воздействием поллютантов заметно ухудшается виталитетная структура средневозрастных сосняков лишайниково-зеленомошных. Наблюдаемое улучшение состояния сосновых лесов в районах промышленного атмосферного загрязнения на Кольском полуострове (снижение повреждаемости хвои и увеличение продолжительности ее жизни на деревьях, интенсификация ростовых процессов, улучшение жизненного состояния отдельных деревьев и древостоев) свидетельствуют о положительной реакции *Pinus sylvestris* на снижение аэротехногенной нагрузки.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, средневозрастные древостои, аэротехногенное загрязнение, SO₂, тяжелые металлы, продолжительность жизни хвои, интенсивность линейного и радиального роста, виталитетная структура, Кольский полуостров.

DOI: 10.15372/SJFS20210305

ВВЕДЕНИЕ

Северотаежные леса в Европейской России выполняют важнейшие биосферные функции и имеют большое экономическое значение. Проблема их сохранения в районах, где расположены многочисленные предприятия черной и цветной металлургии, горнодобывающей, химической и лесной промышленности является задачей государственной важности. В середине

прошлого века стало очевидным, что достигнутые мощности промышленного производства и его технологии уже не обеспечиваются естественной нейтрализацией токсических веществ, поступающих в атмосферу, воду и почву (Черненко, 2002; Цветков В. Ф., Цветков И. В., 2003; Динамика..., 2009; Ярмишко, Игнатьева, 2019; Yarmishko, Ignat'eva, 2019; и др.). Постоянно возрастающее количество промышленных отходов нередко вызывало серьезные нарушения

в природных лесных комплексах, а в отдельных районах – деградацию веками формирующихся экологических систем (Цветков, 2002; Проблемы..., 2005; Lyanguzova et al., 2018).

На Европейском Севере России к таким районам относится Кольский полуостров, где расположен и с 1939 г. работает комбинат по производству цветных металлов (Ni, Cu, Co и др.) «Североникель», загрязняющий окружающую среду отходами своего производства. Максимальные выбросы, составляющие в среднем в год 230–240 тыс. т SO₂ и 15 тыс. т мелкодисперсной пыли, содержащей смесь сульфидов и оксидов Ni и Cu, наблюдались в период с 1973 по 1992 г., когда комбинат перешел на переработку руды из Норильска с повышенным количеством серы. В конце 1990-х гг. на комбинате реконструированы системы очистки промышленных отходов, что позволило сократить объем выбросов SO₂ почти в 6 раз, тяжелых металлов – в 3 раза (Ежегодник..., 2007; Lyanguzova et al., 2018).

Перед современной лесной фитоценологией и экологией стоят задачи детального изучения особенностей реакции лесных биогеоценозов на изменение характеристик внешней среды, совершенствования методов изучения их структуры и динамики, биоиндикации промышленного загрязнения, а также прогнозирования последствий различных внешних нарушений. Особенно это касается сосновых лесов, преобладающих на территории Европейского Севера, которые повсеместно вовлекаются в использование народным хозяйством.

Цель настоящей работы – изучить строение, особенности роста средневозрастных сосновых лесов, испытывающих различные уровни промышленного атмосферного загрязнения на вырубках и гарях Кольского полуострова, и дать оценку их современного состояния.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в насаждениях сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) III–IV классов возраста, формирующиеся на вырубках и гарях в центральной части Кольского полуострова и испытывающих воздействие аэротехногенного загрязнения разной интенсивности (табл. 1).

Работы проводились на территории трех основных районов, расположенных на различном удалении от источника эмиссии: фоновый (контроль, 60–70 км), умеренного загрязнения (30–35 км) и интенсивного загрязнения отходами медно-никелевого производства (8–10 км). Условное районирование проведено нами на основе имеющихся данных о загрязнении сообществ сосны обыкновенной и их компонентов (Ярмишко, 1997). Основными ингредиентами атмосферных выбросов комбината являются диоксид серы и пыль тяжелых металлов (Ni, Cu, Co, Fe и др.).

В каждом районе в наиболее характерных лесных массивах на основе общепринятых методик (Методы..., 2002) были заложены постоянные пробные площади (ППП) размером 0.1–0.25 га. Для получения достоверных и сопоставимых данных были подобраны участки в близких между собой ассоциациях сосновых лесов. Характеристика древесного яруса изученных сообществ сосны обыкновенной на ключевых ППП приведена в табл. 2.

Подлесок в исследованных лесах отсутствует или редко встречаются можжевельник сибирский (*Juniperus sibirica* Burgsd.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), ива козья (*Salix caprea* L.) В напочвенном покрове доминирующими видами в травяно-кустарничковом ярусе являются: черника обыкновенная (*Vaccinium*

Таблица 1. Краткая характеристика аэротехногенного загрязнения основных районов исследований на Кольском полуострове (Ярмишко, 1997)

Загрязнитель (показатель)	Район исследований		
	фоновый	умеренного загрязнения	интенсивного загрязнения
Концентрация SO ₂ в воздухе за вегетационный период, мкг/м ³	< 10	25–35	35–85
Содержание S в хвое сосны обыкновенной, % АСВ	0.10–0.11	0.14–0.19	0.19–0.22
Содержание тяжелых металлов:			
в хвое сосны обыкновенной, мг/кг АСВ	Ni	3.6–4.2	150–500
	Cu	2.2–2.8	55–90
в почве, мг/кг почвы	Ni	8–14	1000–1400
	Cu	5–16	1000–2500

Таблица 2. Средняя таксационная характеристика древесного яруса исследуемых лишайниковых и лишайниково-зеленомошных сосновых лесов III–IV классов возраста на ППП Кольского полуострова

