

СТРУКТУРА И СОСТОЯНИЕ ЕЛОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА *

Н. С. Рябов, Л. Г. Исаева

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН
Российская Федерация, 184209, г. Апатиты, мкр. Академгородок, 14а
E-mail: n.ryabov@ksc.ru

Аннотация. В работе представлены анализ структуры и состояния еловых лесов на территории Мурманской области. Объектами исследований явились ельники кустарничково-зеленомошные на разных стадиях техногенной дигрессии в бореальных лесах, подверженных воздушному промышленному загрязнению медно-никелевого производства. Установлено, что структура древостоев еловых лесов и его состояние на разных стадиях техногенной дигрессии по мере приближения к источнику загрязнения претерпевают существенные изменения. В техногенном редколесье значительно меньше живых деревьев относительно фоновых условий и дефолирующих ельников. Выявлен существенный вклад березы в состав и запасы древесины в ельниках на всех стадиях техногенной дигрессии. По мере приближения к источнику аэротехногенного загрязнения увеличивается доля сильно ослабленных и усыхающих деревьев, состояние насаждений изменяется с ослабленного (фон) до сильно ослабленного (техногенное редколесье). Наблюдаются при приближении к источнику загрязнения уменьшение доли елового подроста и увеличение доли березы в составе подроста; снижение густоты и представленности подлеска; общего проективного покрытия напочвенного покрова (особенно мохово-лишайникового яруса), смена видов-доминантов и сокращение разнообразия.

Ключевые слова: еловые фитоценозы, структура древостоя, состояние, загрязнение, Мурманская область, Арктика.

Conifers of the boreal area. 2026, Vol. XLIV, No. 3, P. 7–15

THE STRUCTURE AND CONDITION OF SPRUCE PHYTOCENOSSES IN THE ZONE OF INFLUENCE OF COPPER-NICKEL PRODUCTION **

N. S. Ryabov, L. G. Isaeva

Institute of North industrial ecology problems of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences
14a, Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, 184209, Russian Federation
E-mail: n.ryabov@ksc.ru

Abstract. The paper considers the analysis of the structure of phytocenoses and evaluates their condition in the Murmansk region. The objects of research were spruce forests in the background conditions and at different stages of pollution-induced digression in boreal forests as a result of industrial air pollution. The structure of stands of spruce forests and its condition at different stages of anthropogenic digression experience significant changes in all levels of phytocenosis as they approach the source of pollution. The process of drying trees in defoliating spruce forests continues, on the technogenic sparse spruce forest it has practically stopped as a result of the drying of spruce and the change of the main tree species to birch. There are significantly fewer living trees in the technogenic sparse forest to the background and defoliating spruce forests. In background and defoliating spruce forests, trees without signs of

* **Финансирование:** публикация подготовлена в рамках Государственного задания ИППЭС КНЦ РАН «Структурно-функциональная организация и динамика наземных экосистем Евро-Арктического региона» № 125021402277-1.

Благодарности: Авторы благодарят Т. А. Сухареву за организацию и руководство полевыми работами, сотрудников лаборатории за помощь в полевых работах.

** **Funding:** the publication was prepared as part of the State Assignment of the INEP KSC RAS.

Acknowledgements: The authors thanks T. A. Sukhareva for organizing and directing field work, and the laboratory staff for their help in field work.

damage and weakened predominate, on the technogenic sparse spruce forest – weakened and strongly weakened. The condition of the phytocenoses varies from weakened (background) to severely weakened (technogenic sparse spruce forest). A significant contribution of birch to the composition and stock of wood in spruce forests at all stages of anthropogenic digression has been revealed. A decrease in the proportion of spruce undergrowth and an increase in the proportion of birch in the undergrowth were noted as they approached the source of aerotechnogenic pollution. The density and representation of the undergrowth, the overall projective coverage of the ground cover (especially the moss-lichen layer) decrease, dominants change and diversity decreases.

Keywords: spruce phytocenoses, tree stand structure, condition, pollution, Murmansk region, Arctic.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с интенсивным развитием отраслей промышленности, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, обостряется проблема сохранения лесов. Особенно актуальна эта проблема для регионов Крайнего Севера, где в силу своих биологических особенностей, климатических и эдафических условий произрастания леса отличаются повышенной уязвимостью к антропогенному воздействию.

В Мурманской области важным фактором, определяющим состояние лесов, является аэротехногенное загрязнение. Изменения лесного покрова в результате действия этого загрязнения приобрели массовый характер. Наиболее масштабные повреждения в регионе наблюдаются в зонах расположения медно-никелевых комбинатов. Промышленные выбросы, представленные главным образом SO_2 с примесью тяжелых металлов (Ni, Cu, Co и др.), распространяясь на значительные расстояния, являются причиной нарушений и повреждений лесов, произрастающих на этой территории. Воздушное промышленное загрязнение приводит к смене видов доминантов, выпадению из состава сообщества чувствительных видов, изменениям в структуре древостоя, ухудшению его состояния [5; 7; 8; 9; 23; 24].

Площадь земель, на которой расположены леса в Мурманской области, составляет 10029,2 тыс. га,

из них на землях лесного фонда – 9455,1 тыс. га. Покрытые лесной растительностью земли занимают 5144,4 тыс. га [1], из них на ельники приходится 1505,7 тыс. га или 30 % всей лесопокрываемой площади региона [4]. Господствующим типом еловых лесов Мурманской области являются ельники кустарничково-зеленомошные [2; 3; 5].

