

УДК 630*187:582.475:630*644.2:630*43:630*221.01(470.13-924.82)

DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-86-105

СТРОЕНИЕ ДРЕВОСТОЕВ СЕВЕРОТАЕЖНЫХ СОСНЯКОВ

И.Н. Кутявин, канд. с.-х. наук, науч. сопр.; ResearcherID: [P-9829-2015](https://orcid.org/0000-0002-7840-1934)

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

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

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

А.Ф. Осипов, канд. биол. наук, науч. сопр.; ResearcherID: [P-9583-2015](https://orcid.org/0000-0003-0618-9660)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0618-9660>

М.А. Кузнецов, канд. биол. наук, науч. сопр.; ResearcherID: [P-9870-2015](https://orcid.org/0000-0001-6331-9578)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6331-9578>

Институт биологии Коми научный центр Уральского отделения РАН, ГСП-2, ул. Коммунистическая, д. 28, г. Сыктывкар, Россия, 167982; e-mail: ivan.kutyawin@yandex.ru, manov@ib.komisc.ru, osipov@ib.komisc.ru, kuznetsov_ma@ib.komisc.ru

Аннотация. На территории Республики Коми в условиях северной тайги сосняки, занимающие порядка 1,8 млн га, представлены преимущественно сфагновыми, зеленомошными и лишайниковыми типами. Исследования проведены на Зеленоборском лесном стационаре Института биологии Коми НЦ УрО РАН в сосняках зеленомошных и сфагновых типов, развивающихся на месте пожаров и сплошных рубок. При господстве соснового элемента в древесном ярусе в его составе часто присутствуют ель, лиственница, береза и осина. Древостои сосняков формируют три типа возрастной структуры: условно-одновозрастные; условно-разновозрастные, представленные одним поколением; ступенчато-разновозрастные, состоящие из 2-3 поколений сосны. Оставленные при рубке деревья и уборка порубочных остатков на лесосеке паловым методом способствуют формированию древостоев ступенчато-разновозрастного типа возрастной структуры. Коэффициенты вариации возраста деревьев в сосняках с одним поколением составляют 5,8...10,8 %, с 2-3 поколениями – 39,7...45,6 %. Количество поколений и тип возрастной структуры не оказывали влияния на изменяющиеся соответственно в пределах 25,2...49,5 % и 15,7...27,8 % диаметр и высоту деревьев в древостоях. В сосняках, развивающихся после пожаров, пик заселения сосной приходится на второе-третье десятилетие, а на вырубках максимум возобновления отмечен в первом-втором десятилетии после рубки. Амплитуда колебания возраста деревьев в условно-одновозрастных и условно-разновозрастных сосняках, сформированных на вырубках, изменяется от 16 до 33, в послепожарных древостоях – от 30 до 45 лет. В ступенчато-разновозрастных древостоях возраст деревьев колеблется от 120 до 167 лет, в поколениях – от 22 до 66 лет. Кривые, отражающие распределение деревьев по диаметру в древостоях сосняков имели левостороннее смещение, асимметрия представлена положительными значениями и изменялась от 0,05 до 1,03. Статистический анализ показал, что при схожем возрасте с сосной деревья сопутствующих в составе пород уступают в развитии как по диаметру, так и по высоте сосновому элементу. Выявлена тесная корреляционная связь между диаметром и высотой деревьев в древостоях. Взаимосвязь возраста с диаметром и высотой почти на всех изученных объектах изменяется от слабой до значительной. Установлено тесное соотношение между возрастом и диаметром деревьев в ступенчато-разновозрастных сосняках ($R = 0,79...0,96$). Отмечено, что с увеличением амплитуды колебания возраста деревьев усиливается корреляционная связь диаметра и возраста.

Для цитирования: Кутивин И.Н., Манов А.В., Осипов А.Ф., Кузнецов М.А. Строение древостоев северотаежных сосняков // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 2. С. 86–105. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-86-105

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Пространственно-временная динамика структуры и продуктивности фитоценозов лесных и болотных экосистем на Европейском Северо-Востоке России», № ААА-А-А17-117122090014-8.

Ключевые слова: северная тайга, сосняки, строение, структура, вырубки, пожары.