Координаты ППП, с. ш. (N), в. д. (E)	Высота н.у.м., м, экспозиция, крутизна склона	Расстояние до источ- ника загряз- нения, км	Состав древосто- я	Высота, м	Диаметр, см	Возраст, лет	Количество деревьев, шт./га	Древесный запас, м ³ /га	Класс бонитета
Ненарушенные древостои (фоновые районы)									
N67°33.227' E31°04.751'	180, ЮЗ, 3°	70	10С	8.5	10.1	50	1750	22.3	V
N67°35.356' E31°39.159'	161, ЮЗ, 2–3°	60	10С	8.0	8.3	70	5273	47.5	V
Район умеренного загрязнения древостои									
N67°38.168' E32°42.234'	177, ЮЗ, 5°	35	10С	8.1	7.9	70	1852	32.0	V
Район интенсивного загрязнения древостоев									
N67°49.216' E32.46.447'	175, ЮЗ, 4°	8	10С	3.2	3.4	70	5300	10.1	Va
N68°00.384' E32°55.540'	198, ЮЗ, 10°	10	10С, ед.Б	4.3	5.1	70	5450	21.8	Va

myrtilus L.), брусника (*V. vitis-idaea* L.), шикша оboeполая (*Empetrum hermaphroditum* Hagerup), толокнянка обыкновенная (*Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng.), вереск обыкновенный (*Calluna vulgaris* (L.) Hull) и др. Мохово-лишайниковый ярус формируют лишайники рода *Cladonia*: кладония звездчатая (*Cl. stellaris* (Opiz.) Brodo), кладина оленья (*Cl. rangiferina* (L.) Nyl.), кладония мягкая (*Cl. mitis* (Sandst.) Hustich). Среди мхов чаще всего встречаются плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt.), дикранум извилистостебельный (*Dicranum flexicaule* Brid) и печеночники (*Hepaticae* spp.).

В районах исследований преобладают почвы, развивающиеся на хорошо водопроницаемых, сильно завалуненных, супесчаных грубозернистых моренных водно-ледниковых отложениях, которые относятся к типу иллювиально-гумусовых подзолистых почв (Никонов, Переверзев, 1989). Наиболее характерны почвы Al-Fe-гумусовой группы, включающие Al-Fe-гумусовые подзолистые и скрыто подзолистые почвы. Отличительной чертой лесных почв является отсутствие многолетней мерзлоты.

На каждой ППП проводился сплошной пересчет деревьев по ступеням толщины; измерялись параметры крон, определялся возраст хвои на деревьях и оценивалось ее состояние (наличие повреждений в виде хлорозов и некрозов). После сплошного пересчета измеряли высоту 20–30 растущих деревьев высотомером SUUNTO, отобранных случайным образом, с одновремен-

ным определением их диаметров. По выполненным измерениям рассчитывали таксационные показатели исследованных древостоев (табл. 2).

Для определения особенностей хода роста отдельных деревьев и древостоев подбирались по 10–12 модельных деревьев на каждой ППП. Систематическая выборка их формировалась в соответствии с рядами распределения деревьев по диаметру. После предварительного описания и измерений модели спиливали на уровне корневой шейки и укладывали на брезент. Затем детально измеряли линейные приросты центральных и боковых побегов, расстояние до кроны, общую длину дерева, диаметр стволов через 0.5 или 1 м, отбирали спилы для определения на приборе ЛИНТАБ 6 возраст моделей и ширину годичных колец (Лянгузов и др., 2017; Yarmishko, 2015).

Жизненное состояние деревьев оценивали по методике, подробно изложенной в ряде работ (Ярмишко, 1997; Методы..., 2002). Общее описание подроста, подлеска и растений нижних ярусов проводили по квадратам различного размера (в зависимости от размера ППП) с целью выявления разнообразия, определения доли участия отдельных видов в сложении растительности ППП (Методы..., 2002). Одной из важнейших особенностей работ по изучению влияния аэротехногенного загрязнения на лесные сообщества была необходимость постоянного сопоставления получаемых сведений с материалами по ненарушенным поллютантам экосистемам

и с «нормой» явления. При обработке количественных данных использованы методы описательной статистики.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ненарушенные промышленным загрязнением древостои. Исследованные средневозрастные древостои сосны обыкновенной в центральной части Кольского полуострова являются одноярусными, V–Va классов бонитета, с полнотой 0.3–0.5 и запасом древесины до 45–50 м³/га. Примесь березы составляет не более 10 %. Внешние признаки влияния поллютантов в сообществах, расположенных на расстоянии 60 км и более от источника эмиссии, отсутствуют.

К одному из показателей жизненного состояния деревьев и древостоев в хвойных лесах на Европейском Севере относится характер развития ассимиляционного аппарата и его состояние. Так, в средневозрастных фоновых сосняках лишайниково-зеленомошных виталитетная структура хвои на деревьях была практически

стабильной, поврежденность ее достоверно не различалась в начале и в конце наших наблюдений (табл. 3).

В этих местообитаниях лишь небольшая часть (не более 5 %) хвои сосны имела хлорозы и/или некрозы, которые занимали площадь менее 5 % от общей поверхности. На хвое 5-летнего возраста и старше площадь хлорозов и некрозов иногда достигала 20 % поверхности, что, видимо, связано с естественными возрастными изменениями ассимиляционных органов. Одна из самых информативных и легко определяемых количественных характеристик состояния сосны обыкновенной на Европейском Севере – продолжительность жизни хвои на деревьях. В естественных, не нарушенных загрязнением, условиях на Кольском полуострове в средневозрастных сосновых древостоях хвоя на деревьях сохраняется 6–7 лет, иногда до 10 лет (в северо-восточных районах полуострова) (табл. 4).

В рассматриваемом районе исследований наряду с годами, когда сохранение на деревьях 6.5–7-летней хвои было обычным явлением,

Таблица 3. Площадь повреждения хвои сосны обыкновенной по градиенту аэротехногенного загрязнения на Кольском полуострове

Площадь повреждения, %	Доля хвои, %			
	1-летней	2-летней	3-летней	4-летней
Ненарушенные загрязнением древостои (фоновый район)				
< 1	100 / 99	100 / 96	98 / 96	96 / 91
1–5	– / –	– / 5	2 / 2	4 / 7
6–10	– / –	– / –	– / –	– / 2
11–25	– / 1	– / –	– / –	– / –
26–50	– / 1	– / –	– / 2	– / –
51–75	– / –	– / –	– / –	– / –
> 76	– / –	– / –	– / –	– / –
Район умеренного загрязнения древостоев				
< 1	66 / 98	17 / 92	10 / 92	– / 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
Район интенсивного загрязнения древостоев				
< 1	25 / 75	– / 54	– / 12	– / 3
1–5	37 / 23	6 / 26	– / 49	– / 52
6–10	17 / 3	21 / 14	27 / 30	– / 34
11–25	12 / –	38 / 5	36 / 7	– / 3
26–50	9 / –	19 / –	20 / –	– / 2
51–75	– / –	3 / –	7 / –	– / 3
> 76	– / –	13 / –	10 / –	– / 3

Примечание. 1988 г. / 2017 г. Прочерк – отсутствие хвои с данной степенью повреждения.

