

Научная статья

УДК 630*182.22:582.475.2(282.247.11)

DOI: 10.37482/0536-1036-2025-5-26-41

Структура и состояние древесного яруса коренных ельников притундровой зоны в бассейне Печоры

А.В. Манов[✉], канд. с.-х. наук, науч. сотр.; ResearcherID: [P-9089-2015](https://orcid.org/0000-0002-5070-0078),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5070-0078>

И.Н. Кутявин, д-р биол. наук, ст. науч. сотр.; ResearcherID: [P-9829-2015](https://orcid.org/0000-0002-7840-1934),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7840-1934>

Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, ул. Коммунистическая, д. 28, ГСП-2, г. Сыктывкар, Россия, 167982; manov@ib.komisc.ru[✉], kutjavin-ivan@rambler.ru

Поступила в редакцию 23.03.24 / Одобрена после рецензирования 19.06.24 / Принята к печати 20.06.24

Аннотация. Исследованы динамические процессы в коренных еловых фитоценозах в сложных климатических условиях притундровой зоны, смягчаемых теплом, приносимым с юга водами р. Печоры. Сбор полевого материала проводился на постоянных пробных площадях в течение 3 периодов (2005–2006, 2013, 2022 гг.) в ельниках разных типов. Анализировалась динамика размерной структуры и жизненного состояния древесных растений коренных ельников на основе изменчивости диаметров стволов деревьев на высоте 1,3 м и высоты подроста. Полученные данные показывают, что с увеличением среднего диаметра деревьев ели в древостоях притундровых ельников разных типов возрастает коэффициент вариации. Распределение деревьев по абсолютным ступеням толщины характеризуется небольшой растянутостью, обычно с 1 максимумом, смещенным влево. В ельниках, развивающихся на болотно-подзолистых почвах, большинство деревьев относится к мелким ступеням толщины (≤ 10 см). В ельниках зеленомошной группы типов интервал ступеней толщины растянут из-за наличия в древостоях крупных деревьев. Такая размерная структура свойственна для коренных ельников средней тайги. Распределение общего древесного запаса по ступеням толщины описывается пульсирующей кривой с одним максимумом, которая в некоторых случаях может прерываться на больших ступнях. Размеры подроста оказались более изменчивыми во времени. Под пологом древостоев притундровых еловых лесов наблюдается непрерывный возобновительный процесс. Стационарное наблюдение за жизнеспособностью и поврежденностью деревьев и подроста, основанное на визуальной оценке растения по кроне, показало улучшение как верхних ярусов древесного полога, так и нижних – подроста. Древостой и подрост, характеризовавшиеся в начале наблюдения как ослабленные, за период мониторинга перешли в категорию здоровых. Результаты исследования являются частью экологического мониторинга саморегулирующихся еловых лесов в бассейне р. Печоры. Долгосрочные научные работы на постоянных пробных площадях позволяют изучить изменчивость растительных сообществ и их реакцию на глобальные изменения климата, что способствует более глубокому пониманию механизмов, лежащих в основе этих изменений, а также способов адаптации к ним. Полученные данные послужат основой для дальнейшего экологического мониторинга и прогнозирования состояния саморегулирующихся печорских лесов.

Ключевые слова: притундровая зона, динамика, размерная структура, коренные ельники, жизненное состояние, древостой, подрост



Благодарности: Работа выполнена в рамках госзадания Института биологии Коми НЦ УрО РАН № 125020501547-8. Авторы глубоко признательны д-ру биол. наук Капитолине Степановне Бобковой, под чьим руководством заложены объекты и начаты исследования на них, а также сотрудникам отдела лесобиологических проблем Севера Института биологии Коми НЦ УрО РАН, принимавшим участие в сборе полевых материалов.

Для цитирования: Манов А.В., Кутявин И.Н. Структура и состояние древесного яруса коренных ельников притундровой зоны в бассейне Печоры // Изв. вузов. Лесн. журн. 2025. № 5. С. 26–41. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-5-26-41>

Original article

The Structure and Condition of the Tree Layer of Indigenous Spruce Forests of the Subtundra Zone in the Pechora River Basin

Aleksey V. Manov[✉], Candidate of Agriculture, Research Scientist; ResearcherID: [P-9089-2015](https://orcid.org/0000-0002-5070-0078), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5070-0078>

Ivan N. Kutjavin, Doctor of Biology, Senior Research Scientist; ResearcherID: [P-9829-2015](https://orcid.org/0000-0002-7840-1934), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7840-1934>

Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Kommunisticheskaya, 28, GSP-2, Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; manov@ib.komisc.ru[✉], kutjavin-ivan@rambler.ru

Received on March 23, 2024 / Approved after reviewing on June 19, 2024 / Accepted on June 20, 2024

Abstract. Dynamic processes in indigenous spruce phytocenoses have been studied in the challenging climatic conditions of the subtundra zone, moderated by the heat brought from the south by the waters of the large Pechora River. Field material has been collected on permanent sample plots during 3 periods (2005–2006, 2013, 2022) in spruce forests of different types. The dynamics of the size structure and vitality status of woody plants in indigenous spruce forests have been analyzed based on the variability of tree stem diameters at a height of 1.3 m and the height of undergrowth. The data obtained show that with an increase in the average diameter of spruce trees in stands of subtundra spruce forests of different types, the coefficient of variation increases. The distribution of trees by absolute diameter classes is characterized by a slight stretch, usually with 1 maximum shifted to the left. In spruce forests developing on swampy-podzolic soils, most of the trees belong to small diameter classes (≤ 10 cm). In spruce forests of the green-moss type group, the interval of diameter classes is extended due to the presence of large trees in the stands. This dimensional structure is typical for the indigenous spruce forests of the middle taiga. The distribution of the total stand of timber by diameter classes is described as a pulsating curve with a single maximum, which, in some cases, may be interrupted at larger diameter classes. The size of the undergrowth has turned out to be more variable over time. Under the canopy of stands of subtundra spruce forests, a continuous renewal process is being observed. Stationary monitoring of the viability and damage of trees and undergrowth, based on a visual assessment of the plant by the crown, has shown an improvement in both the upper layers of the tree canopy and the lower layers of the undergrowth. The stand and undergrowth, which have been characterized as weakened at the beginning of the observation, moved into the healthy category during the monitoring period. The results of the research are part of the environ-

mental monitoring of self-regulating spruce forests in the Pechora River basin. Long-term scientific work on permanent sample plots allows us to study the variability of plant communities and their response to global change, which contributes to a deeper understanding of the mechanisms underlying these changes, as well as ways of adapting to them. The data obtained will serve as a basis for further environmental monitoring and forecasting of the state of self-regulating Pechora forests.

Keywords: subundra zone, dynamics, size structure, indigenous spruce forests, vitality status, stand, undergrowth

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of the state assignment for the Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences no. 125020501547-8. The authors are deeply grateful to Kapitolina Stepanovna Bobkova, Doctor of Biology, under whose guidance the objects were laid and research was started on them, as well as to the staff of the Department of Forest Biological Problems of the North of the Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, who participated in the collection of field materials.

