

В.Т. Ярмишко, О.В. Игнатьева

ВИТАЛИТЕТНАЯ СТРУКТУРА ВТОРИЧНЫХ СОСНЯКОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Введение. Лес никогда не бывает стабильным. Структура ценопопуляций древесных растений формируется под влиянием экологических, ценотических и антропогенных воздействий. Под влиянием внешних сил меняются условия местообитания, и, как следствие, возникает измененная модель биотической сукцессии, имеющей устойчивое состояние. Оно не является конечным в том смысле, что не будет изменяться по составу и структуре [Спурр, Барнес, 1984]. Устойчивость отдельных деревьев, в свою очередь, тесно связана с площадью питания и освещенностью крон. Биологическое значение густоты для самого насаждения определило появление понятия биологического оптимума, при котором древостой наиболее полно использует ресурсы и приспосабливается к условиям окружающей среды [Рябоконь, 1997]. Так, по данным автора, дифференциация деревьев в лесу является приоритетной из форм взаимодействия между деревьями. В густых насаждениях этот процесс начинается раньше и проходит интенсивнее, чем в разреженных, что приводит к быстрому переходу части деревьев из верхнего полога в ярус деревьев, отстающих в развитии.

Задача настоящих исследований вторичных сосняков лишайниковых и зеленомошно-лишайниковых III-IV классов возраста на Кольском полуострове состояла в оценке их виталитетной структуры в условиях изменяющейся окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов. Одним из важных вопросов была оценка реакций сосны обыкновенной на существенное снижение выбросов в окружающую среду SO_2 и полиметаллической пыли промышленными предприятиями в центральной части Кольского полуострова.

Материалы и методика исследования. Исследования проводились в лишайниковых и зеленомошно-лишайниковых вторичных сосновых лесах III-IV классов возраста, расположенных на различном расстоянии от источников эмиссии в пределах трех зон: фоновой, буферной и импактной (названия зон приведены в соответствии с номенклатурой ЮНЕП) [Global...1973].

В каждой зоне были заложены серии постоянных пробных площадей (ППП) (рис. 1). Особое внимание уделялось исследованиям древостоев сообществ сосны обыкновенной в фоновых районах, где практически отсутствует влияние антропогенных факторов, в частности промышленного загрязнения.

В центральной части Кольского полуострова с 1939 г. осуществляется производство цветных металлов комбинатом «Североникель» (г. Мончегорск). Наибольшее количество выбросов промышленных отходов в окружающую среду было зафиксировано в период с 1973 по 1992 гг. – 230 тыс. т/год SO_2 и 16 тыс. т/год мелкодисперсной полиметаллической пыли, содержащей смесь сульфидов и оксидов Cu, Ni, Co и др. [Позняков, 1999]. С конца 1990-х гг. на комбинате осуществлялась модернизация очистных сооружений, что привело к устойчивому снижению промышленных отходов.



Рис. 1. Схема размещения пробных площадей в сосновых лесах в центральной части Кольского полуострова (Мурманская область)

Fig 1. Layout of test areas in pine forests in the central part of the Kola Peninsula (Murmansk region)

В результате к началу XXI века отмечено 3–6-кратное сокращение объемов загрязняющих веществ по сравнению с их максимальными величинами. При этом ежегодный объем выбросов оставался относительно стабильным и составлял в среднем 40 тыс. т SO_2 и 5,2 тыс. т твердых веществ [Ярмишко и др., 2009; Кольская..., 2023].

Методика подбора, закладки ППП и детальных исследований древесной растительности описана нами в более ранних работах [Ярмишко, 1997; Методы..., 2002; Ярмишко и др., 2009; Евдокимов, Ярмишко, 2023]. Краткая характеристика древесного яруса исследованных сообществ *Pinus sylvestris* L. на основных ключевых участках приведена ниже, в табл. 1.