Целью исследования является анализ структуры и оценка состояния фитоценозов, расположенных на различном удалении от медно-никелевого производства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение структуры и состояния еловых сообществ, расположенных на разном удалении от источника загрязнения медно-никелевого производства (АО «Кольская ГМК», комбинат «Североникель») выполнено на 5 пробных площадках (ПП) сети мониторинга бореальных лесов (рис. 1). Объектами исследования являлись ельники кустарничково-зеленомошные на разной стадии техногенной дигрессии: фоновые (в 170 км на Ю33 от источника загрязнения), дефолирующие леса (от 28 до 62 км на Ю3,) и еловые техногенные редколесья (в 7 км на Ю) [11; 12]. Исследования выполнены в вегетационный период 2024–2025 гг.

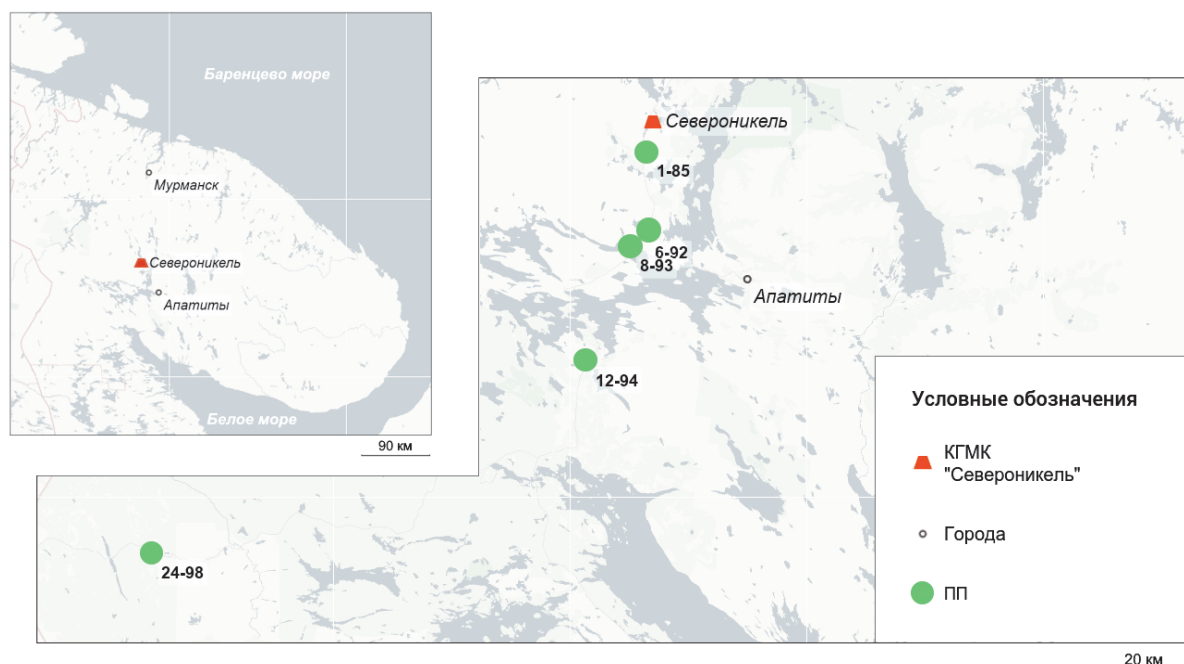


Рис. 1. Карта-схема расположения на территории Мурманской области пробных площадей по градиенту загрязнения комбинатом «Североникель» (промплощадка Кольской ГМК)

На каждой ПП (0,25 га) выполнен сплошной пере-
чет деревьев по породам с измерением диаметра на
высоте 1,3 м в двукратной повторности во взаимно
перпендикулярных плоскостях, с диаметром ствола
6 см и более. Запас древесины рассчитывали по лесо-
таксационному справочнику [6]. Возраст деревьев
определяли с помощью подсчета колец кернов, ото-
бранных возрастным буравом на высоте 20–30 см от
шейки корня. Учет подроста и подлеска осуществлен
на круговых площадках (5–12 площадок на ПП) ра-
диусом 1,78 м, отмечали основные виды и измеряли
высоту [12]. Для характеристики растительности на-
почвенного покрова по ярусам в 2009 г. закладывали
4 площадки по 100 м², где определяли покрытие яруса
в %, выявляли набор константных видов (на основе
встречаемости по учетным площадкам), набор доми-

нантов травяно-кустарничкового яруса и мохово-
лишайникового покрова. Для более точного опреде-
ления категорий состояния деревьев и индекса со-
стояния использовали методы, описанные в Правилах
санитарной безопасности в лесах [16] и Методических
рекомендациях по оценке существующего и прогно-
зируемого состояния лесных насаждений в зоне влия-
ния промышленных предприятий Мурманской обла-
сти [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика древостоев и подроста на пробных
площадках в природных и нарушенных экосистемах
представлена в табл. 1 и 2. Распределение деревьев по
категориям состояния и индекс состояния по насаж-
дению – в табл. 3.

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоев на разных стадиях техногенной дигрессии еловых лесов