Введение

Длительные наблюдения, проводившиеся на постоянных пробных площадях (ППП), позволяют оценить многолетнюю динамику развития лесных экосистем. Полученные данные о пространственно-временных изменениях строения древостоев лесных насаждений на ППП являются основой для разработки методов лесопользования в регионах страны [18], применяются для математического моделирования развития сосняков [2, 30, 31]. Структура лесных сообществ во многом определяет их устойчивость и продуктивность [5, 9, 24]. Отмечаемое учеными изменение климата приводит к учащению катастрофических явлений (пожары, ветровалы) в северных широтах и, как следствие, к трансформации структуры фитоценозов таежных лесов [22]. Поэтому многолетние непрерывные наземные наблюдения за динамикой лесных экосистем бореальной зоны представляют большой научный и практический интерес.

Сосновые леса на территории подзоны северной тайги Республики Коми занимают 1,8 млн га. Они представлены сфагновой (37 %), зеленомошной (34 %) и лишайниковой (21 %) группами типов леса. Остальные 8 % площади приходятся на долгомошные сообщества [3]. Изучению строения и структуры насаждений сосняков в условиях севера таежной зоны посвящено значительное количество работ [4–7, 10, 11, 13, 15, 19, 21, 24, 25, 29 и др.].

Цель данного исследования – выявление строения древостоев современных северотаежных сосняков, развивающихся на месте вырубок, гарей и находящихся под воздействием геологоразведки и нефтедобычи.

Объекты и методы исследования

Исследование строения древостоев сосновых насаждений выполнено в подзоне северной тайги, на территории Зеленоборского лесного стационара Института биологии Коми НЦ УрО РАН, располагающегося в Каджеромском лесничестве, Зеленоборском участковом лесничестве (64°28'53"с. ш.; 55°19'23"в. д.). С 1966 г. на этом объекте ведутся комплексные биогеоценологические наблюдения. Нами проанализированы данные по строению древостоев сосняков за 2016 г.

Проведены повторные исследования на восьми ППП в сосняках зеленомошной (ППП 4, 6, 8, 11, 19) и сфагновой (ППП 15, 17, 21) групп типов леса. Из рассматриваемых сосняков три спелых 120–150-летних сосняка (ППП 6, 11, 17) нами отнесены к естественно развивающимся постпирогенным сообществам. Пять (ППП 4, 8, 15, 19, 21) развиваются на вырубках 30–40-х гг. XX в. (табл. 1).

Ликвидация порубочных остатков проведена путем их сбора и последующего сжигания. Возраст деревьев, растущих на месте бывших вырубок, составляет 69–78 лет, что позволяет говорить о совпадении времени активного развития сосен и строительства располагающейся рядом железной дороги Ухта–Воркута [17]. На данный момент объекты исследования находятся под активным влиянием геологоразведки и добычи углеводородного сырья.

Обследование сосняков показало, что при господстве сосны (*Pinus sylvestris* L.) в составе древесного яруса также присутствуют: ель (*Picea obovata* Ledeb.), береза (*Betula pubescens* Ehrh., *B. pendula* Roth.), лиственница (*Larix sibirica* Ledeb.), редко осина (*Populus tremula* L.). Древостои III–Va классов бонитета имеют относительную полноту 0,3–1,5. Суммарный запас стволовой древесины в зависимости от возраста древостоя и типа леса изменяется от 93 до 303 м³/га. Сухостой представлен преимущественно соснами и аккумулирует от 1 до 36 м³/га стволовой древесины. Возраст хвойных здесь составляет 60–224 года, лиственных – 70–150 лет. В некоторых случаях возраст березы и осины установить не удалось в связи с их порослевым происхождением и ранним появлением сердцевинной гнили в комлевой части ствола. Плотность древесного яруса по мере увеличения возраста изменяется от 3620 до 790 шт./га (табл. 1).

Таблица 1

Краткая лесоводственно-таксационная характеристика сосняков

Тип леса (номер ППП)	Состав древостоя, ед.	Густота, шт./га	Запас, м ³ /га	Относительная полнота	Класс бонитета
Зеленомошный (6)	5С3Лц2Ос+Е,Б	790	277,4	0,86	IV
Зеленомошный (11)	9С1Лц едЕ,Б	890	303,4	1,00	IV
Осоково-сфагновый (17)	10С+Б	1240	103,9	0,70	Va
Сфагновый (21)	9С1Е+Б	3336	121,4	1,20	V
Зеленомошный (4)	8С1Е1Б+Ос едЛц	3551	265,1	1,50	III
Чернично-зеленомошный (8)	10С едЛц, Е, Б	3620	224,7	1,10	IV
Сфагновый (15)	6С2Е2Б+Лц	2601	92,9	1,05	V
Чернично-зеленомошный (19)	8С2Ос+Б едЕ	3593	285,8	1,20	IV

Примечание. Здесь и далее, в табл. 2–5, С – сосна; Е – ель; Лц – лиственница; Б – береза; Ос – осина.