Таблица 1

**Краткая таксационная характеристика древесного яруса
исследуемых вторичных сосняков на ключевых пробных площадях
на Кольском полуострове**

**Brief taxational characteristics of the tree tier of the studied secondary pine
forests in key trial areas on the Kola Peninsula**

№№ п/п	Место расположения ППП, координаты	Высота над уровнем моря, м; экспозиция и уклон, °	Расстояние до источника загрязнения, км	Состав древостоя	Средние таксационные характеристики древостоев					Класс бонитета
					Высота, м	Диаметр, см	Возраст, лет	Количество деревьев, шт./га	Запас древесины, м ³ /га	
Фоновая зона										
1	N:67°33.227' E:31°04.751'	180; ЮЗ, 3°	70	10 С	8,5	10,1	50	1750	22,3	V
2	N:67°35.356' E:31°39.159'	161; ЮЗ, 2-3°	60	10 С	8,0	8,3	60	5273	47,5	V
Буферная зона										
3	N:67°38.168' E:32°42.234'	177; ЮЗ, 5°	35	10 С	8,1	7,9	70	1852	32,0	V
Импактная зона										
4	N:67°49.216' E:32.46.447'	175; ЮЗ, 4°	8	10 С	3,2	3,4	60	5300	10,1	V-a
5	N:68°00.384' E:32°55.540'	198; ЮЗ, 10°	10	10 С, ед. Б	4,3	5,1	70	5450	21,8	V-a

В напочвенном покрове исследованных сосняков 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.) Hustich), а среди мхов чаще всего встречаются *Pohlia nutans* (Hedw.) Lindb. и *Hepaticae* spp.

На каждой ППП выполнен сплошной пересчет деревьев; измерены и детально описаны кроны, оценено их состояние; установлен возраст хвои и степень возможных повреждений; определено жизненное состояние всех особей *Pinus sylvestris*, входящих в состав древесного яруса [Методы...,

2002]. Для определения возраста и анализа радиального прироста древесины у модельных деревьев отбирали образцы древесины (керны) буравом Пресслера или спилы стволов. Керны древесины обрабатывали на полуавтоматическом приборе LINTAB-6.

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 с помощью бинокулярной лупы МБС-9 на основе анализа 100 пар хвоинок, отобранных с побегов II порядка ветвления у 5–7 деревьев (смешанный образец) на каждой пробной площади [Методы..., 2002].

Статистическую обработку данных проводили методами дисперсионного и регрессионного анализов [Зайцев, 1984].

Результаты исследования. Исследованные производные сосняки лишайниковые и зеленомошно-лишайниковые III–IV классов возраста в фоновых районах на вырубках характеризуются хорошим ростом и развитием, деревья равномерно распределены по площади, их количество достигает в среднем 4–4,5 тыс. шт./га. Анализ данных по росту и развитию сосны обыкновенной показывает, что в первые 12–15 лет жизни она характеризуется достаточно интенсивным приростом в высоту и по диаметру. В дальнейшем, по мере развития молодых сообществ, интенсивность прироста сосны обыкновенной заметно снижается [Ярмишко, Игнатьева, 2021]. Анализ многочисленных данных свидетельствуют о том, что исследуемые сосняки в фоновых районах обладают свойствами самовозобновления, активным накоплением фитомассы, относительно хорошим плодоношением и устойчивостью к внешним факторам окружающей среды [Ярмишко, Игнатьева, 2021; Евдокимов, Ярмишко, 2023].

В этих условиях визуальные признаки повреждения хвои и крон деревьев практически отсутствуют, поэтому в виталитетных спектрах сосновых древостоев абсолютно доминировали здоровые особи на протяжении всего периода наблюдений (70–80%). Доля ослабленных особей варьировала от 13 до 17%, а сильно ослабленных – не превышала 5–6% (рис. 2, 3). Едва заметное ухудшение состояния сосновых древостоев в последние годы можно объяснить некоторым изменением погодных условий, усугублением фитоценологических взаимоотношений видов в ценозах с возрастом и другими причинами. Отпад в древостоях формируется из угнетенных, отставших в росте тонкомерных особей сосны (рис. 2, 3).