Порода	Характеристики живых деревьев					Сумма площадей сечений, м²/га	Запас, м³/га	Возраст ели, лет	Состав древостоя (по запасам)
	Диаметр, см*	Высота, м*	Количество деревьев, шт/га						
			живых	сухих	всего				
Фон (ПП 24-98) – Ельник кустарничково-зеленомошный									
Ель	16,6±0,6	11,1±0,3	552	24	576	13,8	85	80–100	6Е2С2Б
Береза	10,4±0,3	9,4±0,2	736	96	832	7,0	38		
Сосна	21,6±1,6	14±0,7	80	12	92	3,2	23		
Всего			1368	132	1500	24,0	146		
Дефолирующий лес (ПП 12-94) – Ельник кустарничково-зеленомошный									
Ель	25,4±1,5	13,8±0,6	132	0	132	7,5	48	75–240	4Е4Б2С
Береза	11,3±0,3	9,2±0,2	612	56	668	7,2	41		
Сосна	14,7±1,0	10,0±0,5	156	0	156	3,1	22		
Ива	7,0±0,5	6,2±1,0	20	0	20	0,1	но		
Всего			920	56	956	17,8	111		
Дефолирующий лес (ПП 8-93) – Ельник кустарничково-зеленомошный									
Ель	14,6±0,7	9,3±0,5	236	0	236	4,6	25	85–310	5Е3С2Б+Ос
Береза	9,5±0,3	6,9±0,2	268	20	288	2,2	8		
Сосна	25,5±5,9	13,1±1,5	24	4	28	2,0	15		
Осина	8,5±0,4	8,5±0,2	104	0	104	0,6	2		
Всего			632	24	656	9,4	50		
Дефолирующий лес (ПП 6-92) – Ельник кустарничковый									
Ель	21,1±1,2	9,4±0,5	248	40	288	12,5	78	85–280	9Е1Б
Береза	10,7±1,4	6,7±0,5	188	0	188	1,9	11		
Всего			436	40	476	14,5	89		
Техногенное редколесье (ПП 1-85) – Березово-еловое вороничное редколесье									
Ель	9,9±1,2	6,3±0,6	32	4	36	0,3	1,5	50–140	6Б3Е1С
Береза	8,4±0,5	4,6±0,1	92	0	92	0,5	2,6		
Сосна	15,6	7,1	4	0	4	0,1	0,4		
Всего			128	4	132	0,9	4,5		

Примечание: * – среднее значение ± стандартная ошибка; но – не определяли.

Таблица 2

Характеристика живого подроста на разных стадиях техногенной дигрессии еловых лесов

№ ПП	Количество подроста, шт/га				Средняя высота подроста, м*			
	ель	сосна	береза	осина	ель	сосна	береза	осина
Фон								
24-98	700	100	600	0	0,9±0,2	0,4	2,0±0,5	0
Дефолирующие леса								
12-94	2000	1125	375	0	1,0±0,1	0,6±0,3	2,2±0,2	0
8-93	6800	2200	1000	600	0,5±0,04	0,3±0,1	1,8±0,4	0,6±0,3
6-92	1778	1111	1444	0	0,8±0,2	0,6	1,0±0,2	0
Техногенное редколесье								
1-85	417	250	1417	0	1,8±0,5	0,3±0,1	1,6±0,3	0

Примечание: * – среднее значение ± стандартная ошибка.

Таблица 3

Состояние еловых фитоценозов на разных стадиях техногенной дигрессии

Порода	Количество деревьев на ПП по категориям состоя- ния					Индекс состояния				Состояние деревьев
	1	2	3	4	5	по породам		по насаждению		
						[16]	[15]	[16]	[15]	
Фоновые леса, ПП 24-98										
Ель	53	65	17	3	6	1,96	1,92	2,06	1,97	ослабленные
Береза	83	83	16	4	21	2,18	2,02			ослабленные
Сосна	8	11	1	0	3	2,22	2,09			ослабленные
Дефолирующие леса										
ПП 12-94										
Ель	13	20	0	0	0	1,60	1,61	2,02	1,82	без признаков ослабления
Береза	75	48	27	3	14	2,08	2,00			ослабленные
Сосна	5	31	2	1	0	1,97	1,97			ослабленные
Ива	0	1	4	0	0	2,80	2,80			сильно ослаблен- ные
ПП 8-93										
Ель	20	21	14	3	1	2,07	2,05	1,98	2,04	ослабленные
Береза	21	38	6	1	5	2,10	2,03			ослабленные
Сосна	4	0	2	0	1	2,29	2,14			ослабленные
Осина	18	7	1	0	0	1,35	1,35			без признаков ослабления
ПП 6-92										
Ель	0	21	35	6	9	3,17	3,17	2,38	2,77	сильно ослаблен- ные
Береза	40	6	0	1	0	1,19	1,19			без признаков ослабления
Техногенное редколесье, ПП 1-85										
Ель	0	0	6	2	1	3,56	3,44	3,21	2,85	сильно ослаблен- ные
Береза	1	10	12	0	0	2,48	2,48			сильно ослаблен- ные
Сосна	0	0	1	0	0	3,00	3,00			сильно ослаблен- ные

Фоновые леса. ПП 24-98. По результатам исследований на ПП произрастает ельник кустарничково-зеленомошный. Древостой сложен елью, сосной и березой, одновозрастный, класс возраста V. Проектное покрытие древостоем варьирует от 15 до 75 %. Количество живых деревьев составляет 1368 шт/га, что отражает этап сукцессии ельника, выражающийся в сомкнутом древостое с присутствием просторных редин. Многоствольность деревьев ели на ПП отразилась в значительных запасах древесины (табл. 1). Отмечено, что на долю березы в составе древостоя на

ПП приходится 54 %, тогда как её доля в запасе 25 %. Сухостойных деревьев насчитывается 8 % от общего количества деревьев на пробной площади.

В фоновых условиях преобладают деревья здоровые (от 35 до 40 %) и ослабленные (от 40 до 48 %), по индексу состояния, как древесные породы, так и в целом насаждение относятся к ослабленным (табл. 3).

В подросте отмечены ель, береза, единично сосна, подрост по густоте редкий (табл. 2). Возраст елового подроста от 20 до 40 лет. Подлесок средней густоты, состоит из можжевельника и рябины (табл. 4).

Таблица 4
Характеристики подлеска в ельниках на разной стадии техногенной дигрессии

Стадия дигрессии	ПП	Средняя высота подлеска, м			Всего, шт/га
		Можжевельник	Рябина	Ива	
Ф	24-98	1	1,2	–	2700
ДФ	12-94	1,3	1,3	2	2700
	8-93	–	–	–	–
	6-92	0,8	0,5	–	444
ТР	1-85	0,8	–	–	167

Примечание: Ф – фоновые условия; ДФ – дефолирующие леса; ТР – техногенное редколесье.