Таблица 4. Продолжительность жизни хвой сосны обыкновенной на деревьях в центральной части Кольского полуострова, лет

Район исследований	Год				
	1987	2005	2008	2014	2017
Фоновый (контроль)	5.9 ± 0.6	6.5 ± 0.4	6.7 ± 0.5	5.9 ± 0.5	6.1 ± 0.4
Умеренного загрязнения	4.2 ± 0.9	4.2 ± 0.7	6.4 ± 0.7	6.1 ± 0.5	6.0 ± 0.5
Интенсивного загрязнения	2.4 ± 0.7	4.5 ± 0.7	4.5 ± 0.6	5.0 ± 0.6	5.2 ± 0.5

имели место случаи массового опадения на 5–6-м годах ее жизни. При этом теряли хвою деревья всех категорий жизненного состояния, как из господствующей части древостоев, так из подчиненной. В фоновых сосняках продолжительность жизни хвой за весь период исследований варьировала от 5.7 до 6.7 лет, что согласуется с данными других исследователей для сосновых лесов Кольского полуострова (Цветков, 1984; Цветков, Никонов, 1985; Черненко, 2002) (табл. 4).

Преждевременное опадение хвой создает представление о незначительном тренде в сторону понижения жизненного состояния древостоев в естественных (фоновых) условиях.

Изучение роста отдельных деревьев имеет важное значение в связи с возможностью использования особенностей, выявленных для конкретных особей, при описании роста их совокупностей – древостоев. У сосны обыкновенной нас более всего интересовали особенности роста по высоте и диаметру на высоте груди (1.3 м).

В ходе наших последних исследований в средневозрастных сосняках лишайниково-зеленомошных выявлена тенденция последовательного увеличения ежегодного линейного прироста сосны в высоту с некоторым замедлением в отдельные годы (рис. 1).

Для подтверждения предварительных выводов кривые прироста были разбиты на временные отрезки, которые определяет сам их ход. В результате получены следующие количественные данные: фоновый Ковдорский район: 1989–2008 гг. – линейный рост ($P < 0.001$, $R^2 = 0.647$) составлял от ~ 16 до 32 см/год, 2009–2017 гг. – стабилизация на среднем уровне 27 ± 1 см/год; фоновый Ливский район: 1989–2008 гг. – линейный рост варьировал от ~ 19 до 28 см/год ($P < 0.001$, $R^2 = 0.517$), 2009–2017 гг. – оставался примерно на среднем уровне 22.4 ± 0.5 см/год. Если обобщать данные по этим районам, можно заметить, что с 2009 г. прирост в высоту во всех случаях остается стабильным: в Ливском – на среднем уровне около 20 см/год, в Ковдорском –

на несколько более высоком уровне – 27 см/год. Таким образом, интенсивность прироста центральных побегов сосны обыкновенной стабилизируется к 55–65 годам и скорее это связано не с изменением погодных условий, а с закономерностями динамики ростовых процессов у исследуемого вида в изученных сообществах.

Известно, что одна из важнейших интегральных характеристик состояния и ресурсного потенциала древостоев – радиальный прирост стволов. В ней проявляются результаты конкуренции между деревьями, находят отражение антропогенные воздействия на лесные экосистемы (рубки, пожары, мелиорация), а также другие процессы, протекающие в природных сообществах (Yarmishko, 2015; Ярмишко, Игнатьева, 2019, 2020; Yarmishko, Ignat'eva, 2019). Нами получены серии абсолютных значений ширины годичных слоев сосны обыкновенной, позволяющие оценить динамику радиального прироста и ход роста сосны в средневозрастных древостоях в двух фоновых районах исследований (Ковдорской и Ливский) на Кольском полуострове (рис. 2). Несмотря на некоторую удаленность исследуемых насаждений друг от друга и разную плотность древостоев, прослеживаются до-

**Рис. 1.** Ход роста в высоту сосны обыкновенной в основных районах исследований на Кольском полуострове.

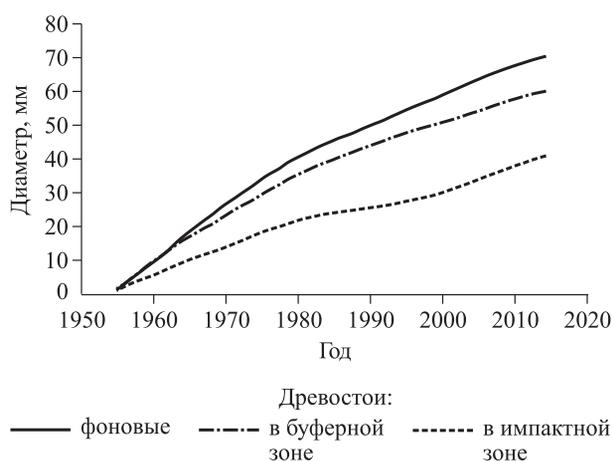


Рис. 2. Ход роста по диаметру сосны обыкновенной в основных районах исследований на Кольском полуострове.

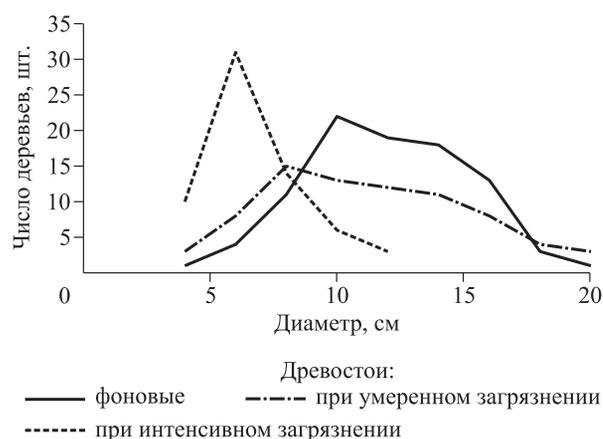


Рис. 3. Распределение особей сосны обыкновенной по ступеням толщины на ППП в основных районах исследований на Кольском полуострове.