Рис. 2. Распределение древостоев сосны IV класса возраста по ступеням толщины и категориям жизненного состояния в фоновом Ено-Ковдорском районе на Кольском полуострове

Fig. 2. Distribution of stands of pine of about IV age class according to thickness levels and categories of living condition in the background area of Kovdorsky district on the Kola Peninsula

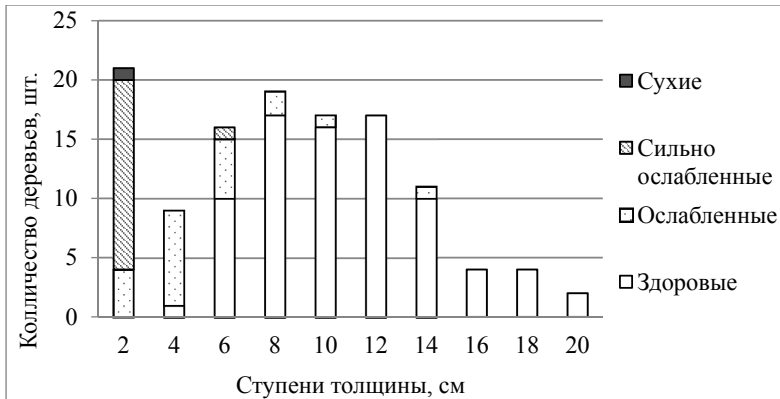


Рис. 3. Распределение древостоев сосны III класса возраста по ступеням толщины и категориям жизненного состояния в фоновом Уполокшском районе на Кольском полуострове

Fig. 3. Distribution of stands of pine of about III class of age by thickness levels and categories of living condition in the background Upolokshsky district on the Kola Peninsula

Таким образом, весь комплекс наблюдаемых в фоновых условиях изменений жизненного состояния деревьев и древостоев в исследуемых зелено-модно-лишайниковых средневозрастных сосновых лесах отражает естественные сукцессионные процессы при восстановлении сообществ на нарушенных территориях (вырубки, пожары).

В районе среднего уровня техногенного загрязнения (в буферной зоне, расположенной в 35 км от основного источника эмиссии) содержание кислот растворимых форм Ni и Cu в верхних горизонтах почвы до 1997 г. превышало фоновые значения в 4–8 раз [Ярмишко и др., 2009], а суммарное содержание этих металлов в хвое *P. sylvestris* было в 5–10 раз больше, чем в фоновых сообществах. По данным исследований, в 2008 г. их содержание снизилось в 3 раза по отношению к максимальным значениям, зарегистрированным в 1984–1988 гг. [Ярмишко и др., 2011]. Между суммарной концентрацией Ni и Cu в хвое *P. sylvestris* и объемом выбросов твердых веществ комбината «Североникель» существовала линейная связь: $r = 0,93$, $n = 6$, $P < 0,05$, где r – коэффициент корреляции; n – число наблюдений; P – уровень значимости.

Продолжительность жизни хвои *P. sylvestris* в рассматриваемом районе в 1982–1990 гг. была достоверно ниже, чем в фоновых условиях, и составляла в среднем 4 года. При этом преобладание неповрежденной хвои (64%) зарегистрировано только для 1–2-летнего возраста. У большей части трехлетней хвои (56%) площадь повреждения составляла 1–5%. С увеличением возраста хвои уменьшается доля здоровой хвои и возрастает площадь повреждений: 50% четырехлетней хвои было покрыто хлорозами и некрозами, занимающими 6–10% всей поверхности; незначительная часть хвои (2–3%) имела некрозы красно-коричневого цвета, а здоровая хвоя отсутствовала. Исследования, проведенные в 2014–2021 гг., показали, что в пределах буферной зоны основная часть хвои *P. sylvestris* однолетнего возраста (93–98%) не имела следов повреждения. Пятнистые хлорозы и точечные некрозы микроскопических размеров, занимающие 1–5% поверхности, встречались только у незначительной части (около 6%) хвои 2–3-летнего возраста. В 2014–2021 гг. состояние хвои как по продолжительности жизни, так и по степени повреждения практически достигло фоновых значений. Между продолжительностью жизни хвои *P. sylvestris* и ежегодным объемом атмосферных выбросов сернистого ангидрида и твердых веществ отмечается отрицательная связь: ($r = -1$ и $-0,97$, $n = 4$, $P < 0,05$). Взаимосвязь между содержанием тяжелых металлов в хвое *P. sylvestris* и продолжительностью ее жизни не установлена.