Общее покрытие напочвенного покрова растительностью составляет 90–100 %. Травяно-кустарничкового яруса – от 70 до 85 %, доминируют кустарнички *Vaccinium vitis-idaea*, *Vaccinium myrtillus* и *Empetrum hermaphroditum*, реже *Calluna vulgaris* и *Ledum palustre*. Среди травянистых растений преобладает *Avenella flexuosa*, реже отмечены *Solidago lapponica* и *Luzula pilosa*. Моховой ярус (покрытие 95–100 %) представлен в основном *Pleurozium schreberi* (от 55 до 75 %) и *Hylocomium splendens* (25–45 %), отмечены виды *Polytrichum commune* и *Polytrichum strictum* (до 10 %). Покрытие лишайникового яруса варьирует от 10 до 30 %, доминируют виды рода *Cladonia*: *Cl. rangiferina*, *Cl. stellaris*, *Cl. arbuscula* и *Nephroma arcticum*.

Дефолирующие леса. ПП 12-94. Данная ПП является наиболее удаленной от источника аэротехногенного загрязнения, из всех заложенных в дефолирующих лесах. На пробной площади произрастает ельник кустарничково-зеленомошный, класс возраста VIII. Возраст сосен, отмеченных на ПП не превышает 60 лет. Древостой состоит из ели, березы, сосны и единично ивы древовидной (*Salix caprea*), покрытие учетной площади древостоем варьирует от 15 до 70 %. Количество живых деревьев составляет 920 шт/га, сухостойных деревьев насчитывается 6 % от общего количества деревьев. Около 68 % от всех деревьев приходится на березу, которая составляет значительную долю запаса древостоя – 37 %. Преобладающие категории жизненного состояния у елей – ослабленные (57,6 %) и здоровые (42,4 %), у берез – здоровые (45,5 %), у сосен – ослабленные (79,5 %). По индексу состояния насаждение является ослабленным (табл. 3).

Подрост состоит из ели, березы и сосны (табл. 2). Подрост средней густоты. Возраст елового подроста варьирует от 20 до 60 лет, соснового – от 10 до 30 лет. Имеется погибший подрост ели, который составляет 15 % от общего количества елового подроста. Подлесок средней густоты, состоит из рябины, ивы и единично можжевельника (табл. 4).

Покрытие травяно-кустарничковым ярусом 70–100 %, доминанты среди кустарничков *Vaccinium vitis-idaea*, *V. myrtillus*, *Empetrum hermaphroditum*, реже отмечены *V. uliginosum* и *Ledum palustre*, из травянистых растений превалирует *Avenella flexuosa*. Моховой ярус (покрытие от 50 до 95 %) представлен в основном *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, мхами рода *Dicranum*, реже отмечен *Polytrichum commune*, встречается *Ptilium crista-*

castrensis. Лишайниками покрыто от 3 до 10 % площади, доминируют *Cladonia arbuscula*, *Cl. stellaris*, *Cl. deformis*, *Cl. subulata*, реже отмечены *Cetraria islandica* и *Cladonia rangiferina*.

ПП 8-93. Ельник расположен на территории Лапландского заповедника, по материалам лесоустройства 1989–1990 гг. [18] в насаждении 10 % сосновых деревьев было повреждено промвыбросами комбината «Североникель».

По результатам исследований на ПП произрастает ельник кустарничково-зеленомошный, разновозрастный, X класс возраста, характеризуется выраженной редкостойностью с преобладанием открытых пространств. Древостой состоит из ели и березы, присутствует сосна и единично осина. Количество живых деревьев составляет 632 шт/га, сухостойных деревьев насчитывается 6 % от общего количества деревьев. На долю березы приходится 44 % (или 17 % всего запаса древесины).

Здоровые и ослабленные еловые деревья в сумме составляют почти 70 %. Среди берез преобладают ослабленные (53 %) и здоровые (29 %), среди сосен и осин – здоровые, 57 и 70 % соответственно. По индексу состояния насаждение относится к ослабленному (табл. 3).

Подрост состоит из ели, березы, сосны и осины (табл. 2). Погибшего подроста на учетной площади не зафиксировано. Подрост оценивается как густой. Возраст елового подроста от 10 до 70 лет, соснового – от 10 до 15 лет. Подлесок на учетной площади не выражен.

Общее покрытие пробной площади растительностью составляет 85–100 %. В доминирующей микрогруппировке напочвенного покрова преобладают вороника (*Empetrum hermaphroditum*) и виды рода *Vaccinium*. Видовой состав кустарничкового яруса представлен черникой (*V. myrtillus*), брусникой (*V. vitis-idaea*), вороникой (*Empetrum hermaphroditum*). Встречаются дерен шведский (*Chamaepericlimenum suecicum*), золотарник (*Solidago lapponica*), а также луговик извилистый (*Avenella flexuosa*). Лишайниково-зеленомошная микрогруппировка сформирована лишайниками – *Cladonia rangiferina*, *Cl. mitis* и зелеными мхами, главным образом *Pleurozium schreberi*.

ПП 6-92. ПП расположена в лесном фонде при-тундровых лесов Мончегорского лесничества, Мончегорского участкового лесничества, по данным 2003 г. насаждение повреждено в слабой степени промвыбросами комбината «Североникель» [19].

На ПП произрастает ельник кустарничковый, X класс возраста. Древостой представлен елью и березой, разновозрастный, изреженный, покрытие древостоя варьирует от 10 до 40 %. Количество живых деревьев на ПП – 436 шт/га, из них 39 % это березы, которые запасают до 15 % древесины. Количество погибших деревьев ели составляет 14 % от общего количества деревьев.