статочной высокой синхронности погодичной изменчивости приростов и близкие их значения.

Интенсивность прироста по диаметру у сосны обыкновенной продолжает снижаться в исследованном временном интервале, не достигая стабильности в отличие от прироста в высоту. При этом прирост снижается в среднем в 2–2.5 раза: от 0.8–1.1 до 0.3–0.5 мм/год.

Распределение деревьев по ступеням толщины в районах исследований представлено на рис. 3. Показатели асимметрии рядов распределения сосны по ступеням толщины в древостоях на всех исследованных участках характеризуются положительными значениями, что согласуется с данными исследований о строении модальных древостоев в других районах таежной зоны (Бузыкин, Пшеничникова, 1978; Цветков, 2002; Усольцев и др., 2012).

Из рис. 3 видно, что на ППП распределение исследуемых средневозрастных древостоев по ступеням толщины ближе к нормальному, что свидетельствует об одновозрастности исследованных древостоев сосны обыкновенной на Кольском полуострове.

В фоновых средневозрастных сосняках лишайниково-зеленомошных визуальные призна-

ки повреждения ассимиляционных органов сосны отсутствуют. Виталитетная структура этих древостоев представлена здоровыми деревьями и сохранялась на всем протяжении периода исследований (табл. 5).

Доля ослабленных деревьев в насаждениях достигала в отдельные годы 25 %, а сухостоя – не более 2 %. В последнее время виталитетная структура древостоев сосны остается относительно стабильной: здоровые особи составляли около 70 %, ослабленные и сильно ослабленные – 25–30 %, сухие менее 2 %.

Сложившуюся виталитетную структуру исследованных сосняков в фоновых районах можно объяснить продолжающимися процессами естественной дифференциации деревьев по категориям жизненного состояния в средневозрастных древостоях.

Район умеренного загрязнения древостоев. В условиях постоянного и длительного загрязнения воздуха SO_2 в сочетании с тяжелыми металлами (Ni, Cu, Co и др.) наблюдается повреждение растений, особенно их ассимиляционных органов. В начале наших исследований около 66 % 1-летней хвои было отнесено к категории здоровой, а более 30 % хвоинок имели

Таблица 5. Относительное распределение деревьев сосны обыкновенной по категориям жизненного состояния в основных районах исследований в центральной части Кольского полуострова

Район исследований	Категории жизненного состояния деревьев				Итого
	Здоровые	Ослабленные	Сильно ослабленные	Сухие	
Фоновый (контроль)	68.1	25.9	4.3	1.7	100
Умеренного загрязнения	61.0	17.1	3.8	17.1	100
Интенсивного загрязнения	21.3	28.7	9.8	40.2	100

следы повреждения хлорозами и некрозами, однако площадь этих повреждений не превышала 5 % от общей поверхности (Динамика..., 2009). С увеличением возраста хвои уменьшалась доля здоровой хвои и возрастала площадь поврежденных: 50 % 4-летней хвои было покрыто хлорозами и некрозами, занимающими от 6 до 10 % поверхности; незначительная часть хвои (2–3 %) имела некрозы красно-коричневого цвета, здоровая хвоя практически отсутствовала. В 2017 г. основная часть хвои сосны 1-летнего возраста (93–98 %) не имела следов дехромации (см. табл. 3). Повреждения в виде пятнистых хлорозов и точечных некрозов, занимающих 1–5 % поверхности, встречались только у незначительной части (6 %) 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 1–5 %.

Средняя продолжительность жизни хвои сосны на деревьях в районе умеренного аэротехногенного загрязнения лесов в 1987 г. составила немногим более 4 лет (4.2 ± 0.9), что почти на треть меньше, чем в фоновом районе. Проведенные очередные исследования (2008–2017 гг.) выявили достоверное повышение продолжительности жизни хвои до 6 лет и более по сравнению с предыдущим периодом (см. табл. 4). Увеличение продолжительности жизни хвои практически до фоновых значений произошло в период резкого снижения объемов атмосферных выбросов загрязняющих веществ в начале XXI в. Таким образом, можно заключить, что в настоящее время установившийся уровень атмосферного загрязнения в районе умеренного загрязнения уже не оказывает столь негативного влияния на состояние хвои сосны, как это отмечалось ранее (Лянгузова и др., 2018).

Аэротехногенное загрязнение – одно из основных причин нарушения и даже полного прекращения ростовых процессов у сосны на Кольском полуострове (Динамика..., 2009). При исследованиях особенностей роста в высоту сосны обыкновенной в районе умеренного уровня аэротехногенного загрязнения выявлены нарушения линейного роста ствола и ветвей II порядка ветвления. Степень и формы нарушения роста встречались различными – начиная от отмирания верхушечной почки с последующим возобновлением роста за счет боковых почек до временного прекращения нарастания в высоту, выпадения прироста за отдельные годы или резкого сокращения его размеров и отмирания

побегов. Характер и крутизна кривых, отражающих ход роста сосны обыкновенной в высоту в фоновом районе и районе умеренного загрязнения воздуха свидетельствуют о сходном типе роста на протяжении всего периода исследований (см. рис. 1). При этом интенсивность прироста сосны в условиях умеренного атмосферного загрязнения снижалась не более чем на 27–28 % по сравнению с контролем. Ослабление прироста в высоту у сосны под воздействием атмосферного загрязнения сопровождается заметным снижением интенсивности линейного прироста боковых побегов. Так, интенсивность линейного прироста боковых побегов II порядка ветвления была в 2–2.5 раза ниже в условиях умеренного загрязнения по отношению к контрольным древостоям.