Результаты исследований виталитетной структуры сообществ сосны обыкновенной в буферной зоне свидетельствуют о том, что в 1981–1982 гг. доля здоровых особей не превышала 50%, ослабленных – 31%, сильно ослабленных и усыхающих – 19%. К началу 1990-х гг. состояние древостоев сосны заметно ухудшилось: доля здоровых особей составляла 10–12%, ослабленных – ~ 50%, а сильно ослабленных и усыхающих деревьев – 20–25%. При этом доля сухих деревьев возросла в 10 раз по сравнению с таковой в 1982 г. [Ярмишко, 1997].



Рис. 4. Распределение древостоев сосны IV класса возраста по ступеням толщины и категориям жизненного состояния в буферной зоне (средний уровень загрязнения) в Чунозерском районе на Кольском полуострове

Fig. 4. Distribution of stands of pine of about IV age class according to thickness levels and categories of living condition in the buffer zone (average pollution level) in the Chunozersky district on the Kola Peninsula

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что в зоне средних уровней техногенного загрязнения ослабление деревьев сосны обыкновенной еще не достигло того критического значения, за которым эдификаторная роль древесного яруса теряет свое значение в сообществе. Ранее отмечалось, что в случае существенного снижения или прекращения загрязнения окружающей среды в рассматриваемом районе возможно восстановление сосновых лесов естественным путем. Результаты исследований, проводимых в последние годы, подтвердили наши предположения. Так, на фоне 4–6-кратного снижения среднегодовых объемов выбросов загрязняющих веществ «Североникелем» с начала 2000-х гг. значения продолжительности жизни хвои приблизились к фоновым показателям [Евдокимов, Ярмишко, 2023],

интенсивность ее повреждения также заметно уменьшилась [Yarmishko, Ignateva, 2024]. Снижение пресса на лесные сообщества и, как следствие, улучшение состояния ассимиляционных органов привели к увеличению доли здоровых особей в виталитетном спектре, которая в 2014–2021 гг. стала достигать 60% (рис. 4). Возрастание доли здоровых деревьев произошло за счет перехода части ослабленных и сильно ослабленных особей в категорию здоровых. В результате доля ослабленных деревьев на ППП снизилась по сравнению с таковой в 1990 г. и составила около 18%, а число сильно ослабленных особей уменьшилось почти до 13,7% вследствие перехода части деревьев в более высокие категории жизненного состояния.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что в буферной зоне динамика состояния древесного яруса определяется синергичным воздействием атмосферных выбросов комбината «Североникель», внутривидовыми взаимоотношениями в ценозе с возрастом и климатическими изменениями.

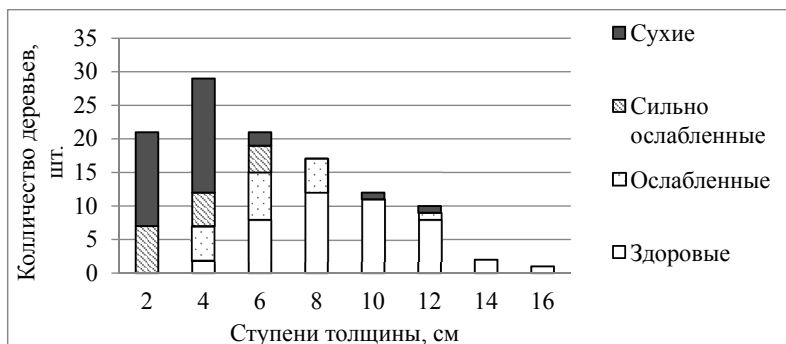


Рис. 5. Виталитетная структура древостоев сосны IV класса возраста в импактной зоне (Мончегорский р-он) на Кольском полуострове