Обнаружено, что здоровые ели на ПП отсутствуют, преобладают ослабленные (33,3 %) и сильно ослабленные экземпляры (44,4 %). Многие живые ели усыхают в верхней трети кроны. До 85 % берез при этом являются здоровыми, усохших деревьев нет. В целом насаждение характеризуется как сильно ослабленное (табл. 3).

Подрост редкий, представлен елью, березой и единичной сосной (табл. 2). Погибший подрост составляет 6,3 % от общего количества. Возраст елового подраста от 10 до 70 лет, соснового – 6 лет. Подлесок редкий, состоит из можжевельника и единично рябины (табл. 4).

Общее покрытие напочвенного покрова растительностью составляет 85–100 %. Травяно-кустарничковый ярус – от 60 до 85 %, доминируют кустарнички *Vaccinium myrtillus* и *Empetrum hermaphroditum*, из трав – *Avenella flexuosa*, реже отмечен *Chamaepericlymenum suecicum*. Моховой ярус, покрытие от 20 до 50 %, доминирующие виды *Barbilophozia licopodioides*, *Ceratodon purpureus* и *Orthocaulis floerkei*. Лишайниковый ярус (5–10 %), представлен в основном лишайниками *Cladonia deformis* и *Cetraria islandica*, реже *Cladonia stellaris*, *Cl. arbuscula* и *Cl. subulata*.

Анализ структуры и состояния дефолирующих еловых лесов показал, что в них древостой разновозрастный, изреженный, сложен в основном елью, березой и сосной. Количество живых деревьев варьирует от 436 до 920 шт/га. Сухостойные деревья составляют 6–14 % от общего количества деревьев. Запас древесины варьирует от 50 до 111 м³/га. Подрост представлен елью, березой, сосной и на одной площадке добавляется осина. Возраст елового подраста варьирует от 10 до 70 лет. Доля погибшего подраста может достигать 15 %. В подлеске отмечены можжевельник, рябина и ива (кустарниковой формы).

Техногенное редколесье. ПП 1-85. ПП расположена в лесном фонде притундровых лесов Мончегорского лесничества, Мончегорского участкового лесничества, по материалам лесоустройства 2003 г. насаждение повреждено промышленными выбросами комбината «Североникель», характеризуется полным засыханием и ослаблением роста [19].

На пробной площади произрастает березово-еловое вороничное редколесье. Характеризуется значительной редкостойностью, практически полным отсутствием напочвенного покрова. Древостой представлен березой, елью и сосной (единично), разновозрастный, покрытие древостоя варьирует от 5 до 30 %. Возраст ели варьирует от 50 до 140 лет. В общем запасе древесины преобладает береза (табл. 1). Количество живых деревьев 128 шт/га. Сухостойные ели составляют 3 % от общего количества деревьев, так как

в 2004 г. выполнена рубка сухостойных елей и в результате лесохозяйственных работ образовалось больше количество неразложившегося валежа.

Еловые деревья характеризуются как сильно ослабленные (66,7 %), и усыхающие (22,2 %). Среди берез преобладают ослабленные и сильно ослабленные экземпляры (95 %). По индексу состояния насаждение относится к сильно ослабленному (табл. 3).

Подрост представлен елью, березой и сосной (табл. 2). Погибший подрост ели составляет 167 шт/га (7 % от общего количества подраста). Подрост ели – по густоте – отсутствует, живой подрост по всем породам (2083 шт/га) характеризуется как редкий. Возраст елового подраста от 30 до 80 лет, соснового – 10 лет. Подлесок состоит из можжевельника, оценивается как отсутствующий (табл. 4).

Общее покрытие напочвенного покрова растительностью составляет от 30 до 60 %. Покрытие травяно-кустарничковым ярусом – от 10 до 50 %, доминируют кустарнички *Empetrum hermaphroditum*, реже *Vaccinium vitis-idaea*, *Ledum palustre*, *Arctostaphylos uva-ursi*, встречаются *Vaccinium myrtillus* и *Vaccinium uliginosum*; из травянистых растений преобладает *Avenella flexuosa*, отмечен *Equisetum sylvaticum*. Моховой ярус, покрытие от 5 до 15 %, доминант *Ceratodon purpureus*, реже *Trapeliopsis granulosa*, присутствуют *Pohlia nutans*, *Gymnocolea inflata*.

Результаты исследований еловых лесов на разных стадиях техногенной дигрессии показали, что структура древостоя еловых лесов и его состояние на разных стадиях техногенной дигрессии по мере приближения к источнику загрязнения претерпевают существенные изменения по всем ярусам.

Основной древостой на всех пробных площадках составляют ель, береза и сосна, реже добавляется осина и единично встречается древовидная ива (*Salix caprea*). Характерной особенностью ельников кустарничково-зеленомошной группы является их редкостойность, очевидно, обусловливаемая корневой конкуренцией между деревьями. Количество живых деревьев на пробных площадях варьирует от 1368 шт/га в фоновых условиях до 128 шт/га в техногенном редколесье. В северотаежных ельниках доля березы в составе древостоя варьирует от 39 до 69 %, вне зависимости от стадии дигрессии: достигая минимума в 28–30 км от источника загрязнения на ПП 8-93 (44 %) и ПП 6-92 (39 %), а максимума (68–69 %) на ПП 12-94 (62 км от источника загрязнения) и ПП 1-84 (7 км). Выявлен также значительный вклад породы в запас древостоя (15–57,8 %), при этом минимальный вклад отмечен на ПП 8-93 и ПП 6-92 (17 и 15 % соответственно), а максимальный в наиболее преобразованном длительным загрязнением елово-березовом техногенном редколесье. Эти данные подтверждают значимость березы, как породы слагающей северотаежные ельники, так как согласно литературным источникам на долю березы в еловых древостоях приходится в среднем от 20 % [15] до 50 % [20].