Анализ погодичной динамики радиального прироста сосны обыкновенной в средневозрастных древостоях в условиях умеренного атмосферного загрязнения на Кольском полуострове показывает, что в исследованный период времени можно отметить некоторые особенности в его изменчивости. Так, 1960-е годы характеризуются небольшим приростом по диаметру сосны, который по своим абсолютным значениям был практически одинаковым с фоновыми древостоями. В дальнейшем его интенсивность постепенно снижалась, достигая в настоящее время разности в 15–17 % с ненарушенными древостоями (см. рис. 2).

Показатели асимметрии рядов распределения сосны по ступеням толщины в древостоях умеренного загрязнения весьма сходные с данными в фоновых районах и характеризуются положительными значениями. Из рис. 3 видно, что на ППП распределение исследуемых средневозрастных древостоев по ступеням толщины ближе к нормальному, что свидетельствует об одновозрастности исследованных древостоев сосны обыкновенной в рассматриваемых условиях на Кольском полуострове.

Под влиянием промышленного атмосферного загрязнения в состоянии эдифицирующей синузии сосновых лесов наблюдаются различного рода изменения, проявляющиеся в повреждении крон деревьев, снижении интенсивности ростовых процессов, что приводит к заметному ухудшению виталитетной структуры средневозрастных сосняков. Данные по распределению деревьев сосны по категориям жизненного состояния на ППП в районе умеренного загрязнения лесов (см. табл. 5) свидетельствуют о том, что в рассматриваемом районе здоровая часть

древостоя представлена 61 % особей, что на 7 % меньше, чем в фоновых сообществах. Обращает на себя внимание довольно большое количество ослабленных (более 20 %) и сухих (17 %) особей в древостоях, что вызвано, на наш взгляд, двумя причинами: продолжающимися процессами естественной дифференциации древесных растений в сообществах и влиянием аэротехногенного загрязнения (см. табл. 5).

Район интенсивного загрязнения древостоев. Под воздействием интенсивного аэротехногенного загрязнения в 1988 г. лишь 25 % 1-летней хвои сосны было отнесено к категории здоровой, остальная хвоя была покрыта хлорозами и некрозами, площадь которых достигала 50 % от общей поверхности (см. табл. 3). Вся хвоя 2- и 3-х-летнего возраста имела повреждения. Кроме пятнистых хлорозов и точечных некрозов, на хвое отмечены сравнительно большие (до 3–5 мм) пятнистые, поясковые и краевые некрозы.

Довольно часто наблюдаются апикальные некрозы хвои длиной 8–10 мм и более. Очередная инвентаризация состояния ассимиляционных органов сосны в 2017 г. показала, 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 % (см. табл. 3). С увеличением возраста 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.

В районе интенсивного загрязнения окружающей среды в 1987 г., когда объемы атмосферных загрязнений «Североникеля» были максимальными, средняя продолжительность жизни хвои сосны едва достигала 2 лет (см. табл. 4). В 1990 г. этот показатель превышал 2 года (2.3 ± 0.1 лет), но достоверно не отличался от значений, установленных в предыдущий период наблюдений. На фоне 6-кратного сокращения объема атмосферных выбросов диоксида серы в 2005 и 2008 гг. произошло увеличение продолжительности жизни хвои сосны обыкновенной в этом районе почти в 2 раза (см. табл. 4), в среднем она составила 4.5 ± 0.6 лет, но была достоверно ниже по сравнению с таковой в районе умеренного загрязнения. В настоящее время

этот важный диагностический показатель всего лишь на 15 % меньше, чем в фоновых древостоях. В заключение можно отметить, что существенное уменьшение объемов атмосферных выбросов загрязняющих веществ привело к заметному увеличению продолжительности жизни хвои сосны, но оно еще недостаточно для полного восстановления жизнедеятельности ассимиляционных органов сосны обыкновенной в рассматриваемых условиях (Лянгузова и др., 2018).

В ходе наших последних исследований в средневозрастных сосняках лишайниково-зеленомошных в условиях интенсивного загрязнения была выявлена тенденция постепенного снижения ежегодного линейного прироста центральных побегов сосны обыкновенной (см. рис. 1). Для количественного подтверждения этих выводов мы разбили кривые прироста на три временных отрезка. В результате были получены следующие данные: в 1985–1990 гг. – линейный рост ($P < 0.001$, $R^2 = 0.632$) составлял от ~ 8 до 11 см/год (в среднем на 40 % ниже контроля); в 1997–2001 гг. – прирост в высоту ($P < 0.001$, $R^2 = 0.639$) варьировал от 5.3 до 7.5 см год⁻¹ (при этом интенсивность его была уже на 70 % ниже, чем в контроле); в 2011–2017 гг. – линейный прирост ($P < 0.001$, $R^2 = 0.581$) изменялся от 2.5 до 5 см/год (средний годичный прирост был более чем на 80 % ниже контрольных древостоев). Необходимо отметить, что измерения и расчет линейного прироста осуществлялся у деревьев, которые не имели повреждений верхушечных почек центральных побегов и продолжали рост в высоту. Таких деревьев насчитывалось не более 25 % от общего их числа на ППП.

Радиальный прирост сосны обыкновенной в районе сильного загрязнения в 1960-х годах по своим абсолютным значениям был в среднем на 30 % меньше от прироста одновозрастной сосны в фоновых районах (см. рис. 2). В дальнейшем, по мере увеличения мощности комбината, а вместе с ним – расширения зоны влияния комбината, а также с началом использования норильской руды, отличающейся от местной повышенным содержанием серы, в районе интенсивного загрязнения наблюдалось заметное снижение радиального прироста сосны, которое продолжалось до реконструкции очистных сооружений и резкого снижения объемов промышленных отходов в виде SO₂ и полиметаллической пыли тяжелых металлов. В настоящее время интенсивность радиального прироста сосны в рас-

смагриваемых условиях достаточно близкая, а в отдельные годы превосходит на 12–15 % прирост сосны в фоновых древостоях. Подобную реакцию древесных растений на снижение объемов промышленных отходов можно было ожидать несмотря на то, что в почве накоплены значительные количества тяжелых металлов (Lyanguzova et al., 2018).