На заложенных ППП проведены сплошные перечеты деревьев. Площадь ППП составляла 0,1–0,25 га и зависела от числа стволов доминирующего вида: не менее 300 экз. – в молодняках, 250 экз. – в средневозрастных, 150...200 экз. – в спелых [16]. К древостою относили деревья, имеющие на высоте 1,3 м диаметр ≥ 6 см. Подрост (особи древесных растений с диаметром ствола на высоте 1,3 м < 6 см или возрастом более 10 лет) учитывали также на всей площади ППП. Для оценки возрастной структуры использовали керны, отобранные при помощи возрастного бурава на высоте от 0,2 до 1,3 м у 30–60 сосен из разных ступеней толщины и у 15–30 сопутствующих пород. У модельных деревьев измеряли диаметр и высоту. Все полученные образцы (керны) в лабораторных

условиях обрабатывали с использованием методов, предложенных и апробированных ранее [10, 23]. Возраст и ширину годичных колец подсчитывали при помощи изображений, полученных со сканера высокого разрешения, и программ CDendro 9.0.1 и CooRecorder 9.0.1. При недостаточной видимости годичных колец, например березы, использовали установку LINTAB с компьютерной программой TsapWin.

Таксационные показатели древостоев рассчитывали по нормативам [12]. Статистический анализ их структуры проводили по И.И. Гусеву [4]. Для сравнения различных статистических выборок при оценке коэффициента вариации (CV) учитывали следующие придержки: при $CV < 10\%$ – малая, $CV = 10 \dots 30$ – средняя и при $CV > 30\%$ – высокая. Для характеристики возрастной структуры использовали классификацию Г.Е. Комина, И.В. Семечкина [8], при этом сначала анализировали возрастной состав популяций в древостоях на ППП, далее определяли поколения и характеризовали их структуру, после этого оценивали возрастную структуру древостоя в целом. Для оценки коэффициентов регрессионных уравнений и их погрешностей между диаметром и высотой деревьев, а также зависимостей возраста деревьев от их диаметра и высоты стволов в древостоях сосняков использовали программы Curve Expert 1.4 и Excel 2007.

Результаты исследования и их обсуждение

Возрастная структура древостоев. Является одним из основных показателей, отражающих экономическую и экологическую устойчивость исследуемого региона в лесопользовании. Она необходима для фиксации истории развития древостоев, оценки их устойчивости и процессов лесообразования. Данный элемент структуры ценоза, находящийся под воздействием как экзогенных, так и эндогенных факторов, постоянно претерпевает пространственно-временные изменения [8, 19, 20, 26–28, 32]. Определение возраста в тот или иной период развития представляет большой интерес при проведении лесохозяйственных мероприятий, направленных на улучшение продукционных процессов.

Исследованные северотаежные сосняки сформированы 1-3 поколениями сосны. В сфагновых сообществах на ППП 17 и 21 нами выявлено от двух до трех обособленных поколений. В кустарничково-сфагновом сосняке (ППП 17) второе поколение древостоя образовалось после низового пожара, произошедшего в 30-х гг. XX в. Не исключено, что этот пожар возник как следствие влияния антропогенного фактора. Сосняк сфагновый (ППП 21) сформирован тремя поколениями: первое – из деревьев 160-летнего, второе – из единичных деревьев в возрасте 107 лет и третье – из деревьев 67-летнего возраста (табл. 2).

Причиной образовавшихся разрывов поколений в данном сосняке послужили два следующих фактора: вырубка части древостоя, при этом около 8% деревьев VI–VIII классов возраста было оставлено, по-видимому, в качестве семенных (рис. 1, в, з); паловый пожар, возникший в результате уборки порубочных остатков и уничтоживший подрост сосны предварительного возобновления. Эти два фактора способствовали массовому возобновлению сосны, а в настоящее время они формируют поколения III и IV классов возраста.