For citation: Manov A.V., Kutyavin I.N. The Structure and Condition of the Tree Layer of Indigenous Spruce Forests of the Subundra Zone in the Pechora River Basin. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2025, no. 5, pp. 26–41. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-5-26-41>

Введение

Притундровая зона – циркумполярный пояс на севере Евразии и Америки, сформированный лесными, горно-тундровыми и болотными ландшафтами, где доминирующее положение принадлежит экосистемам с лесной растительностью [19]. Около 1/3 бореальных лесов России расположены в этой зоне. Здесь находятся основные площади бассейнов рек, которые несут свои воды с юга в северные моря, продолжительное время подпитывая теплом прибрежные районы и таким образом влияя на региональный климат [27].

Особый интерес вызывает притундровая защитная полоса, которая в бассейне р. Печоры простирается на ширину 90–250 км. Она образует отдельный эволюционно сформировавшийся биом в зоне контакта тайги и тундры. Лесопокрытая площадь территории, согласно учету лесного фонда на 1 января 2021 г., составляет 6 072,9 тыс. га, из которых 82 % занимают спелые и перестойные леса. На сегодняшний день значительная часть этих лесов остается почти нетронутой. Они являются средой обитания для диких животных, представляют социальную и экологическую ценность для региона, поддерживают биоразнообразие. С учетом важности притундровых лесов законом правительства в 1959 г. в ее пределах была образована защитная полоса притундровых лесов. Однако в притундровой и тундровой зонах в бассейне р. Печоры интенсивно осваиваются нефтяные запасы и, как следствие, резко увеличивается антропогенная нагрузка на хрупкие экосистемы. Следовательно, в ближайшем будущем изучение девственных лесов при росте угрозы устойчивости обеспечения экосистемных услуг может стать еще более востребованным [33].

Лесные биогеоценозы как системы открытого типа взаимосвязаны друг с другом и окружающей средой через разнообразные потоки вещества и энергии [24]. Изучение изменений в лесных сообществах и их компонентах под воздействием изменений климата особенно актуально в районах с экстремальными

почвенно-климатическими условиями, к которым относится и притундровая зона Печорского бассейна [22, 23, 32]. Так, средняя температура воздуха, по данным ближайшей к объектам исследования метеостанции Усть-Цильма, за период современного потепления (с 1981 г. по настоящее время) превышает климатическую норму на 1,1 °С. Несмотря на вариативность уровня осадков в пространстве, считается, что в арктических регионах их количество увеличивается каждое десятилетие на 0,5–1,0 %.

Леса притундровой зоны Печорского бассейна характеризуются небольшим разнообразием видов деревьев. Основная порода здесь – ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.), и фитоценозы, формируемые при ее преобладании, занимают 74 % покрытой лесом территории. Благодаря своей адаптивности к различным экологическим условиям ель может произрастать как на песчаных, так и на глинистых почвах, образуя обширные массивы монодоминантных лесов и редколесья в северных широтах европейского Северо-Востока [9].

В 2004–2005 г. мы отмечали ослабленное состояние притундровых ельников Печорского бассейна [29]. Очевидно, что длительная тенденция потепления климата, характерная для всей России и северного полушария на протяжении последних 40 лет [3], должна оказать положительное воздействие на состояние древесного полога ельников в приполярных фитоценозах, где тепло является определяющим фактором для роста и развития растений.

Цель исследования заключается в изучении многолетней динамики размерной структуры древостоя и подроста, а также их жизненного состояния в коренных ельниках притундровой зоны в бассейне р. Печоры.

Объекты и методы исследования

Объекты исследования представлены ненарушенными коренными ельниками зеленомошной, долгомошной и сфагновой групп типов, занимают плоские пространства в рельефе местности Печорской низменности (65°54'–65°55' с. ш. 52°28'–52°39' в. д.). Они низкобонитетные (V–V6 классов), отличаются сложной структурой и являются смешанными по составу. В качестве сопутствующих пород встречаются лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.) и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Береза извилистая (*Betula tortuosa* Ledeb.) всегда находится в примеси с елью. Под пологом древостоев развивается подрост разных высоты и состояния, сформированный теми же видами, что и древостой. Нижний ярус – это редкий подлесок, включая можжевельник, шиповник, рябину кустовой формы, ольху, ивы и березу карликовую. Травяно-кустарничковый ярус характеризуется преобладанием черники, брусники, морошки и голубики. В ельниках развит моховой покров, где доминируют *Sphagnum* sp., *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al., *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt. и *Polytrichum commune* Hedw. Растительные сообщества располагаются на подзолистых и болотно-подзолистых почвах.

Исследуемый район характеризуется суровым климатом, длительной морозной зимой и коротким прохладным летом. Присутствие многоводной реки, обширных болот и обилие осадков при слабом испарении создают избыточную влажность. Световой период с июня по июль круглосуточный, что приводит к увеличению суммы физиологически активной радиации и снижению перепадов температур в течение суток.

Для сбора данных в полевых условиях использовались стандарт ОСТ 59-69–83 и руководство [26]. В 2005 и 2006 гг. на территории были заложены постоянные пробные площади (ППП) прямоугольной формы по 0,12 га в разных типах еловых сообществ. Размеры ППП обеспечивают необходимое число наблюдений в древостоях для вычисления статистических показателей вариационного ряда с точностью 5 % при уровне значимости 0,05 [5]. В притундровых лесах могут закладываться ППП и меньшего размера при соблюдении минимальных объемов полевых исследований, рассчитанных при помощи математической статистики [16]. В течение 3 периодов: 2005–2006, 2013, 2022 г. – проводился учет всех деревьев в зависимости от их породы, диаметра, высоты и состояния. Возраст деревьев определялся путем подсчета годичных слоев на кервах, взятых с 20–30 % растений всех пород на каждой ППП. Подрост учитывали на ППП по породе, высоте и состоянию. Деревья с диаметром ствола ≥ 6 см на высоте 1,3 м относились к древостою, а другие древесные растения высотой $\geq 0,25$ м и потенциально способные образовать древостой считались подростом.

Исследование изменений в размерной структуре древостоев и подроста ельников основано на анализе изменчивости диаметров стволов деревьев и высоты подроста. Для оценки неравенства распределения древесных растений по размерам использовался коэффициент Джини (CG), предложенный для этих целей С. Damgaard и J. Weinter [30]. Коэффициент Джини может колебаться от 0 до 1. Чем выше отклонение от 0, тем более сосредоточены деревья в определенной размерной категории. CG = 0 указывает на идеальное равномерное распределение (одинаковое количество деревьев в каждой размерной категории).

Анализ экологической структуры древостоев и подроста в притундровых ельниках проводился с применением методики, базирующейся на визуальной оценке состояния дерева на основе характеристик их кроны и соответствующих коэффициентов жизненности [1]. Этот метод был разработан автором для мониторинга состояния древостоев как в поврежденных, так и в фоновых насаждениях, где структура древесной растительности во многом определяется процессами конкуренции за жизненное пространство и питательные вещества. Он широко используется в качестве показателя состояния лесов при мониторинге лесных земель [13].