Показатели асимметрии рядов распределения сосны по ступеням толщины в древостоях весьма сходные с данными в двух других районах и характеризуются положительными значениями. Однако здесь обращает на себя внимание, несколько сжатое распределение деревьев по ступеням толщины. В этих условиях значения показателя эксцесса, характеризующие ряды распределения диаметров сосны, наименьшие. Атмосферное загрязнение является причиной заметного воздействия на изменение рядов распределения и эксцессов в сильно поврежденных и практических разрушающихся средневозрастных сосняках на Кольском полуострове.

Главный признак ослабления (повреждения) лесов – отсутствие в составе эдифицирующей синузии здоровых особей. Так, в начале наших исследований (1982–1984 гг.), в районе интенсивного загрязнения в молодых сосняках лишайниково-зеленомошных преобладали (около 55 %) сильно ослабленные деревья, доля которых не превышала 30 %, а доля сухих составляла около 16 % (Динамика..., 2009). Последними исследованиями, проведенными в 2014–2017 гг., выявлено существенное улучшение древесного яруса сосновых лесов в районе интенсивного аэротехногенного загрязнения. Виталитетная структура сосняков улучшилась за счет появления здоровых особей сосны, доля которых составляла более 20 % от всех особей в древостое. В настоящее время в господствующей части популяции сосны обыкновенной преобладают здоровые и ослабленные особи (см. табл. 5), доля которых достигает около половины от общего числа стволов. Отмечается достаточно большая доля сухих деревьев (> 40 %) в районе интенсивного загрязнения. Возможно это связано с тем, что в условиях Кольского Севера усохшие средневозрастные деревья сосны обыкновенной могут оставаться на корню продолжительное время (30–40 лет и более) из-за сильно смолистой древесины корней и стволов, не подвергающихся быстрым процессам гниения и разрушения.

Следует отметить, что в промышленно развитых районах Европейской части России аэро-

техногенное загрязнение продолжает оставаться одним из важнейших антропогенных факторов, вызывающим угнетение, повреждение, а иногда и полное уничтожение растительного покрова. Характерная особенность этого фактора – его быстрое распространение на относительно большие расстояния с образованием обширных полей загрязнения воздушной, водной и почвенной среды. К воздействию промышленного загрязнения растения эволюционно не приспособлены. Загрязнители, нарушая физиологические процессы, не только оказывают на растения прямое отрицательное воздействие, но и сужают пределы толерантности к естественным факторам среды (Жиров и др., 2007).

На территории Северо-Западного региона России, расположенного в зоне влияния промышленных выбросов, лесная растительность в течение многих десятилетий находится в состоянии активного контакта с загрязненной атмосферой и почвой. В частности, на территории Кольского полуострова многолетнее воздействие токсикантов на северотаежные леса привело в отдельных районах к существенной трансформации их состава, структуры и продуктивности (Лянгузова и др., 2018; Ярмишко, Игнатьева, 2020).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования в разных по интенсивности аэротехногенного загрязнения районах в центральной части Кольского полуострова и анализ многочисленных данных позволили сделать следующие выводы:

1. Современные тенденции развития и состояние средневозрастных сообществ сосны обыкновенной на вырубках и гарях в контроле обусловлены естественными природными процессами и внутривидовыми взаимоотношениями.

2. Первый признак отклонения жизненного состояния деревьев сосны от нормы – изменение естественного цвета хвои (дехромация). При воздействии аэротехногенных загрязнителей площадь пораженной поверхности хвоинок может достигать 75 % и более. При этом происходит изменение зеленого цвета на красно-коричневый, бурый и серый.

3. Атмосферное загрязнение – основная причина наблюдающегося прогрессивного усиления ажурности крон деревьев сосны. Оно происходит в результате повреждения и преждевременного опадения хвои, мелких веток.

В районе интенсивного атмосферного загрязнения опад хвои сосны начинается уже в 1-летнем возрасте (40–50 %), а 2-летней хвои на деревьях остается не более 25 %.

4. Повреждение и преждевременное опадение хвои сосны является причиной снижения продолжительности жизни ее на деревьях. Так, в результате хронического загрязнения диоксидом серы с примесью тяжелых металлов (Ni, Cu, Co и др.) возраст хвои на деревьях снижается с 6–7 лет в фоновых древостоях до 2–3 лет в районах интенсивного загрязнения.

5. Аэротехногенное загрязнение значительно подавляет ростовые процессы у деревьев. Так, интенсивность прироста в высоту центральных побегов может снижаться до 40 %, а в отдельные годы – до 70 % в районах сильного загрязнения по сравнению с контролем. Радиальный прирост сосны подвержен меньшим изменениям, но его интенсивность может снижаться на 30 % и более, чем в фоновых древостоях.

6. Под воздействием аэротехногенного загрязнения существенно ухудшается жизненное состояние древостоев средневозрастных лишайниково-зеленомошных сосновых лесов, а в непосредственной близости к источнику выбросов они разрушаются. Сокращение объемов атмосферных выбросов комбинатом «Североникель» заметно улучшило виталитетную структуру древостоев.

7. Наблюдаемое в настоящее время значительное улучшение жизненного состояния средневозрастных сосняков лишайниково-зеленомошных в районах умеренного и интенсивного загрязнения на Кольском полуострове свидетельствует о положительной реакции на снижение аэротехногенной нагрузки и начале процессов их постепенного восстановления.

8. Потенциальные возможности восстановления насаждений сосны обыкновенной зависят от сценариев дальнейшей динамики уровня аэротехногенной нагрузки: сохранения объемов атмосферных выбросов на существующем уровне или полного прекращения выбросов (остановка работы комбината «Североникель» или максимальная очистка промышленных отходов).