Таблица 2

Параметры возрастной структуры древостоев сосняков

Порода	Поколение	Количество деревьев, %	Средний возраст, лет	Основное отклонение от среднего возраста	CV , %	A	E	Амплитуда колебаний возраста в поколении, лет
<i>Зеленомошный (ППП 6) У.Р.</i>								
С	I	100	127	2	8,5	-0,60	-0,10	102–146
Лц	I–III	100	155	18	30,6	0,80	-1,30	112–224
	I	38	220	–	–	–	–	215–224
	II	25	150	–	–	–	–	142–157
	III	37	115	–	–	–	–	112–117
Е	I	100	97	5	16,8	0,90	-0,80	72–124
Б	I–II	100	115	–	–	–	–	69–152
<i>Зеленомошный (ППП 11) У.Р.</i>								
С	I	100	120	2	7,2	-0,40	-0,90	104–133
Лц	I	100	142	–	–	–	–	136–148
<i>Осоково-сфагновый (ППП 17) С.Р.</i>								
С	I–II	100	151	12	45,6	-0,07	-1,98	72–238
	I	53	213	4	7,8	-0,93	1,11	172–238
	II	47	80	3	14,1	2,23	3,95	72–110
<i>Сфагновый (ППП 21) С.Р.</i>								
С	I–III	100	78	4	39,7	2,35	4,09	51–171
	I	12	160	6	9,1	-1,76	3,07	132–171
	II	2	107	–	–	–	–	107
	III	86	67	1	6,0	-1,42	3,98	51–72
Е		100	148	14	23,3	0,37	0,63	78–175
<i>Зеленомошный (ППП 4) У.Р.</i>								
С	I	100	60	1	10,8	-0,07	-0,07	43–74
Е	I	100	67	1	9,4	0,71	-0,58	55–78
Б	I	100	72	3	11,7	-0,95	-0,64	57–79
Ос	I	100	69	–	–	–	–	69–73
Лц	I	100	69	–	–	–	–	69–75
<i>Чернично-зеленомошный (ППП 8) У.Р.</i>								
С	I	100	71	7	9,3	-1,60	2,80	46–78
Б	I	100	76	–	–	–	–	51–77
<i>Сфагновый (ППП 15) У.О.</i>								
С	I	100	69	1	5,8	-0,64	0,17	59–75
Е	I	100	71	1	7,9	-2,25	8,04	49–79
Б	I	100	71	1	–	–	–	57–84
Лц	I	100	69	1	–	–	–	64–72
<i>Чернично-зеленомошный (ППП 19) У.Р.</i>								
С	I	100	62	1	6,6	-1,60	2,99	48–69
Б	I	100	67	–	–	–	–	60–74

Примечание. Здесь и далее, в табл. 3–5, CV – коэффициент вариации; A – асимметрия; E – эксцесс; У.Р. – условно разновозрастные; С.Р. – ступенчато-разновозрастные; У.О. – условно-одновозрастные.

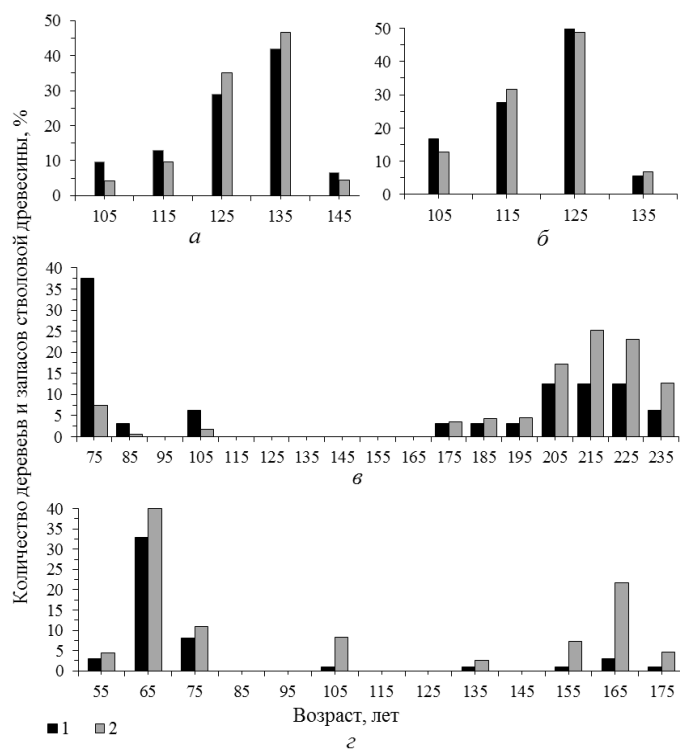


Рис. 1. Распределение деревьев (1) и запасов стволовой древесины (2) по возрасту: *a, б* – условно-разновозрастные сосняки зеленомошные послепожарного происхождения (ППП 6, 11); *в, г* – ступенчато-разновозрастные сосняки сфагновые (ППП 17, 21)

Fig. 1. Distribution of trees (1) and stem wood stocks (2) by age: *a, б* – conditionally uneven-aged green-moss pine stands of post-fire origin (sample plot (SP) 6, 11); *в, г* – stepped uneven-aged sphagnum pine stands (SP 17, 21)