Оценивая состояние древостоев и подроста, предлагается присваивать древесному растению коэффициент, отражающий его жизненный и продукционный потенциал, определяемый прежде всего объемом способных к нормальному функционированию ассимиляционных органов. На основе эмпирических данных разными авторами названы условные коэффициенты жизненности каждой категории состояния деревьев и подроста (табл. 1, 2). В большинстве случаев они показывают схожие результаты оценки жизненного состояния растительного сообщества. Коэффициенты, перечисленные в работе [15], отличаются завышенными (на 10 %) характеристиками здоровья лесных сообществ.

Расчеты индексов жизненного состояния древостоев выполнялись нами на основе числа деревьев и объема стволовой древесины. Относительное жизненное состояние древостоя (%) вычислялось по формуле:

$$L_n = (100n_1 + 70n_2 + 40n_3 + 5n_4) / N,$$

где n_1 , n_2 , n_3 , n_4 – количество здоровых, ослабленных, сильно ослабленных и отмирающих деревьев соответственно, дер./га; N – общее количество деревьев, за исключением старого сухостоя, дер./га.

Таблица 1

Коэффициенты жизненности деревьев по категориям состояния, %
Tree vitality coefficients by condition categories, %

Здоровый	Ослабленный	Сильно ослабленный	Отмирающий	Литературный источник
100	70	40	5	В.А. Алексеев [1]; «Лесные...» [10]
100	70	40	10	С.М. Бебия [2]; «Методы...» [14]; А.С. Евдокимов, В.Т. Ярмишко [4]
100	80	40	20	Е.Г. Мозолева, Т.В. Шарапа [15]
100	66	43	13	П.Н. Катютин, В.В. Горшков [6]

Таблица 2

Коэффициенты жизненности подроста по категориям состояния, %
Undergrowth vitality coefficients by condition categories, %

Здоровый	Сомнительный	Усыхающий	Литературный источник
100	70	10	П.А. Цветков, Д.А. Киришева [25], K.S. Bobkova, A.V. Manov [29]
100	70	30	Е.А. Робакидзе, Н.В. Торлопова [18]

Коэффициент здорового дерева приравнивается к 100 %, а сухостоя – к 0 %. Для деревьев с промежуточными состояниями указываются соответствующие им коэффициенты. При расчетах учитывался только свежий сухостой, т. к. в 1-е годы после гибели он еще оказывает влияние на древостой.

При $L_n = 100\text{--}80\%$ древостой считается здоровым; при $79\text{--}50\%$ – ослабленным; при $49\text{--}20\%$ – сильно ослабленным; при $\leq 19\%$ – полностью разрушенным.

Помимо оценки жизненного состояния древостоя важно также знать уровень его поврежденности (%) [1]:

$$D_n = (30n_2 + 60n_3 + 95n_4 + 100n_5) / N,$$

где n_2, n_3, n_4, n_5 – количество поврежденных (ослабленных), сильно поврежденных (сильно ослабленных), усыхающих (отмирающих) деревьев и сухостоя (включая старый сухостой) соответственно, дер./га.

$D_n = 11\text{--}19\%$ указывает на начальную стадию ослабления древостоя; $20\text{--}49\%$ – древостой поврежденный; $50\text{--}79\%$ – сильно поврежденный; $\leq 80\%$ – разрушенный.

Анализ жизненного состояния и поврежденности древостоев по объему стволовой древесины (L_v) осуществлялся с применением тех же формул и коэффициентов, что и для числа деревьев.

Жизненное состояние подроста (%) оценивалось по его численности с использованием модифицированной формулы для древостоев:

$$L_n = (100n_1 + 70n_2 + 10n_3) / N,$$

где n_1, n_2, n_3 – количество здоровых, сомнительных и усыхающих экземпляров подроста соответственно, экз./га; N – общее количество подроста, включая сухую, экз./га.

Термин «жизненное состояние» или «жизненность» (деревьев, древостоя) трактуется нами как параметр морфометрических характеристик роста и развития деревьев в момент наблюдения за ними.

Результаты исследования и их обсуждение

В период полевых работ (2005–2022 гг.) следов антропогенного или природного воздействия на изучаемые лесные сообщества не обнаружено. Однако за этот относительно короткий срок наблюдались изменения в доминантах напочвенного покрова в пределах 1 группы типов леса в 2 ельниках. Так, ельник чернично-сфагновый (ППП 8) стал морошково-сфагновым, а ельник зеленомошно-лишайниковый (ППП 10) – зеленомошным. Во всех рассматриваемых фитоценозах отмечаются небольшие сдвиги (до 2 ед.) в участии различных пород древесных растений в составе древостоев и подроста. Коэффициент вариации (CV) свидетельствует о небольшой изменчивости таксационных показателей (густота, полнота и запас) древостоев от 1 до 22 % (табл. 3). Наименьшие трансформации зафиксированы в самом продуктивном из изученных сообществ – ельнике разнотравно-зеленомошном (ППП 6), в то время как наибольшие – в ельнике морошково-сфагновом (ППП 8). Густота подроста проявляет более высокую лабильность (CV = 14–42 %) по сравнению с показателем древостоев (CV = 1–11 %).

Таблица 3

Временные изменения таксационных показателей древостоя
и подроста в ельниках
The temporal changes in the inventory indicators of stands
and undergrowth in spruce forests

Год учета	Древостой					Подрост		
	состав	амплитуда возраста (средний воз- раст ели), лет	густо- та, шт./га	сумма площадей сечения, м²/га	запас стволовой древесины, м³/га	состав	густо- та, шт./га	средняя высота, м
Разнотравно-зеленомошный (ППП 6)								
2005	7ЕЗБ	100–234 (166)	1433	41,2	335	9Е1Б	507	1,5
2013	6Е4Б	Не опреде- лено	1367	42,5	348	10Е	325	2,1
2022	7ЕЗБ	95–252 (167)	1450	40,1	320	10Е	217	2,0
m			1417	41,3	334	350		1,9
σ			±44	±1,2	±14	±147		±0,3
CV			3	2	4	42		16
Сфагновый (ППП 7)								
2005	9Е1С+Б	30–310 (180)	747	5,2	19	8Е2С ед.Б	3017	1,5
2013	8Е2С+Б	Не опреде- лено	850	8,3	26	8Е2С ед.Б	2581	1,7
2022	7Е3С ед.Б	32–277 (186)	783	5,8	22	6Е4С ед.Б	3317	2,0
m			855	6,8	24	3114		1,8
σ			±75	±1,3	±2	±445		±0,4
CV			9	14	8	14		21
Морошково-сфагновый (ППП 8)								
2005	8Е2Б	80–270 (168)	1267	16,1	85	6Е4Б+С	719	2,0