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

- Бузыкин А. И., Пиеничникова Л. С. Фитомасса и особенности ее продуцирования деревьями разного ценотического положения // Продуктивность сосновых лесов. М.: Наука, 1978. С. 69–89 [Buzykin A. I., Pshenichnikova L. S. Fitomassa i osobennosti ee produktirovaniya derev'yami raznogo cenoticheskogo polozheniya (Phytomass and features of its production by trees of different cenotic position) // Produktivnost' sosnovykh lesov. (Productivity of pine forests). Moscow: Nauka (Science), 1978. P. 69–89 (in Russian)].
- Динамика лесных сообществ Северо-Запада России / Отв. ред. В. Т. Ярмишко. СПб: Изд-во ВВМ, 2009. 276 с. [Dinamika lesnykh soobshchestv severo-zapada Rossii / Otv. red. V. T. Yarmishko (Dynamics of forest communities in the North-West of Russia / V. T. Yarmishko (Resp. Ed.)). St. Petersburg: VVM Publ., 2009. 276 p. (in Russian)].
- Ежегодник Кольской ГМК. 2007. № 5. 87 с. [Ezhegodnik Kol'skoy GMK. 2007. № 5 (Yearbook of the Kola Mining-Metallurgical Comp.). 2007. N. 5. 87 p. (in Russian)].
- Жиров В. К., Голубева Е. И., Говорова А. Ф., Хаутбаев А. Х. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Крайнем Севере. М.: Наука, 2007. 166 с. [Zhirov V. K., Golubeva E. I., Govorova A. F., Haitbaev A. Kh. Strukturno-funktsional'nye izmeneniya rastitel'nosti v usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya na Kraynem Severe (Structural and functional changes of vegetation in the conditions of technogenic pollution in the Far North). Moscow: Nauka (Science), 2007. 166 p. (in Russian)].
- Лянгузов А. Ю., Ярмишко В. Т., Лянгузова И. В. Новый метод оценки годичного прироста стволов древесных растений // Раст. ресурсы. 2017. Т. 53. Вып. 4. С. 580–593 [Lyanguzov A. Yu., Yarmishko V. T., Lyanguzova I. V. Novy metod otsenki godichnogo prirosta stvolov drevesnykh rasteniy (New method of estimation of the annual increment of woody plant stems) // Rast. resursy (Plant Res.). 2017. V. 53. Iss. 4. P. 580–593 (in Russian with English abstract)].
- Лянгузова И. В., Ярмишко В. Т., Евдокимов А. С., Беляева А. И. Состояние сосновых лесов Кольского п-ова на фоне снижения объемов атмосферных выбросов предприятием цветной металлургии // Раст. ресурсы. 2018. Т. 54. № 4. С. 516–531 [Lyanguzova I. V., Yarmishko V. T., Evdokimov A. S., Belyaeva A. I. Sostoyanie sosnovykh lesov Kol'skogo p-ova na fone snizheniya ob'emov atmosferynykh vybrosov predpriyatiem tsvetnoy metallurgii (State of the Kola Peninsula pine forest ecosystems following reduced atmospheric emissions from the nonferrous smelter) // Rast. resursy (Plant Res.). 2018. V. 54. N. 4. P. 516–531 (in Russian with English abstract)].
- Методы изучения лесных сообществ / Ред. В. Т. Ярмишко, И. В. Лянгузова. СПб.: Изд-во НИИ хим. СПбГУ, 2002. 240 с. [Metody izucheniya lesnykh soobshchestv (Methods for studying forest communities) / V. T. Yarmishko, I. V. Lyanguzova (Eds.). St. Petersburg: Sci. Res. Inst. Chem. St. Petersburg St. Univ. Publ., 2002. 240 p. (in Russian)].
- Никонов В. В., Переверзев В. Н. Почвообразование в Кольской Субарктике. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1989.