Fig. 5. Vital structure of stands of pine of about IV class of age in the impact zone (Monchegorsky district) on the Kola Peninsula

В районах сильного загрязнения (импактная зона) для динамики содержания кислот растворимых форм тяжелых металлов в органогенном горизонте почв в период исследований были характерны независимые от режима атмосферных выбросов флуктуации [Лянгузова, 2010]. Максимальные концентрации тяжелых металлов в хвое *P. sylvestris*, в 20–40 раз превышающие фоновые значения, были зарегистрированы в 1984–1988 гг., а минимальные

(в 10–20 раз выше, чем фоновые) отмечались в 2005–2008 гг. [Ярмишко и др., 2009]. Коэффициент корреляции между содержанием Ni и Cu в хвое *P. sylvestris* и ежегодным объемом выбросов твердых веществ составлял $r = 0,95$ ($n = 6$, $P < 0,05$). Снижение суммарной концентрации Ni и Cu в ассимиляционных органах *P. sylvestris* обусловлено уменьшением доли их воздушного поступления, так как уровень загрязнения верхнего горизонта почвы остается достаточно высоким. Следует отметить, что установленная связь гораздо теснее в районе сильного загрязнения, чем в условиях умеренного промышленного загрязнения. Здесь рост и развитие отдельных деревьев и древостоев сосны обыкновенной в большей степени зависят от интенсивности загрязнения окружающей среды диоксидом серы и окислами тяжелых металлов, чем от других природных и антропогенных факторов в регионе.

Продолжительность жизни хвои *P. sylvestris* в импактной зоне за период наблюдений варьировала от 1,4 до 4,6 года. Минимальные значения были зарегистрированы в 1987 г., максимальные – в 2014–2021 гг. Динамика продолжительности жизни хвои характеризуется отрицательной связью с объемом выбросов сернистого ангидрида и твердых веществ (в обоих случаях $r = -1$, $n = 4$, $P < 0,05$).

В 1988 г. неповрежденной была только однолетняя хвоя *P. sylvestris*, доля которой составляла 25%. Двух- и трехлетняя хвоя по степени поврежденности практически не различались между собой (повреждения составляли 20–40%). В 2008 г. доля неповрежденной хвои *P. sylvestris* последовательно снижалась с увеличением возраста и составляла 74%, 55% и 12% для 1–3-летней хвои соответственно. При этом у поврежденной хвои площадь хлорозов и некрозов не превышала 10%. В целом, несмотря на значительное улучшение состояния ассимиляционного аппарата *P. sylvestris* к концу периода исследований (2014–2021 гг.), продолжительность ее жизни была ниже фоновых значений, а степень повреждения – выше.

В течение всего периода наблюдений в импактной зоне древесный ярус характеризовался высокой степенью угнетенности. Как и в буферной зоне, наихудшее состояние эдифицирующей синузии исследуемых лесных сообществ было отмечено через 15 лет после достижения объемами ежегодных выбросов максимальных значений, наблюдавшихся с 1973 по 1992 гг. На фоне последующего снижения аэротехногенной нагрузки состояние древесного яруса сосновых лесов стало постепенно улучшаться. Важно отметить, что в 2005 г. впервые в импактной зоне было зарегистрировано появление в древесном ярусе условно здоровых особей *P. sylvestris*, доля которых составляла 20–25%.