Окончание табл. 3

Год учета	Древостой					Подрост		
	состав	амплитуда возраста (средний воз- раст ели), лет	густо- та, шт./га	сумма площадей сечения, м²/га	запас стволовой древесины, м³/га	состав	густо- та, шт./га	средняя высота, м
2013	8Е2Б	Не опреде- лено	1025	11,4	58	6Б4Е ед.С	1193	2,4
2022	7Е3Б	78–278 (175)	1108	13,2	67	5Е5Б ед.С	900	2,7
m			1133	13,6	70	931		2,4
σ			±123	±2,4	±14	±230		±0,4
CV			11	14	20	25		16
Зеленомошный (ППП 10)								
2006	5Е4Л- ц1Б	50–305 (118)	950	18,4	127	7Б3Е ед.С	1686	1,3
2022	5Е5Лц ед.Б	48–322 (115)	933	22,4	174	7Б3Е+С	1100	2,8
m			942	20,4	151	1393		2,1
σ			±12	±2,8	±33	±414		±1,0
CV			1	15	22	30		49
Кустарничково-долгомошный (ППП 12)								
2006	7Е3Б	110–212 (174)	1083	12,5	65	6Б4Е	1319	2,2
2022	9Е1Б	59–229 (177)	1250	14,6	81	5Е5Б	1672	2,1
m			1167	13,6	73	1496		2,1
σ			±118	±1,5	±11	±250		±0,1
CV			10	7	15	17		3

Примечание: Е – ель сибирская; С – сосна обыкновенная; Лц – лиственница сибирская; Б – береза извилистая. Единица коэффициента состава равна 10 % общего запаса данной породы в древостое. Доля участия породы: «+» – 2–5 %; «ед.» – < 2 %. Статистические показатели: m – среднее значение; σ – стандартное отклонение.

Размеры стволов деревьев представляют собой один из наиболее изменчивых показателей структурной организации древесного полога, даже в одновозрастных сообществах. Поэтому оценку динамики морфоструктуры древостоев рекомендуется проводить по диаметру ствола, его высоте или производным от них характеристикам полноты и запаса древостоя [20]. Для коренных ельников притундровой зоны исследование неравенства в распределении древесных растений по размерам позволило проанализировать результаты долгосрочного мониторинга структуры древостоев и подроста. Полученные данные показывают, что с увеличением среднего диаметра деревьев ели в древостоях притундровых ельников разных типов возрастает коэффициент вариации. Так, в начале наблюдений (2005–2006 гг.) на ППП он составлял 21–37 %, а в 2022 г. увеличился до 30–42 %. Распределению деревьев по абсолютным ступеням толщины свойственна небольшая растянутость, обычно с 1 максимумом, смещенным влево (рис. 1). В ельниках, развивающихся на болотно-подзолистых почвах, большинство деревьев сконцентрировано в мелких ступенях толщины (≤ 10 см). В ельниках зеленомошной группы типов интервал ступеней толщины растянут из-за наличия в древостоях крупных

деревьев ели и березы на ППП 6, а также лиственницы на ППП 10. В ельнике сфагновом для начальных ступеней толщины наблюдается увеличение числа деревьев сосны. Снижение количества ели отмечено для сфагновой группы типов. Лиственница встречается в составе древостоев только в ельнике зеленомошном, где она представлена крупными экземплярами. Распределение общего древесного запаса по ступеням толщины характеризуется пульсирующей кривой с 1 максимумом, которая в некоторых случаях может прерываться на больших ступнях.

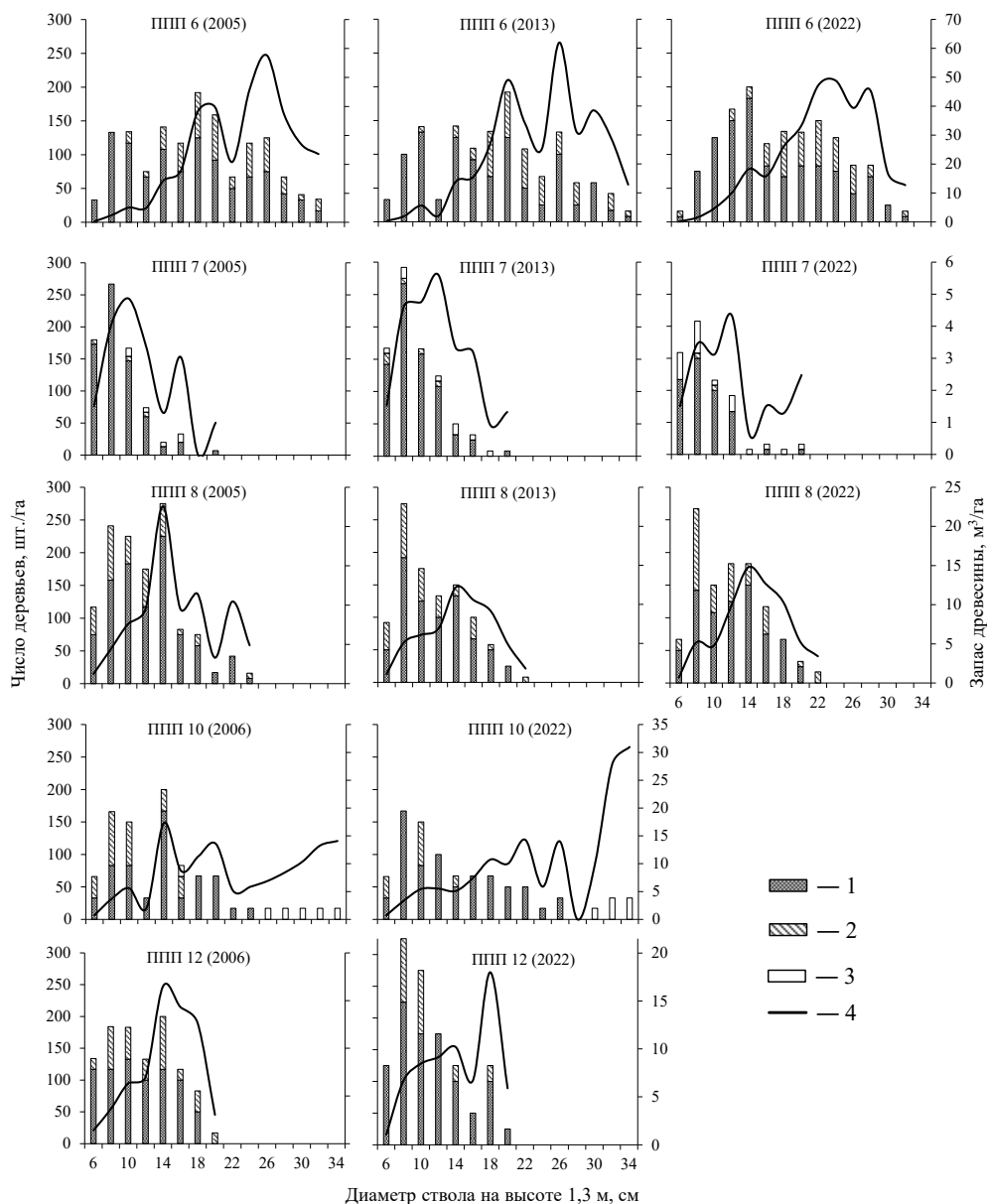


Рис. 1. Динамика численности деревьев ели (1), березы (2) и светлехвойных пород (3), а также общего запаса древесины (4) по ступеням толщины

Fig. 1. The dynamics of the number of spruce (1), birch (2) and light coniferous (3) trees, as well as the total stand of timber (4) by diameter classes

Под пологом древостоев притундровых ельников всегда можно обнаружить подрост разных состояния и размеров. В рассматриваемых ельниках преобладает подрост средней (0,6–1,5 м) и крупной (> 1,5 м) категорий (рис. 2). Наибольшая численность подроста наблюдается в ельнике сфагновом, а наименьшая – в ельнике разнотравно-зеленомошном. В сфагновом сообществе увеличивается количество подроста сосны для каждой категории крупности. Также отмечается появление мелкого ($\leq 0,5$ м) и среднего 0,6–1,5 м подроста сосны в ельнике морошково-сфагновом. В районе работ во всех изученных и сопредельных сообществах, включая лиственничные, отсутствует подрост лиственницы.