Общий запас древесины снижается. Запас сухостойных деревьев растет от фоновых условий к дефолирующим лесам и резко снижается в техногенном редколесье. Процесс усыхания деревьев в дефоли-

рующих лесах продолжается, в техногенном редколесье практически прекратился в виду выпадения ели и смены основной древесной породы на березу. Выявлено, что по мере приближения к источнику загрязнения в составе сухостоя уменьшается доля березы и увеличивается доля ели. Наличие сухостоя на ПП 6-92, можно объяснить большей подверженности загрязнению, ввиду расположения насаждения на возвышенности и соответственно иным температурным и питательным режимом почв.

Категории жизненности деревьев, особенно хвойных лесообразующих пород, или категории состояния являются хорошим индикатором экологического состояния лесов [11; 22]. Состояние насаждений изменяется с ослабленного (фон) до сильно ослабленного (техногенное редколесье). Обнаружено, что в техногенном редколесье почти в 11 раз меньше живых деревьев относительно фоновых условий и в 3,4–7 раз меньше, чем в дефолирующих ельниках. При этом доля сильно ослабленных и усыхающих деревьев увеличивается по мере приближения к источнику загрязнения от 14,5 (ель) и 11 % (береза) до 100 (ель) и 52 % (береза). Происходит изреживание древостоя, за счет усыхания древесных пород и сокращения количества древесных пород на единицу площади.

Подрост формирует новое поколение леса под пологом насаждений и важен для лесовозобновительных процессов, что обуславливает важность исследования и характеристики данного компонента лесного биогеоценоза. На всех стадиях дигрессии подрост представлен теми же породами, что и древостой: елью, березой и сосной, иногда добавляется осина. В ненарушенных и дефолирующих лесах преобладает подрост ели. В фоновых условиях, где покрытие мохово-лишайниковым ярусом, затрудняющим прорастание семян, составляет 95–100 %, количество подраста на единицу площади значительно меньше, чем в дефолирующих лесах (общее покрытие мохово-лишайникового яруса 20–50 %). В техногенном редколесье, где покрытие моховым ярусом составляет всего 5–15 % и основной лесообразующей породой является береза, преобладает березовый подрост (68 % всего подраста). Значительная доля березового подраста (42,9 %), отмеченная в фоновом ельнике кустарничково-зеленомошном, может отражать естественную сукцессионную динамику в одновозрастном насаждении.

Техногенное загрязнение является лимитирующим фактором, во многом определяющим процессы возобновления. Отмечено уменьшение доли елового подраста (от 57–68 % до 20 %) по мере приближения к источнику аэротехногенного загрязнения (табл. 2). В первые годы формирования елового подраста, когда хвоя текущего года составляет основное его охвоение, или в начале вегетационного периода сеянцы более подвержены гибели от сернистого газа и кислотных дождей [11; 17], особенно на стадии техногенного редколесья. Кроме этого, естественное лесовозобновление здесь затруднено, так как, несмотря на значительное количество валежа, процессы разложения протекают крайне медленно из-за угнетения микробиоты, что и обуславливает отсутствие важного в еловых биогеоценозах плодородного субстрата для

подроста ели [14]. Так же значимым фактором гибели подраста является привнесение поллютантов и накопление их в почве [10; 21; 25]. Высокая смертность молодого подраста ели отразилась на преобладании на ПП 1-85 особей с наибольшей средней высотой среди всех ПП (табл. 2).

В подлеске зафиксированы в основном можжевельник и рябина, реже добавляются кустарниковые виды ивы. По мере приближения к комбинату на ПП значительно снижается густота и представленность подлеска (от 2700 до 144 шт/га). Единственным видом, который обнаружен на всех стадиях дигрессии является можжевельник обыкновенный, что может охарактеризовать его как вид с широким экологическим спектром и способностью к адаптации в экстремальных условиях.

По мере приближения к источнику аэротехногенного загрязнения прослеживается чёткая тенденция к значительному преобразованию структуры напочвенного покрова. Выявлено, что при значительном снижении общего проективного покрытия напочвенного покрова, наиболее сильные преобразования происходят в мохово-лишайниковом покрове. Покрытие мохового яруса последовательно снижается от фона (95–100 %) к техногенным редколесьям (5–15 %), при этом на ПП 6-92 происходит полная смена доминирующих видов. Травяно-кустарничковый ярус характеризуется значительной устойчивостью, покрытие которого варьирует в сопоставимых пределах в фоновых условиях и дефолирующих лесах (60–100 %), но значительно падает на ПП 1-85 (10–50 %). Таким образом, с приближением к источнику загрязнения еловые сообщества изменяются от ельника кустарничково-зеленомошного к кустарничковому ельнику с деградирующим моховым покровом и к техногенному редколесью с практически отсутствующим мозаичным напочвенным покровом (отсутствием мхов и лишайников).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования, проведенные в северотаежных ельниках Мурманской области, позволяют сделать выводы о существенном преобразовании еловых биогеоценозов в результате длительного аэротехногенного загрязнения предприятия цветной металлургии. Изменения выражаются в коренной перестройке структуры еловых фитоценозов. Происходит упрощение вертикальной и горизонтальной структуры леса: переход от типичных для региона кустарничково-зеленомошных ельников к техногенным редколесьям. Общее проективное покрытие древостоя, напочвенного покрова и густота подлеска сокращаются. Снижается биоразнообразие и сменяются доминирующие виды напочвенного покрова. Естественное возобновление ели вблизи источника загрязнения ограничено нарушением протекания естественных процессов и биогеохимических циклов.