Оба сосняка имеют схожий характер распределения деревьев по возрасту и относятся к ступенчато-разновозрастному типу структуры с разрывом между поколениями от 35 до 65 лет. В ходе проведенных нами [10] исследований на границе Приполярье и Северного Урала (Республика Коми) в естественно развивающихся сфагновых сосняках был выявлен аналогичный тип возрастной структуры древостоев. Отмечено, что при отсутствии пирогенного фактора сфагновые сосняки способны формировать три и более обособленных поколения деревьев. Причинами развития такой структуры возраста, кроме описанного выше длительного отсутствия возобновления, являются: особенности рельефа местности (заболоченность) и суровые климатические условия.

Для ступенчато-разновозрастных сосняков характерно большое варьирование возраста деревьев ($CV = 40\text{--}46\%$). В пределах отдельных поколений этот показатель представлен малыми (6...9 %) и средними (14 %) значениями. Амплитуда колебаний возраста деревьев в древостоях изменяется от 120 до 166 лет, в поколениях от 20 до 66 лет. Асимметрия в осоково-сфагновом сосняке (ППП 17) находится около нулевого значения ($-0,07$). Показатель меры крутости, эксцесса

($E = -1,98$), указывает на равное преобладание деревьев в двух поколениях. При $E \geq -2$ кривая распадается на две отдельные кривые [4]. В сосняке сфагновом (ППП 21) преобладает средневозрастное 67-летнее поколение, что подтверждается высокими значениями асимметрии (2,35) и эксцесса (4,09). Проведенный анализ подтвердил, что эти статистические показатели во всех случаях достоверны на определенном вероятностном уровне, т. е. их основные ошибки (S_A, S_E) больше рассчитанных величин ($A < S_A$ и $E < S_E$).

Распределение запасов стволовой древесины в ступенчато-разновозрастных сосняках по поколениям носит неравномерный характер. Так, на ППП 21 основной запас стволовой древесины (56 %) концентрируется в первом 67-летнем поколении деревьев. В кустарничково-сфагновом сосняке (ППП 17) при почти равном распределении числа деревьев по двум поколениям до 90 % запаса древесины формирует первое поколение сосны. Таким образом, ступенчато-разновозрастный тип структуры древостоев образуется под воздействием антропогенного и пирогенного факторов в совокупности.

Сосняки зеленомошные, развивающиеся на месте старого пожара на ППП 6, 11, представлены одним разновозрастным поколением деревьев. Обследование возраста деревьев показало (табл. 2), что послепожарное возобновление сосны растягивается на 2-3 класса возраста с колебанием от 29 до 44 лет.

Коэффициенты варьирования возраста представлены малой изменчивостью (7...9 %). Асимметрия характеризуется отрицательными значениями (от -0,4 до -0,6), указывая, что в разновозрастном древостое преобладают деревья старших поколений. Согласно рис. 1, а, б, послепожарный пик заселения сосны приходится на второе и третье десятилетия (71...78 % от их общего числа). Мера крутости представлена плосковершинными кривыми с отрицательными значениями ($E = -0,9...-0,1$). Распределение запасов стволовой древесины по возрасту схоже с кривыми распределения числа деревьев. Следовательно, древостои сосняков, развивающихся на месте пожаров, относятся к условно-разновозрастному типу возрастной структуры и состоят из деревьев одного разновозрастного поколения.

Сосновые древостои, формирующиеся на вырубках, представлены одним поколением деревьев. Проведенный нами анализ древесных кернов показал хороший начальный прирост по радиусу у большинства деревьев сосны, что свидетельствует о ее последующем возобновлении после рубки. Обычно подрост, развивающийся под пологом древостоев, имеет довольно мелкий прирост по радиусу, что связано с его угнетением со стороны материнского древостоя [10]. Фитоценоз сосняка сфагнового (ППП 15) представлен деревьями одного класса возраста с колебанием возраста в 16 лет. Согласно классификации Г.Е. Комина, И.В. Семечкина [8], такие древостои сосняков можно отнести к условно-одновозрастным.

В сосняках зеленомошных (ППП 4, 8, 19) возобновительный процесс растягивается от 22 до 33 лет, выходя за пределы класса возраста. Древостои этих сосняков можно отнести к условно-разновозрастному типу возрастной структуры. В одновозрастном сосняке (ППП 15) коэффициент варьирования возраста составляет 5,8 %. В условно-разновозрастных сосняках с увеличением амплитуды колебания возраста вариация достигает 10,8 %.