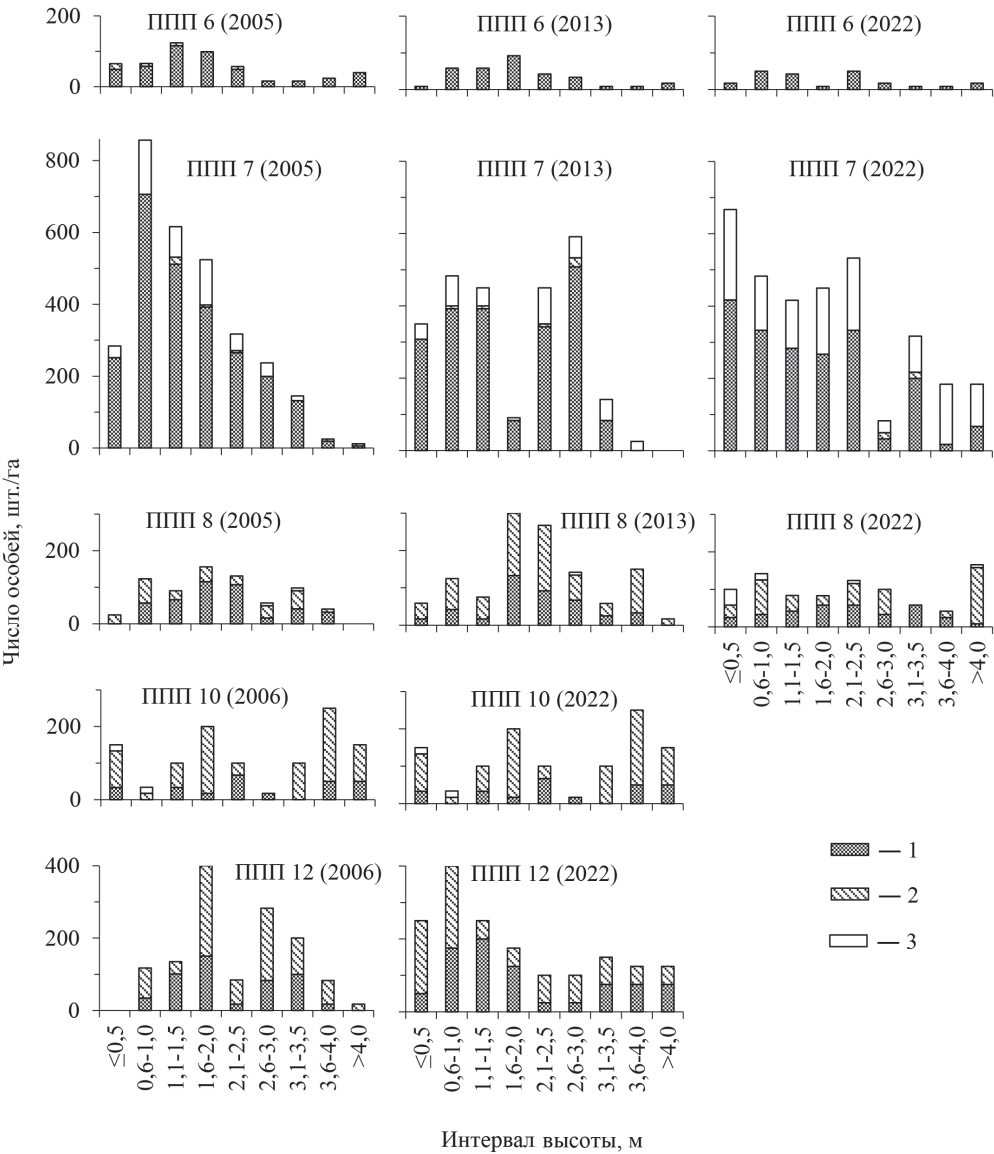


Рис. 2. Динамика численности подроста ели (1), березы (2) и сосны (3) по интервалам высоты

Fig. 2. The dynamics of the number of spruce (1), birch (2) and pine (3) undergrowth by height intervals

Расчеты коэффициента Джини показали, что неравенство распределения деревьев по диаметру ствола в исследуемых ельниках за период наблюдений существенно не изменилось (рис. 3, *а*). Отмечается относительно низкий уровень неравенства во всех рассматриваемых типах леса как в начале наблюдений ($CG = 0,19–0,24$, в среднем $0,20$), так и в конце ($CG = 0,17–0,29$, в среднем $0,21$).

В отличие от распределения деревьев распределение подроста по ступеням высоты оказывается более изменчивым во времени, что, на наш взгляд, связано с неоднородностью урожая семян на Севере (рис. 3, *б*). Разница распределения подроста по размерному ряду на 30 % выше, чем у деревьев. За период наблюдений CG по типам леса изменился с $0,22–0,35$ (в среднем $0,29$) до $0,31–0,37$ (в среднем $0,34$). Наиболее низкие коэффициенты были зафиксированы в середине наблюдений ($CG = 0,23–0,26$, в среднем $0,24$).

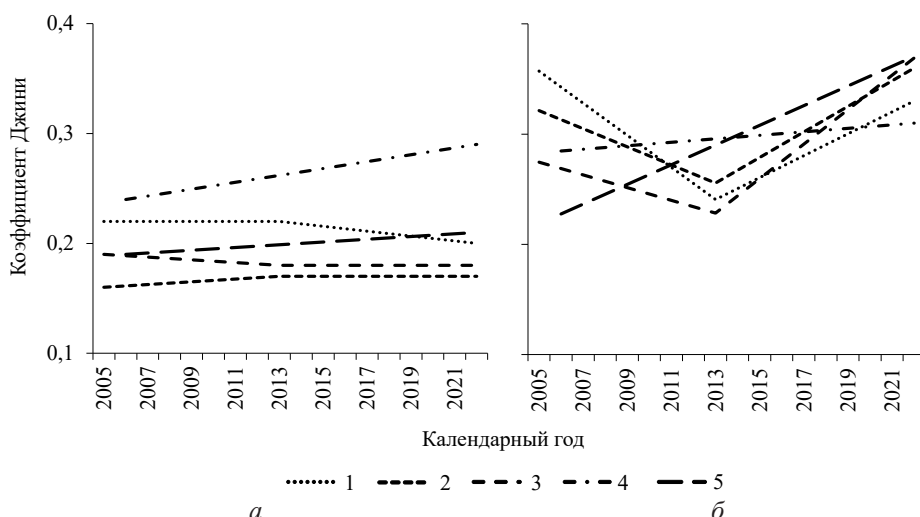


Рис. 3. Изменение коэффициентов Джини по толщине ствола деревьев (*а*) и высоте подроста (*б*) в ельниках: 1 – разнотравно-зеленомошном (ППП 6); 2 – сфагновом (ППП 7); 3 – морошково-сфагновом (ППП 8); 4 – зеленомошном (ППП 10); 5 – кустарничково-долгомошном (ППП 12)