Результаты анализа виталитетной структуры сообществ сосны обыкновенной в импактной зоне свидетельствуют о том, что в начале наших исследований и до конца 1980-х гг. здоровых особей сосны в составе древостоя обнаружено не было, ослабленные составляли 6–8%, сильно ослабленные – 42–43%. Затем на фоне снижения аэротехногенного загрязнения с 1990 до 2005 гг. состояние древостоев сосны стало заметно улучшаться, и к 2014 г. число условно здоровых особей составляло уже около 40%, а на долю ослабленных и сильно ослабленных экземпляров приходилось 16% и 14% соответственно (рис. 5). При этом сухие особи в древостое доминировали (~31%). Исследования последних лет не обнаружили существенного улучшения санитарного состояния сообществ *P. sylvestris*. Наблюдались переходы особей одних категорий в более высокие, что в конечном итоге оказывало положительное влияние на общее состояние исследуемых сообществ сосны обыкновенной в импактной зоне.

Заключение. В силу особенностей лесообразовательных процессов на вырубках для молодняков сосны обыкновенной характерна высокая однородность пространственной структуры и одновозрастность деревьев. К моменту формирования древесного полога молодняки различались густотой, сомкнутостью и состоянием. Именно в молодняках была наиболее выражена диспропорция между густотой, полнотой и сомкнутостью. Это явление объяснимо равномерностью размещения деревьев и узкокронностью сосны на Кольском Севере. Еще одной особенностью густых молодых древостоев является замедленность в них процессов естественного отпада. Исследованиями установлено, что в фоновых районах виталитетная структура древесного яруса в зеленомошно-лишайниковых вторичных сосновых лесах отражает естественные сукцессионные процессы при восстановлении сообществ на вырубках. В этих условиях визуальные признаки повреждения деревьев практически отсутствуют, поэтому в виталитетных спектрах сосновых древостоев на протяжении всего периода наблюдений доминировали здоровые особи.

В районе средних уровней техногенного загрязнения (буферная зона) наблюдается заметное ослабление жизненного состояния деревьев сосны обыкновенной. Однако оно еще не достигло того критического значения, за которым эдификаторная роль древесного яруса теряет свое значение в сообществе. Ранее отмечалось [Ярмишко и др., 2011], что в случае существенного снижения или прекращения загрязнения окружающей среды в рассматриваемом районе возможно восстановление сосновых лесов естественным путем. Результаты исследований, проводимых в последние годы,

подтвердили наши предположения. Снижение пресса на лесные сообщества и, как следствие, улучшение состояния надземных органов древесных растений привели к увеличению доли здоровых особей в виталитетном спектре, которая в 2014–2021 гг. достигла 60%.

В районах сильного загрязнения окружающей среды (импактная зона) древесный ярус исследованных сосняков характеризовался высокой степенью угнетенности. Исследования последних лет не обнаружили существенного улучшения санитарного состояния сообществ *P. sylvestris*. Наблюдались переходы особей одних категорий в более высокие, что в конечном итоге оказывало положительное влияние на общее состояние исследуемых сообществ в импактной зоне.

В заключение можно отметить, что на фоне наблюдаемых естественных флуктуаций жизненного состояния древесного яруса сосны обыкновенной на Кольском Севере отмечены его существенные изменения под воздействием атмосферных загрязнителей. Динамика эдифицирующей синузизы вторичных лесов *P. sylvestris* в фоновых условиях центральной части Кольского полуострова обусловлена естественными сукцессионными процессами, в буферной и импактной зонах – режимом промышленных атмосферных выбросов.

Сведения о финансировании исследования. Работа выполнена по государственному заданию отдела Ботанический сад Петра Великого по плановой теме «История создания, состояние, потенциал развития живых коллекций растений Ботанического сада Петра Великого БИН РАН», регистрационный номер: 124020100075-2.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Зайцев Г.И. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.

Евдокимов А.С., Ярмишко В.Т. Структура древесного яруса лесных сообществ центральной части Кольского полуострова, формируемая при снижении аэротехногенной эмиссии // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер.: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31, №1. С. 115–126. DOI: 10.22363/2313-2310-31-1-116-126.

Кольская ГМК: официальный сайт. URL: <http://www.kolagmk.ru/> (дата обращения: 15.12.2023).

Лянгузова И.В. Толерантность компонентов лесных экосистем Севера России к аэротехногенному загрязнению: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 2010. 43 с.
Методы изучения лесных сообществ. СПб.: СПбГУ, 2002. 240 с.