Средний возраст в фитоценозах сосняков, развивающихся на вырубках, составляет 60–70 лет, а возраст самых старших деревьев – 69–78 лет. Таким образом, средние значения возраста смещены к максимальному (рис. 2). Асимметрия рядов распределения деревьев по возрасту представлена отрицательными значениями, изменяясь от малой (–0,1) до большой (–1,6). Мера крутости характеризуется высоковершинными положительными значениями (0,2...3,0), тем самым возрастные значения группируются около среднего значения (табл. 2).

Распределение деревьев по возрасту показывает, что пик заселения сосны на вырубках приходится на первое и второе десятилетия после рубки (рис. 2).

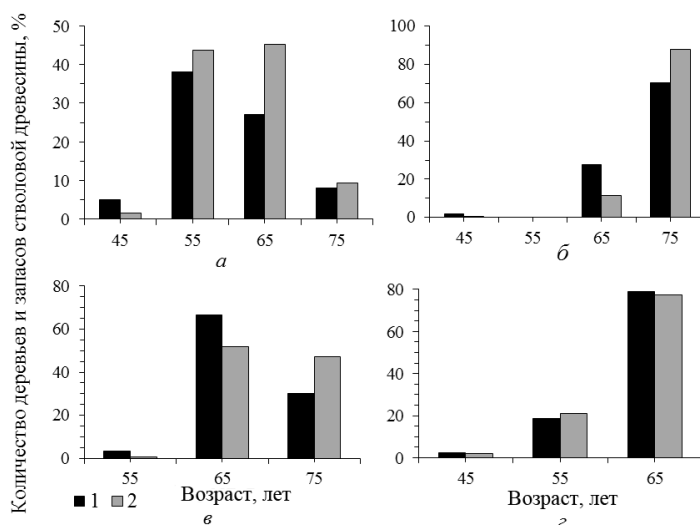


Рис. 2. Распределение деревьев (1) и запасов ствольной древесины (2) по возрасту в древостоях сосняков, развивающихся на вырубках: а–в – условно-разновозрастные (ППП 4, 8, 19); г – условно-одновозрастный (ППП 15)

Fig. 2. Distribution of trees (1) and stem wood stocks (2) by age in pine stands developing after clearcuts: а–в – conditionally uneven-aged (SP 4, 8, 19); г – conditionally even-aged (SP 15)

Лесообразовательные процессы на вырубках могут проходить в течение длительного периода. Отмечено, что одновременное и равномерное возобновление в сосняках встречается нечасто [21]. По данным С.С. Зябченко [7], в условно-разновозрастных насаждениях сосняков, формирующихся на вырубках и гарях, возобновление длится 60–80 лет. Этап заселения сосны после сплошной рубки сосняков долгомошного и сфагнового типов Архангельской области длится 25–35 лет [1]. В постпирогенных сосновых древостоях Северного Приуралья с аналогичным возрастным строением послепожарные этапы возобновления занимают от 27 до 80 лет [10].

Лиственница, входящая в состав древостоев сосняков, образует от одного до трех поколений и представлена, как и сосна, одновозрастным или ступенчато-разновозрастным типом возрастной структуры (табл. 2). Во втором из названных типов при выделении поколений лиственницы возобновление проходит короткими периодами в пределах одного класса возраста – от 2 до 15 лет. На вырубках средний возраст лиственницы соответствует возрасту сосны, однако периоды возобновления намного короче и составляют 7–9 лет.

Ель и береза на вырубках формируют преимущественно одно поколение деревьев. Максимальный возраст ели выше или равен возрасту сосны. Амплитуда колебания возраста ели в условно-разновозрастных сосняках составляет 20–50 лет, в ступенчато-разновозрастном сосняке (ППП 21) – 97 лет. Показатели асимметрии и эксцесса возраста ели имеют как положительные, так и отрицательные значения.

На вырубках с применением паловой уборки порубочных остатков (ППП 4, 8, 15, 19) береза возобновляется за 14–28 лет. Средний возраст данного элемента на 4–12 лет больше, чем у сосны. В условиях Кольского полуострова средние показатели возраста березы ниже, чем сосны на 2–5 лет [21]. Автором отмечено, что с продвижением на север позиции сосны относительно березы становятся более устойчивыми. Такие же выводы получены и другими учеными [14, 15] на основе исследований, проведенных в молодняках.