Fig. 3. The variation of Gini coefficient values for tree stem thickness (*a*) and undergrowth height (*b*) in spruce forests: 1 – forb-green moss (PSP 6); 2 – sphagnum (PSP 7); 3 – cloudberry-sphagnum (PSP 8); 4 – green moss (PSP 10); 5 – shrubby-long moss (PSP 12)

Оценки жизненного состояния древостоев по числу деревьев и объему стволовой древесины показали схожие результаты. При этом максимальные расхождения не превышают 16 %, а среднее расхождение составляет 5 % (рис. 4). Оба этих метода выявили тенденцию улучшения жизненного состояния как древостоев, так и подроста (табл. 4). В 2005 г. большинство древостоев было классифицировано нами как ослабленные ($79 < L < 50$ %), в то время как в 2013 и 2022 гг. все насаждения охарактеризованы как здоровые ($L \geq 80$ %). Также наблюдались изменения в категориях жизненного состояния у подроста под пологом ельников разных типов, причем за период наблюдений они перешли из ослабленного состояния в здоровое. Однако подрост в ельнике разнотравно-зеленомошном находится в стадии сильного ослабления ($20 < L < 49$ %). Наибольшей жизненностью обладают древостой и подрост в ельнике зеленомошном.

Поврежденность изучаемых древостоев за время наблюдений сократилась в 2–6 раз. В 2005 г. мы определяли их как поврежденные ($20 < D < 49$ %)

или имеющие начальную стадию повреждения ($11 < D < 19\%$), а в 2022 г. лишь древостой ельника сфагнового сохранил признаки поврежденности ($D > 20\%$).

Рис. 4. Жизненное состояние древостоев:
 L_n – на основе количества деревьев; L_v –
на основе объема стволов (неокрашенные
круги – наибольшие различия показателей)
Fig. 4. The vitality status of stands: L_n – based
on the number of trees; L_v – based
on the volume of stems (uncoloured circles –
the largest deviations in indicators)

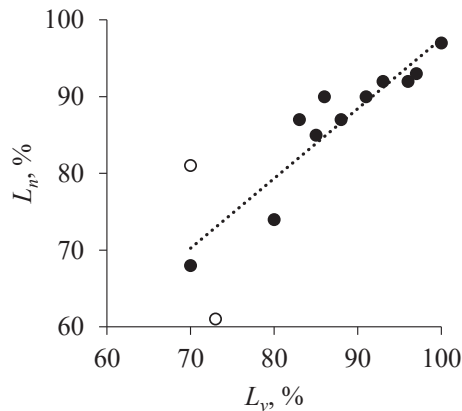


Таблица 4

Динамика жизненного состояния ельников, %
The dynamics of the vitality status of spruce forests, %

№ ППП (год учета)	Древостой				Подрост
	L_n	D_n	L_v	D_v	L_n
6 (2005)	61	43	73	29	35
6 (2013)	85	24	85	16	50
6 (2022)	92	14	96	6	43
7 (2005)	68	33	70	31	62
7 (2013)	90	21	91	16	80
7 (2022)	87	36	88	34	85
8 (2005)	74	30	80	22	68
8 (2013)	87	24	83	26	73
8 (2022)	92	12	93	9	85
10 (2006)	90	13	86	19	93
10 (2022)	97	6	100	3	98
12 (2006)	81	34	70	40	75
12 (2022)	93	12	97	8	90

По материалам исследований ельников Крайнего Севера С.В Ярославцевым [28] выявлено, что при среднем диаметре деревьев ели ≤ 14 см коэффициент вариации толщины ствола составляет 24–41 %, а по данным Б.А. Семенова с соавторами [19], этот показатель колеблется в пределах 26–115 % (чаще 30–46 %). Наши результаты сопоставимы с результатами авторов. По наблюдениям 2005–2006 гг. интервал коэффициента вариации деревьев ели при средней толщине ствола ≤ 14 см составлял 21–33 %, а в 2022 г. – 30–42 %.

Особенностью распределения деревьев по диаметру ствола притундровых ельников является значительное накопление мелких особей с последующим порой резким уменьшением их численности по мере увеличения размера ствола. Такая структура накопления молодых деревьев также была обнаружена С.В. Ярославцевым [28] для распределения деревьев по диаметру в ельниках Крайнего Севера. В то же время динамика размерной структуры продуктивно-

го древостоя ельника разнотравно-зеленомошного сопоставима со среднетаежными ельниками, развивающимися на автоморфных подзолистых почвах [12]. В этих лесах отмечается пологое и растянутое по вариационному ряду распределение деревьев с максимальной численностью в средних ступенях. Исследования Б.А. Семенова с соавторами [19], а также результаты данной работы показывают, что наибольшее количество молодых деревьев в спелых и перестойных древостоях ельников накапливается в ценопопуляциях, формирующихся на болотно-подзолистых почвах. Избыточное увлажнение почв в ельниках сфагновом и морошково-сфагновом способствует развитию сосны, что связано с ее адаптивными способностями [21], а длительное отсутствие низовых пожаров в ельнике зеленомошном на маломощных песчаных подзолистых почвах ведет к полному отсутствию возобновления лиственницы [7]. Береза соседствует с елью как в древостое, так и в подросте на протяжении всего периода исследования. Эта порода практически всегда присутствует в коренных еловых лесах на европейском Севере [9].

Размерная структура подроста менее стабильна во времени по сравнению со структурой древостоев, что, на наш взгляд, связано с суровыми природными (климатическими и почвенными) условиями на Крайнем Севере, которые ограничивают процесс лесовозобновления. Для региона характерны нерегулярность плодоношения, объясняющаяся в основном недостатком тепла, низкая всхожесть семян, а также развитие травяно-кустарничкового и особенно мохово-лишайникового покровов [8, 17, 19].

Вероятно, в формулу оценки жизненного состояния притундровых фитоценозов следует вводить дополнительные коэффициенты, учитывающие действующие на территории экстремальные условия среды и реакцию деревьев на них [15]. Однако использование разных методик расчетов затруднит сравнение результатов исследования с данными для сопредельных территорий и характеристику динамики.