Результаты работы указывают на необходимость регулярных исследований и увеличение количества пробных площадей, для получения более достоверных результатов путём увеличения повторностей, поскольку как в естественных, так и в нарушенных биогеоценозах можно отметить неоднородность условий,

влияющих на динамику структуры и состояния ельников. Это хорошо заметно на примере дефолирующих лесов, различающихся по состоянию, структуре и лесовосстановительному потенциалу.

Проведенные работы и полученные результаты послужат основой для дальнейших исследований, связанных с учётом продолжающегося влияния предприятий цветной-металлургии и в условиях снижения аэротехногенных выбросов. Мониторинг структуры и состояния древостоев на ПП позволит определить ответные реакции еловых лесов на внешние воздействия, прогнозировать динамику состояния еловых насаждений, как в естественных, так и в нарушенных условиях загрязнения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Мурманской области в 2024 году. Мурманск, 2025. 111 с.
2. Исаева Л. Г., Костина В. А. Леса на территории заповедника // Труды Лапландского государственного заповедника. Вып. VI. Москва : Перо, 2012. С. 69–111.
3. Леса Кольского полуострова и их возобновление. Москва : Изд-во АН СССР, 1961. 186 с.
4. Лесной план Мурманской области. В 2 т. Мурманск, 2019.
5. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / под ред. В. А. Алексеева. Ленинград : Наука, 1990. 200 с.
6. Лесотаксационный справочник по северо-западу СССР. Ленинград : ЛТА, 1984. 320 с.
7. Лукина Н. В., Никонов В. В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения. В 2-х ч. Ч. 1. Апатиты : Изд-во Кольского научного центра РАН, 1996. 213 с.
8. Лукина Н. В., Никонов В. В. Питательный режим лесов северной тайги. Апатиты : Изд-во Кольского НЦ РАН, 1998. 316 с.
9. Лукина Н. В., Никонов В. В. Состояние еловых биогеоценозов Севера в условиях техногенного загрязнения. Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 1993. 134 с.
10. Лукина Н. В., Сухарева Т. А., Исаева Л. Г. Техногенные дигрессии и восстановительные sukcesии в северотаежных лесах. Москва : Наука, 2005.
11. Менщиков С. П., Ившин А. П. Закономерности трансформации предтундровых и таежных лесов в условиях аэротехногенного загрязнения. Екатеринбург : УрО РАН, 2006. 290 с.
12. Методика полевых работ по таксации леса на постоянных пробных площадях в рамках реализации инновационного проекта государственного значения «Углерод в экосистемах: мониторинг». Москва : ЦЭПЛ РАН, 2023. 32 с.
13. Методические рекомендации по оценке существующего и прогнозируемого состояния лесных насаждений в зоне влияния промышленных предприятий Мурманской области. Государственный комитет СССР по лесу Архангельский институт леса и лесохимии. Архангельск, 1990. 17 с.
14. Коренные старовозрастные леса Мурманской области / В. В. Никонов, И. В. Зайцева, К. Н. Кобылов и др. // Лесоведение. 2002. № 2. С. 15–23.
15. Никонов В. В., Лебедева Р. М. Ель и еловые леса в центральной части Кольского полуострова // Изучение растительных ресурсов Мурманской области. Апатиты : Изд-во Кольского филиала АН СССР, 1976. С. 53–64.
16. Правила санитарной безопасности в лесах. Утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 9.12.2020 № 2047. Москва, 2020. 15 с.
17. Прилуцкий А. Н., Воронкова Н. М. Сезонное изменение устойчивости растений к кислым осадкам // Фенологические явления в Приморье. Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1984. С. 56–61.
18. Проект организации и ведения лесного хозяйства Лапландского государственного природного биосферного заповедника. Таксационное описание Центрального лесничества. Всесоюзное объединение «Леспроект», Северо-западное лесоустроительное предприятие при Госкомитете СССР по лесу. СПб., 1990.
19. Проект организации и ведения лесного хозяйства Мончегорского лесхоза Мурманского управления лесами. Таксационное описание Мончегорского лесничества. ФГУП «Севзаплеспроект». СПб., 2003.
20. Раменская М. Л. Физико-географические особенности и лесные ландшафты // Лесовосстановление в Карельской АССР и Мурманской области. Петрозаводск, 1975. С. 4–35.
21. Сухарева Т. А. Пространственно-временная динамика микроэлементного состава хвойных деревьев и почвы в условиях промышленного загрязнения // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2013. № 6(336). С. 19–28.
22. Цветков В. Ф., Цветков И. В. Промышленное загрязнение окружающей среды и лес. Архангельск : ИПЦ САФУ, 2012. 312с.
23. Черненко Т. В. Фитоценологические исследования ельников кустарничково-зеленомошных в окрестностях Мончегорского металлургического комбината // Лесоведение. 1995. № 1. С. 57–65.
24. Gavrilova O., Graskin A. Characteristic properties of spruce phytocenoses structure under conditions of intense anthropogenic impact // Resources and Technology. 2024. Vol. 21. Is. 1. Pp. 86–99.
25. Assessment of the Composition of Rain Deposition in Coniferous Forests at the Northern Tree Line Subject to Air Pollution / V. V. Ershov, N. V. Lukina, M. A. Danilova et al. // Russian Journal of Ecology. 2020. Vol. 51, No. 4. P. 319–328.