Строение древостоев по диаметру (толщине) деревьев. Данный показатель представляет большой интерес для оценки товарной и сортиментной структуры древесины, что позволяет определять, какие лесохозяйственные мероприятия необходимы в определенный период развития древостоев [18].

Строение древостоев по толщине деревьев тесно связано с возрастной структурой [1, 6, 19, 21]. Данные о диаметре деревьев на высоте 1,3 м показывают, что амплитуда колебания этого показателя в ступенчато- (ППП 17, 21) и условно-разновозрастных (ППП 6, 11) древостоях сосняков изменяется от 17 до 34 см, в условно-разновозрастных и условно-одновозрастном сосновых древостоях, развивающихся на вырубках, – от 10 до 22 см. Во всех исследованных нами фитоценозах сосняков минимальные значения диаметров начинаются преимущественно с 6-сантиметровой ступени. Максимальные диаметры в зеленомошных и сфагновых типах сосняков естественного развития составляют 42 и 29 см соответственно. Независимо от типа возрастной структуры древостоев, коэффициенты варьирования толщины деревьев характеризуются средней и большой изменчивостью (27,1...39,8 %). Большая вариация толщины деревьев в сосняках, развивающихся на вырубках, свидетельствует о растянутости диаметров в процессе их формирования. Для условно-разновозрастных и ступенчато-разновозрастных сосняков постпирогенного развития характерен высокий показатель варьирования по толщине. Так, в условиях Северного Приуралья в условно-разновозрастных древостоях послепожарного происхождения коэффициенты варьирования диаметров достигают 45 %, в ступенчато-разновозрастных древостоях – 53 % [10]. Согласно данным Б.А. Семенова с соавт. [19], в разновозрастных сосняках Крайнего Севера коэффициент изменчивости диаметра составляет 104 %. Авторами отмечено, что наличие старовозрастных и крупных по толщине деревьев резко увеличивает процент вариации и колебание диаметров в древостоях.

В постпирогенных условно-разновозрастных сосняках зеленомошных (ППП 6 и 11) распределение деревьев по толщине близко к нормальному (рис. 3, а), асимметрия близка к нулю (0,05–0,20). Во всех остальных исследуемых ценозах асимметрия распределения деревьев по диаметру представлена положительными показателями (0,5...2,0), левая ветвь кривой больше правой, что указывает на преобладание деревьев мелких категорий крупности (рис. 3, б, в). Положительные значения асимметрии распределения деревьев по диаметру в сосняках различных типов формирования на вырубках отмечались ранее [14, 21].

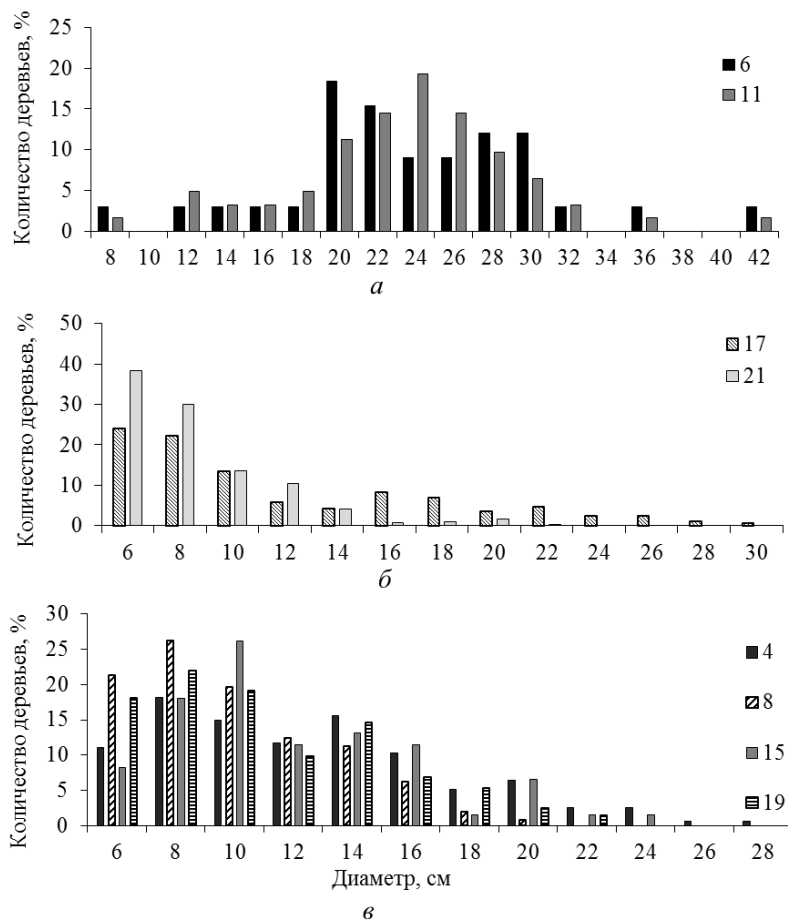


Рис. 3. Распределение числа деревьев сосны по ступеням толщины в условно-разновозрастных сосняках зеленомошных постпирогенного происхождения (а), ступенчато-разновозрастных древостоях (б), условно-разновозрастных и условно-одновозрастных сосняках, развивающихся на вырубках (в) (в легенде приведены номера ППП)