В отличие от притундровых ельников, для которых мы отметили улучшение жизненного состояния древостоев и подростов, в среднетаежных ельниках Печорского бассейна происходит некоторое ослабление как верхних ярусов древесного полога, так и нижних – подростов [12]. Мы не исключаем, что изменение температурных условий в регионе из-за современного потепления климата может оказать положительное воздействие на состояние притундровых ельников, ограничивающим фактором развития которых является недостаток тепла [31]. Из-за неполной изученности растительных сообществ, их толерантности и способности к адаптации к настоящим климатическим изменениям невозможно провести сопоставление последствий с аналогичными событиями [11].

Заключение

В течение наблюдаемого 17–18-летнего периода развития еловых лесов притундровой зоны ценопопуляции ели оставались господствующими в сообществе. Лесовозобновительный процесс в целом был непрерывным. Жизненное состояние древесного яруса улучшилось.

Длительные стационарные исследования позволяют изучить изменчивость в растительных сообществах и их реакцию на глобальные изменения, что способствует лучшему пониманию механизмов, лежащих в основе этих изменений, а также путей реагирования на них.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Алексеев В.А. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. 200 с.
Alekseev V.A. *Forest Ecosystems and Atmospheric Pollution*. Leningrad, Nauka Publ., 1990. 200 p. (In Russ.).
2. Бебия С.М. Дифференциация деревьев в лесу, их классификация и определение жизненного состояния деревьев // Лесоведение. № 4. 2000. С. 35–43.
Bebiya S.M. Differentiation of Trees in the Forest, Their Classification and Determination of Their Vital Status. *Lesovedenie*, 2000, no. 4, pp. 35–43. (In Russ.).
3. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год. М.: Росгидромет, 2019. 79 с.
A Report on Climate Features on the Territory of the Russian Federation in 2018. Moscow, Roshydromet Publ., 2019. 79 p. (In Russ.).
4. Евдокимов А.С., Ярмишко В.Т. Структура древесного яруса лесных сообществ центральной части Кольского полуострова, формируемая при снижении аэротехногенной эмиссии // Вестн. РУДН. Сер.: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31, № 1. С. 115–126.
Evdokimov A.S., Yarmishko V.T. The Tree Layer Structure of Forest Communities of the Kola Peninsula Central Part Formed When Aerotechnogenic Emissions Reduced. *Vestnik RUDN. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* = RUDN Journal of Ecology and Life Safety, 2023, vol. 31, no. 1, pp. 115–126. (In Russ.).
<http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-115-126>
5. Зиганшин Р.А. Площадь выявления насаждений и необходимое число наблюдений в древостоях элементов леса // Лесоведение. 2017. № 6. С. 464–477.
Ziganshin R.A. Evaluation of Confidence of Observations during Forest Taxation. *Lesovedenie*, 2017, no. 6, pp. 464–477. (In Russ.). <http://doi.org/10.7868/S0024114817060109>
6. Катютин П.Н., Горшков В.В. Жизненное состояние, скорость роста и надземная фитомасса *Pinus sylvestris* (Pinaceae) в средневозрастных северотаежных лесах // Растит. ресурсы. 2020. Т. 56, № 2. С. 99–111.
Katyutin P.N., Gorshkov V.V. Vitality, Growth Rate and Aboveground Phytomass of *Pinus sylvestris* (Pinaceae) in Middle-Aged Northern Taiga Forests. *Rastitelnye resursy*, 2020, vol. 56, no. 2, pp. 99–111. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0033994620020065>
7. Кашин В.И., Козобродов А.С. Лиственничные леса европейского севера России. Архангельск: Арх. фил. Рус. географ. о-ва РАН, 1994. 222 с.
Kashin V.I., Kozobrodov A.S. *Larch Forests of the European North of Russia*. Arkhangelsk, Arkhangelsk Branch of the Russian Geographical Society of the Russian Academy of Sciences, 1994. 222 p. (In Russ.).
8. Козубов Г.М. Биология плодоношения хвойных на Севере. Л.: Наука, 1974. 135 с.
Kozubov G.M. *Biology of Fruiting of Conifers in the North*. Leningrad, Nauka Publ., 1974. 135 p. (In Russ.).
9. Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции. СПб.: Наука, 2006. 337 с.
Indigenous Spruce Forests of the North: Biodiversity, Structure, Functions. St. Petersburg, Nauka Publ., 2006. 337 p. (In Russ.).
10. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / под ред. В.А. Алексеева. Л.: Наука. 1990. 200 с.
Forest Ecosystems and Atmospheric Pollution. Ed. by V.A. Alekseev. Leningrad, Nauka Publ., 1990. 200 p. (In Russ.).
11. Липка О.Н., Корзухин М.Д., Замолодчиков Д.Г., Добролюбов Н.Ю., Крыленко С.В., Богданович А.Ю., Семенов С.М. Роль лесов в адаптации природных систем к изменениям климата // Лесоведение. 2021. № 5. С. 531–546.
Lipka O.N., Korzukhin M.D., Zamolodchikov D.G., Dobrolyubov N.Yu., Krylenko S.V., Bogdanovich A.Yu., Semenov S.M. A Role of Forests in Natural Sys-

tems Adaptation to Climate Change. *Lesovedenie*, 2021, no. 5, pp. 531–546. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0024114821050077>

12. Манов А.В., Кутявин И.Н. Динамика структуры и состояния древесного яруса среднетаежных коренных ельников предгорий Северного Урала // *Лесоведение*. 2023. № 6. С. 587–595.

Manov A.V., Kutyavin I.N. Tree Storey Structure and Condition Dynamics in Middle-Taiga Native Spruce Forests of the Northern Ural Foothills. *Lesovedenie*, 2023, no. 6, pp. 587–595. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0024114823050054>

13. Манов А.В., Кутявин И.Н. Мониторинг лесных земель. Сыктывкар: СЛИ, 2023. 52 с.

Manov A.V., Kutyavin I.N. *Monitoring of Forest Lands: Textbook*. Syktyvkar, Syktyvkar Forest Institute Publ., 2023. 52 p. (In Russ.).

14. Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с. *Methods of Studying Forest Communities*. St. Petersburg: Institute of Chemistry of St. Petersburg State University, 2002. 240 p. (In Russ.).

15. Мозолева Е.Г., Шарпа Т.В. Некоторые результаты применения индекса состояния насаждений при мониторинге // *Лесн. вестн.* 2003. № 2. С. 142–145.

Mozolevskaya E.G., Sharapa T.V. Some Results of Application of the Index of Plantation Condition in Monitoring. *Lesnoy vestnik* = Forestry Bulletin, 2003, no. 2, pp. 142–145. (In Russ.).

16. Пахучий В.В., Пахучая Л.М. Производительность и возобновление насаждений притундрового леса в Республике Коми // *Изв. Коми науч. центра Уралъск. отд. Рос. акад. наук. Сер.: С.-х. науки*. 2022. № 6(58). С. 71–77.

Pakhuchiy V.V., Pakhuchaya L.M. Capacity and Regeneration of Subtundra Forest Stands in the Komi Republic. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra Ural'skogo oteleniya Rossijskoj akademii nauk. Seriya: Sel'skokhozyajstvennyye nauki* = Proceedings of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series: Agricultural Sciences, 2022, no. 6(58), pp. 71–77. (In Russ.).