- 168 с. [Nikonov V. V., Pereverzev V. N. Pochvoobrazovanie v Kol'skoy Subarktike (Soil formation in the Kola Subarctic). Leningrad: Nauka (Science). Leningrad Br., 1989. 168 p. (in Russian)].
- Проблемы экологии растительных сообществ Севера / под ред. В. Т. Ярмишко. СПб: БВМ, 2005. 450 с. [Problemy ekologii rastitel'nykh soobshchestv Severa (Environmental problems of plant communities of the North) / V. T. Yarmishko (Ed.). St. Petersburg: BVM, 2005. 450 p. (in Russian)].
- Усольцев В. А., Воробейчик Е. Л., Бергман И. Е. Биологическая продуктивность лесов Урала в условиях техногенного загрязнения: Исследование системы связей и закономерностей. Екатеринбург: УГЛУ, 2012. 366 с. [Usoltsev V. A., Vorobeichik E. L., Bergman I. E. Biologicheskaya produktivnost' lesov Urala v usloviyakh tekhnogenogo zagryazneniya: Issledovanie sistemy svyazey i zakonomernostey (Biological productivity of Ural forests under conditions of air pollutions: Investigation of a system of regularities). Yekaterinburg: UGLTU (Ural St. For. Engineer. Univ.), 2012. 366 p. (in Russian with English title and summary)].
- Цветков В. Ф. Строение и рост сосняков Мурманской области // Лесоводственные исследования на зонально-типологической основе. Архангельск: АИЛиЛХ, 1984. С. 66–77 [Tsvetkov V. F. Stroenie i rost sosnyakov Murmanskoy oblasti (The structure and growth of pine forests in the Murmansk region) // Lesovodstvennye issledovaniya na zonal'no-tipologicheskoy osnove (Silvicultural studies on a zonal typological basis). Arkhangel'sk: AILiLKh (Arkhangel'sk Inst. For. For. Chem.), 1984. P. 66–77 (in Russian)].
- Цветков В. Ф. Сосняки Кольской лесорастительной области и ведение хозяйства в них. Архангельск: Арханг. гос. тех. ун-т, 2002. 380 с. [Tsvetkov V. F. Sosnyaki Kol'skoy lesorastitel'noy oblasti i vedenie hozyaystva v nikh (Pine forests of the Kola forest-growing region and their management). Arkhangel'sk: Arkhang. gos. tekhn. un-t (Arkhangel'sk St. Univ. Technol.), 2002. 380 p. (in Russian)].
- Цветков В. Ф., Никонов В. В. Структура и запасы фитомассы хвой в сосновых молодняках Кольского полуострова // Лесоведение. 1985. № 1. С. 32–39 [Tsvetkov V. F., Nikonov V. V. Struktura i zapasy fitomassy khvoi v sosnovykh molodnyakah Kol'skogo poluostrova (The structure and reserves of the needles' phytomass in pine young stands of the Kola Peninsula) // Lesovedenie (For. Sci.). 1985. N. 1. P. 32–39 (in Russian with English abstract)].
- Цветков В. Ф., Цветков И. В. Лес в условиях аэротехногенного загрязнения. Архангельск, 2003. 354 с. [Tsvetkov V. F., Tsvetkov I. V. Les v usloviyakh aerotekhnogenogo zagryazneniya (Forest in the conditions of aerial technogenic pollution). Arkhangel'sk, 2003. 354 p. (in Russian)].
- Черненко Т. В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М.: Наука, 2002. 191 с. [Chernen'kova T. V. Reaktsiya lesnoy rastitel'nosti na promyshlennoe zagryaznenie (Response of forest vegetation to industrial pollution). Moscow: Nauka (Science), 2002. 191 p. (in Russian)].
- Ярмишко В. Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб.: Изд-во НИИ хим. СПбГУ, 1997. 210 с. [Yarmishko V. T. Sosna obyknovennaya i atmosfernoye zagryaznenie na Evropeyskom Severe (Scots pine and aerial pollution in the European North). St. Petersburg: Sci. Res. Inst. Chem. St. Petersburg St. Univ. Publ., 1997. 210 p. (in Russian with English title, summary, conclusion and contents)].
- Ярмишко В. Т., Игнатьева О. В. Многолетний импактный мониторинг состояния сосновых лесов в центральной части Кольского полуострова // Изв. РАН. Сер. биол. 2019. № 6. С. 658–668 [Yarmishko V. T., Ignat'eva O. V. Mnogoletniy impaktny monitoring sostoyaniya sosnovykh lesov v tsentral'noy chasti Kol'skogo poluostrova (Multiyear impact monitoring of pine forests in the central part of the Kola Peninsula) // Izv. RAN. Ser. biol. (Bull. Rus. Acad. Sci. Ser. Biol.). 2019. N. 6. P. 658–668 (in Russian with English abstract)].
- Ярмишко В. Т., Игнатьева О. В. Скорость роста и структура фитомассы *Pinus sylvestris* (Pinaceae) в средневозрастных сосняках Мурманской области // Раст. ресурсы. 2020. Т. 56. Вып. 4. С. 314–325 [Yarmishko V. T., Ignat'eva O. V. Skorost' rosta i struktura fitomassy *Pinus sylvestris* (Pinaceae) v srednevoznostnykh sosnyakakh Murmanskoy oblasti (Growth rate and phytomass structure of *Pinus sylvestris* (Pinaceae) in the middle-aged Scots pine forests of the Murmansk region) // Rast. resursy (Plant Res.). 2020. V. 56. Iss. 4. P. 314–325 (in Russian with English abstract and references)].
- Lyanguzova I., Yarmishko V., Gorshkov V., Stavrova N., Bakal I. Impact of heavy metals on forest ecosystems of the European North of Russia // Heavy Metals. Ch. 6. 2018. P. 92–114. <https://www.intechopen.com/books/heavy-metals/impact-of-heavy-metals-on-forest-ecosystems-of-the-european-north-of-russia>
- Yarmishko V. T. Radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in varied environment influenced by air pollution in the European North of Russia // Forestry Ideas. 2015. V. 21. N. 2 (50). P. 375–383.
- Yarmishko V. T., Ignat'eva O. V. Multiyear impact monitoring of pine forests in the central part of the Kola Peninsula // Biol. Bull. 2019. V. 46. Iss. 6. P. 636–645 (Original Rus. Text © V. T. Yarmishko, O. V. Ignat'eva, 2019, publ. in Izv. RAN. Ser. biol. 2019. N. 6. P. 658–668).

COMMUNITIES OF *PINUS SYLVESTRIS* L. IN THE TECHNOGENIC ENVIRONMENT IN THE EUROPEAN NORTH OF RUSSIA: STRUCTURE, FEATURES OF GROWTH, CONDITION

V. T. Yarmishko¹, O. V. Ignat'eva²

¹ Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences
Prof. Popov str., 2, St. Petersburg, 197376 Russian Federation

² S. M. Kirov St. Petersburg State Forest Engineering University
Institutskiy pereulok, 5, St. Petersburg, 194021 Russian Federation

E-mail: vasilijarmishko@yandex.ru, ignateva_oksana@inbox.ru

Lichen-green-moss pine forests represented by Scotch pine *Pinus sylvestris* L. of the III-IV age classes were studied under conditions of various modes of aerial technogenic environmental pollution in the central part of the Kola Peninsula. It is established that the current trends in the formation of secondary pine forests in deforestation and burning in the background areas are due to natural processes and intra-population relationships. Aerial technogenic pollution of SO₂ with heavy metals (Ni, Cu, Co, etc.) is the main cause of damage, weakening and even destruction of pine forests. The first sign of deviation from the norm of the state of scots pine is the dechromation of needles. The area of the affected surface of the needles with chlorosis and necrosis can reach 75 % or more. Premature fall of damaged needles is the reason for the reduction of its life expectancy on trees to 2–3 years in the area of intensive pollution in comparison with 6–7 years in the background stands. Atmospheric pollution suppresses growth processes in Scotch pine: up to 40–70 % increase in the height of the central shoots and 30 % or more increase in diameter in comparison with undisturbed communities. Under the influence of pollutants, the vital structure of medium-aged pine forests of lichen-green moss significantly deteriorates. Currently observed improvement of the pine forests in the areas of industrial air pollution on the Kola Peninsula (reduction of damage to the needles and increase its lifespan in trees, the intensification of the growth processes, improving the living condition of individual trees and forest stands) indicate a positive response of *Pinus sylvestris* at reducing aerial technogenic load.

Keywords: Scots pine, middle-aged tree stands, aerial technogenic pollution, SO₂, heavy metals, life span of needles, intensity of linear and radial growth, vital structure, Kola Peninsula.

How to cite: V. T. Yarmishko, O. V. Ignat'eva Communities of *Pinus sylvestris* L. in the technogenic environment in the European north of Russia: structure, features of growth, condition // *Sibirskij Lesnoj Zurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2021. N. 3. P. 44–55 (in Russian with English abstract and references).