Позняков В.Я. Северникель. М.: Руда и металлы, 1999. 432 с.

Рябокоть А.П. Структурно-функциональная организация и антропогенная динамика сосняков различного целевого назначения на Восточной Украине // Лесной журнал. 1997. №3. С. 36–44.

Спурр С. Г., Барнес Б.В. Лесная экология. Пер. с 3-го англ. изд. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 479 с.

Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб.: Изд-во НИИ химии СПбГУ, 1997. 210 с.

Ярмишко В.Т., Игнатьева О.В. Сообщества *Pinus sylvestris* L. в техногенной среде на Европейском Севере России: структура, особенности роста и состояние // Сибирский лесной журнал. 2021. №3. С. 44–55. DOI: 10.15372/SJFS20210305.

Ярмишко В.Т., Баккал И.Ю., Борисова О.В., Горшков В.В., Катютин П.Н., Лянгузова И.В., Мазная Е.А., Ставрова Н.И., Ярмишко М.А. Динамика лесных сообществ Северо-Запада России. СПб.: ВВМ, 2009. 276 с.

Ярмишко В.Т., Горшков В.В., Лянгузова И.В., Баккал И.Ю. Экологический мониторинг лесных экосистем Кольского полуострова в условиях аэротехногенного загрязнения // Региональная экология. 2011. №1-2 (31). С. 21–29.

Global Environmental Monitoring Systems (GEMS). SCOPE Report 3. Toronto, 1973. 74 p.

Yarmishko V.T., Ignateva O.V. Scots pine (*Pinus sylvestris* L) in a changing environment in the Kola North // Scientific research of the SCO countries: synergy and integration: mat. of sci. conf. Beijing, 2024. P. 87–93.

References

Evdokimov A.S., Yarmishko V.T. The structure of the tree layer of forest communities in the central part of the Kola Peninsula, formed with a decrease in aerotechnogenic emissions. *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Ser.: Ecology and life safety*, 2023, vol. 31, no. 1, pp. 115–126. DOI: 10.22363/2313-2310-31-1-116-126. (In Russ.)

Global Environmental Monitoring Systems (GEMS). SCOPE Report 3. Toronto, 1973. 74 p.

Kola MMC: official website. URL: <http://www.kolagmk.ru/> / (accessed December 15, 2023).

Lyanguzova I.V. Tolerance of components of forest ecosystems of the North of Russia to aerotechnogenic pollution: author's abstract. Diss. ... Dr. Biol. Sci. St. Petersburg, 2010. 43 p. (In Russ.)

Methods of studying forest communities. St. Petersburg: St. Petersburg State University, 2002. 240 p. (In Russ.)

Poznyakov V.Ya. Severonickel (pages of the history of the Severonickel Combine). Moscow: Ore and Metals, 1999. 432 p. (In Russ.)

Ryabokon A.P. Structural and functional organization and anthropogenic dynamics of pine forests for various purposes in Eastern Ukraine. *Lesnoy zhurnal*, 1997, no. 3, pp. 36–44. (In Russ.)

Spurr S.G., Barnes B.V. Forest ecology. Transl. from the 3rd English ed. Moscow: Lesn. prom-st', 1984. 479 p. (In Russ.)

Yarmishko V.T. Scots pine and atmospheric pollution in the European North. St. Petersburg: Publ. House of the St. Petersburg State University Institute of Chemistry, 1997. 210 p. (In Russ.)

Yarmishko V.T., Ignatieva O.V. Communities of *Pinus sylvestris* L. in the anthropogenic environment in the European North of Russia: structure, features of growth and condition. *Siberian Forest Journal*, 2021, no. 3, pp. 44–55. DOI: 10.15372/SJFS20210305. (In Russ.)

Yarmishko V.T., Ignatieva O.V. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in a changing environment in the Kola North. *Scientific research of the SCO countries: synergy and integration*: mat. of sci. conf. Beijing, 2024, pp. 87–93.