17. Пристова Т.А., Манов А.В., Загирова С.В. Оценка запасов органического вещества напочвенного покрова и подстилки в еловых и березовых фитоценозах на Приполярном Урале // *Растит. ресурсы*. 2016. Т. 52, № 2. С. 282–294.

Pristova T.A., Manov A.V., Zagirova S.V. Estimation of Stock of Organic Substance of Ground Vegetation and Forest Litter of Spruce and Birch Phytocoenoses in the Subpolar Urals. *Rastitelnye resursy*, 2016, vol. 52, no. 2, pp. 282–294. (In Russ.).

18. Робакидзе Е.А., Торлопова Н.В. Мониторинг состояния ельников в условиях загрязнения целлюлозно-бумажного производства // *Растит. ресурсы*. 2018. № 54(1). С. 42–58.

Robakidze E.A., Torloпова N.V. Monitoring of the Spruce Forests Status under Pollution from Pulp and Paper Mill Emissions. *Rastitelnye resursy*, 2018, vol. 54, no. 1, pp. 42–58. (In Russ.).

19. Семенов Б.А., Цветков В.Ф., Чибисов Г.А., Елизаров Ф.П. Притундровые леса Европейской части России: природа и ведение хозяйства. Архангельск: Пресс-А, 1998. 332 с.

Semenov B.A., Tsvetkov V.F., Chibisov G.A., Elizarov F.P. *Subtundra Forests of the European Part of Russia: Nature and Management*. Arkhangelsk, Press-A Publ., 1998. 332 p. (In Russ.).

20. Соловьев В.М., Соловьев М.В. Рост и дифференциация древесных растений – эколого-биологическая основа изучения и формирования древостоев лесных экосистем // *Аграр. вестн. Урала*. 2012. № 2(94). С. 44–47.

Solov'ev V.M., Solov'ev M.V. The Growth and Differentiation of Woody Plants – Ecological and Biological Basis for the Study and Formation of Stands of Forest Ecosystems. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals, 2012, no. 2(94), pp. 44–47. (In Russ.).

21. Тарханов С.Н., Пинева Е.А., Аганина Ю.Е. Особенности адаптации разных форм сосны обыкновенной в условиях длительного избыточного увлажнения почв // *Изв. вузов. Лесн. журн.* 2021. № 2. С. 30–44.

Tarkhanov S.N., Pinaevskaya E.A., Aganina Yu.E. Features of Adaptation of Different Forms of Scots Pine under Conditions of Prolonged Excessive Soil Moistening. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2021, no. 2, pp. 30–44. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-2-30-44>

22. Уткина И.А., Рубцов В.В. Современные представления о влиянии изменений климата на взаимодействие лесных деревьев и насекомых-фитофагов // Лесн. вестн. / Forestry Bulletin. 2017. Т. 21, № 6. С. 5–12.

Utkina I.A., Rubtsov V.V. Modern Ideas about the Impact of Climate Change on Interactions of Forest Trees and Phytophagous Insects. *Lesnoy vestnik* = Forestry Bulletin, 2017, vol. 21, no. 6, pp. 5–12. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2017-6-5-12>

23. Худяков О.И., Решоткин О.В. Климатическая норма температуры как критерий оценки термообеспеченности и изменчивости климата подзолистых почв Тимано-Печорской провинции // Вестн. ОГУ. 2011. № 12(131). С. 256–261.

Khudyakov O.I., Reshotkin O.V. Climatic Norm of the Temperature as a Criterion of the Estimate of Thermal Security and Variability of the Climate of Podzol Soils in Timano-Pechorskaya Region. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011, no. 12(131), pp. 256–261. (In Russ.).

24. Цветков В.Ф. Лесной биогеоценоз. Архангельск: АГТУ, 2004. 268 с.

Tsvetkov V.F. *Forest Biogeocenosis*. Arkhangelsk, Arkhangelsk State Technical University Publ., 2004. 268 p. (In Russ.).

25. Цветков П.А., Киришева Д.А. Влияние рекреации на естественное возобновление сосны обыкновенной // Хвойные бореал. зоны. 2004. Вып. 2. С. 61–65.

Tsvetkov P.A., Kirisheva D.A. The Influence of Recreation on Natural Regeneration of Scots Pine. *Khvoynye boreal'noi zony* = Conifers of the Boreal Area, 2004, iss. 2, pp. 61–65. (In Russ.).

26. Чертовской В.Г., Семенов Б.А., Шамин А.А. Практическое пособие по исследованию притундровых лесов. Архангельск: АИЛиЛХ, 1977. 35 с.

Chertovskoj V.G., Semenov B.A., Shamin A.A. *A Practical Guide to Studying Subtundra Forests*. Arkhangelsk, Arkhangelsk Forest and Forest Chemistry Institute Publ., 1977. 35 p. (In Russ.).

27. Чибисов Г.А., Цветков В.Ф., Семенов Б.А. Крайне северные леса и проблемы их сохранения // Изв. вузов. Лесн. журн. 1992. № 4. С. 7–11.

Chibisov G.A., Tsvetkov V.F., Semenov B.A. Far North Forests and Problems of Their Conservation. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 1992, no. 4, pp. 7–11. (In Russ.).

28. Ярославцев С.В. Особенности строения ельников Крайнего Севера // Изв. вузов. Лесн. журн. 1992. № 4. С. 29–32.

Yaroslavtsev S.V. Structural Features of Spruce Forests in the Far North. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 1992, no. 4, pp. 29–32. (In Russ.).

29. Bobkova K.S., Manov A.V. Health State of Native Spruce Stands and Saplings in the Northern Timberline Forests of the Pechora Basin. *Contemporary Problems of Ecology*, 2012, vol. 5, pp. 152–158. <https://doi.org/10.1134/S1995425512020035>

30. Damgaard C., Weiner J. Describing Inequality in Plant Size or Fecundity. *Ecology*, 2000, vol. 81, iss. 4, pp. 1139–1142. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2000\)081\[1139:DIIPSO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2000)081[1139:DIIPSO]2.0.CO;2)

31. Manov A.V., Kutavavin I.N. Space-Time Variability of the Climatic Signal in Spruce Radial Growth in the Pechora River Basin. *Contemporary Problems of Ecology*, 2022, vol. 15, pp. 872–882. <https://doi.org/10.1134/S1995425522070174>

32. McBean G., Alekseev G., Chen D., Forland E., Fyfe J., Groisman P.Y., King R., Melling H., Vose R. Arctic: Arctic Climate Impact Assessment. *Arctic Climate: Past and Present*. Cambridge, Cambridge University Press, 2005, chapt. 2, pp. 21–60.

33. Thom D., Seidl R. Natural Disturbance Impacts on Ecosystem Services and Biodiversity in Temperate and Boreal Forests. *Biological Reviews*, 2016, vol. 91, iss. 3, pp. 760–781. <https://doi.org/10.1111/brv.12193>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article