REFERENCES

1. Doklad o sostoyanii i ohrane okruzhayushchej sredy Murmanskoj oblasti v 2024 godu. Murmansk, 2025. 111 s.
2. Isaeva L. G., Kostina V. A. Lesa na territorii zapovednika // Trudy Laplandskogo gosudarstvennogo zapovednika. Vyp. VI. Moskva : Pero, 2012. S. 69–111.
3. Lesa Kol'skogo poluostrova i ih vozobnovlenie. Moskva : Izd-vo AN SSSR, 1961. 186 s.
4. Lesnoj plan Murmanskoj oblasti. V 2-h tomah. Murmansk, 2019.
5. Lesnye ekosistemy i atmosfernoe zagryaznenie / pod red. V. A. Alekseeva. Leningrad : Nauka, 1990. 200 s.

6. Lesotaksacionnyj spravocnik po severo-zapadu SSSR. Leningrad : LTA, 1984. 320 s.
7. Lukina N. V., Nikonov V. V. Biogeohimicheskie cikly v lesah Severa v usloviyah aerotekhnogenного zagryazneniya. V 2-h ch. Ch. 1. Apatity : Izd-vo Kol'skogo nauchnogo centra RAN, 1996. 213 s.
8. Lukina N. V., Nikonov V. V. Pitatel'nyj rezhim lesov severnoj tajgi. Apatity : Izd-vo Kol'skogo NC RAN, 1998. 316 s.
9. Lukina N. V., Nikonov V. V. Sostoyanie elovyh biogeocенозов Severa v usloviyah tekhnogenного zagryazneniya. Apatity : Izd-vo KNC RAN, 1993. 134 s.
10. Lukina, N. V., Suhareva T. A., Isaeva L. G. Tekhnogennye digressii i vosstanovitel'nye sukcesii v severotaezhnyh lesah. Leningrad : Nauka, 2005.
11. Menshchikov S. P., Ivshin A. P. Zakonomernosti transformacii predtundrovyyh i taezhnyh lesov v usloviyah aerotekhnogenного zagryazneniya. Ekaterinburg : UrO RAN, 2006. 290 s.
12. Metodika polevyh rabot po taksacii lesa na postoyannyh probnyh ploshchadyah v ramkah realizacii innovacionного проекта gosudarstvenного znacheniya «Uglerod v ekosistemah: monitoring». Moskva : CEPL RAN, 2023. 32 s.
13. Metodicheskie rekomendacii po ocenke sushchestvuyushchego i prognoziruemogo sostoyaniya lesnyh nasazhdenij v zone vliyaniya promyshlennyh predpriyatij Murmanskoy oblasti. Gosudarstvennyj komitet SSSR po lesu Arhangel'skij institut lesa i lesohimii. Arhangel'sk, 1990. 17 s.
14. Korennye starovozrastnye lesa Murmanskoy oblasti / V. V. Nikonov, I. V. Zajceva, K. N. Kobayakov i dr. // Lesovedenie. 2002. № 2. S. 15–23.
15. Nikonov V. V., Lebedeva R. M. El' i elovye lesa v central'noj chasti Kol'skogo poluostrova // Izuchenie rastitel'nyh resursov Murmanskoy oblasti. Apatity : Izd-vo Kol'skogo filiala AN SSSR, 1976. S. 53–64.
16. Pravila sanitarnoj bezopasnosti v lesah. Utverzhdeny postanovleniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 9.12.2020 № 2047. Moskva, 2020. 15 s.
17. Priluckij A. N., Voronkova N. M. Sezonnoe izmenenie ustojchivosti rastenij k kislym osadkam // Fenologicheskie yavleniya v Primor'e. Vladivostok : DVNC AN SSSR, 1984. S. 56–61.
18. Proekt organizacii i vedeniya lesnogo hozyajstva Laplandskogo gosudarstvenного prirodnogo biosfernogo zapovednika. Taksacionnoe opisanie Central'nogo lesnichestva. Vsesoyuznoe ob"edinenie «Lesproekt», Severo-zapadnoe lesoustroitel'noe predpriyatie pri Goskomitete SSSR po lesu. SPb., 1990.
19. Proekt organizacii i vedeniya lesnogo hozyajstva Monchegorskogo leskhoza Murmanskogo upravleniya lesami. Taksacionnoe opisanie Monchegorskogo lesnichestva. FGUP «Sevzaplesproekt». SPb., 2003.
20. Ramenskaya M. L. Fiziko-geograficheskie osobennosti i lesnye landshafty // Lesovosstanovlenie v Karel'skoj ASSR i Murmanskoy oblasti. Petrozavodsk, 1975. S. 4–35.
21. Suhareva T. A. Prostranstvenno-vremennaya dinamika mikroelementnogo sostava hvojnyh derev'ev i pochvy v usloviyah promyshlennого zagryazneniya // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal. 2013. № 6(336). S. 19–28.
22. Cvetkov V. F., Cvetkov I. V. Promyshlennoe zagryaznenie okruzhayushchej sredy i les. Arhangel'sk : IPC SAFU, 2012. 312 s.
23. Chernen'kova T. V. Fitocenoticheskie issledovaniya el'nikov kustarnichkovo-zelenomoshnyh v okrestnostyah Monchegorskogo metallurgicheskogo kombinata // Lesovedenie. 1995. № 1. S. 57–65.
24. Gavrilova O., Graskin A. Characteristic properties of spruce phytocenoses structure under conditions of intense anthropogenic impact // Resources and Technology. 2024. Vol. 21, Is.1. Pp. 86–99.
25. Assessment of the Composition of Rain Deposition in Coniferous Forests at the Northern Tree Line Subject to Air Pollution / V. V. Ershov, N. V. Lukina, M. A. Danilova i dr. // Russian Journal of Ecology. 2020. Vol. 51, No. 4. P. 319–328.

© Рябов Н. С., Исаева Л. Г., 2026

Поступила в редакцию 27.01.2026
Принята к печати 26.06.2026