Yarmishko V.T., Bakkal I.Yu., Borisova O.V., Gorshkov V.V., Katyutin P.N., Lyanguzova I.V., Maznaya E.A., Stavrova N.I., Yarmishko M.A. Dynamics of forest communities in the North-West of Russia. St. Petersburg: VVM, 2009. 276 p. (In Russ.)

Yarmishko V.T., Gorshkov V.V., Lyanguzova I.V., Bakkal I.Yu. Ecological monitoring of forest ecosystems of the Kola Peninsula under conditions of aerotechnogenic pollution. *Regional ecology*, 2011, no. 1-2 (31), pp. 21–29. (In Russ.)

Zaitsev G.I. Mathematical statistics in experimental botany. Moscow: Nauka, 1984. 424 p. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 24.06.2025

Ярмишко В.Т., Игнатьева О.В. Виталитетная структура вторичных сосняков в центральной части Кольского полуострова // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 259. С. 97–110. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.259.97-110

Исследована виталитетная структура эдифицирующей синузии вторичных сосняков лишайниковых и зеленомошно-лишайниковых III–IV классов возраста в центральной части Кольского полуострова (Мурманская обл.). Установлено, что в фоновых районах виталитетная структура древесного яруса отражает естественные сукцессионные процессы при восстановлении сообществ после внешних нарушений (рубки, пожары). На фоне наблюдаемых естественных флуктуаций жизненного состояния древесного яруса сообществ *P. sylvestris* отмечены существенные изменения его под воздействием атмосферных загрязнителей – от угнетения роста и развития деревьев до их гибели.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, виталитетная структура, древостой, промышленное загрязнение, Кольский полуостров.

Yarmishko V.T., Ignatieva O.V. Vital structure of secondary pine forests in the central part of the Kola Peninsula. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2026, iss. 259, pp. 97–110 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.259.97-110

The vital structure of the edifying synusion of secondary lichen and moss-lichen pine forests of III-IV age classes in the central part of the Kola Peninsula (Murmansk region) has been studied. It has been established that in background areas the vital structure of the tree layer reflects natural successional processes during the restoration of communities after external disturbances (logging, fires). Against the background of the observed natural fluctuations in the vital state of the tree layer of *P. sylvestris* communities, significant changes in it were noted under the influence of atmospheric pollutants, from inhibition of tree growth and development to their death.

Key words: common pine, vital structure, stand of trees, industrial pollution, Kola Peninsula.

ЯРМИШКО Василий Трофимович – профессор кафедры ботаники и дендрологии Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5. Санкт-Петербург, Россия;

заведующий отделом «Ботанический сад Петра Великого» Ботанического института им В.Л. Комарова РАН, доктор биологических наук. SPIN-код: 4483-9930. ORCID: 0000-0001-6893-4748.

197022, ул. Профессора Попова, д. 2, лит. В, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: vasiliiarmishko@yandex.ru

YARMISHKO Vasily T. – DSc (Biological), Professor, Department of Botany and Dendrology, St.Petersburg State Forest Technical University;

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia;

Head of the Peter the Great Botanical Garden Department, V.L. Komarov Botanical Institute of the RAS. SPIN-code: 4483-9930. ORCID: 0000-0001-6893-4748.

197022. Professora Popova str. 2. Let. V. St. Petersburg. Russia. E-mail: vasiliiarmishko@yandex.ru

ИГНАТЬЕВА Оксана Васильевна – заведующий кафедрой ботаники и дендрологии Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат биологических наук, доцент. SPIN-код: 8410-9354. ORCID: 0009-0004-1082-5222

194021, Институтский пер., д. 5. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: ignateva_oksana@inbox.ru

IGNATIEVA Oksana V. – PhD (Biological), Head of the Department of Botany and Dendrology, St.Petersburg State Forest Technical University, Associate Professor. SPIN-code: 8410-9354. ORCID: 0009-0004-1082-5222.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: ignateva_oksana@inbox.ru