Fig. 3. Diameter distribution of pine trees in conditionally uneven-aged green-moss pine stands of post-pyrogenic origin (a), stepped uneven-aged pine stands (б), conditionally uneven-aged and conditionally even-aged pine stands developing after clearcuts (в) (SP numbers are given in the legend)

Средний диаметр древостоев исследуемых ценозов, развивающихся на вырубках, в возрасте 60–70 лет изменяется от 10 до 13 см, уступая по толщине в 2,0–2,5 раза самым толстым деревьям в насаждениях. В ступенчато-разновозрастных сосняках сфагновых типов (ППП 17, 21) характер распределения деревьев по толщине схож с характером распределения деревьев в сосняках, формирующихся на вырубках: преобладают деревья мелких категорий крупности (от 6 до 12 см). Асимметрия представлена левосторонними кривыми (1,03–1,85). В первых поколениях превалируют крупные по толщине деревья сосны, асимметрия отрицательная, тогда как в младших более многочисленны мелкие по толщине деревья, асимметрия положительная (табл. 3).

Таблица 3

Строение древостоев по диаметру в сосняках

Порода	Поколение	Средний возраст, лет	Средний диаметр, см	Основное отклонение от среднего диаметра	CV, %	A	E	Амплитуда колебаний диаметра в поколении, см
<i>Зеленомошный (ППП 6) У.Р.</i>								
С	I	127	22,3	1,20	30,8	0,21	0,69	7,1–40,7
Лц	I–III	155	26,1	5,30	57,6	–0,01	–2,70	10,5–42,4
Ос	I	124	34,2	1,50	9,7	0,39	–1,63	30,8–38,7
Е	I	97	11,9	1,70	44,4	0,07	–1,87	6,1–19,6
Б	I–II	115	10,7	0,80	28,9	0,37	0,10	6,1–16,6
<i>Зеленомошный (ППП 11) У.Р.</i>								
С	I	120	23,4	0,75	25,2	0,05	1,44	8,0–42,0
Лц	I	142	23,9	4,43	45,4	–0,23	–1,24	8,3–36,6
Е	I	–	11,9	1,30	27,9	0,54	–0,93	8,3–16,9
Б	I	–	9,7	0,90	33,0	1,40	1,50	6,7–17,5
<i>Осоково-сфагновый (ППП 17) С.Р.</i>								
С	I–II	157	12,1	0,50	49,5	1,03	0,01	6,1–29,1
	I	213	21,3	0,70	13,3	–0,66	1,44	14,2–29,1
	II	80	9,0	0,42	18,2	0,70	–0,90	6,0–11,9
Б	I	–	7,9	0,40	20,0	0,67	–0,42	6,1–11,1
<i>Сфагновый (ППП 21) С.Р.</i>								
С	I–III	78	8,7	0,14	34,0	1,85	4,85	6,1–22,9
	I	160	18,1	1,37	18,5	–0,87	1,42	12,4–22,9
	II	107	12,8	–	–	–	–	12,8
	III	67	8,9	0,35	25,8	0,67	–0,16	6,1–15,0
Е	I	148	10,5	0,69	31,9	0,42	–0,74	5,9–17,2
Б	I	133	9,1	0,83	41,7	1,73	2,50	5,9–19,1
<i>Зеленомошный (ППП 4) У.Р.</i>								
С	I	60	13,3	0,60	39,8	0,49	–0,54	6,1–28,2
Е	I	67	7,8	0,20	24,3	2,13	7,36	6,1–17,5
Б	I	72	8,2	0,40	23,5	0,60	–0,86	6,1–12,1
Ос	I	69	11,0	–	–	–	–	7,3–13,7
Лц	I	69	9,3	–	–	–	–	8,5–11,7
<i>Чернично-зеленомошный (ППП 8) У.Р.</i>								
С	I–II	71	10,0	3,20	31,7	0,80	–0,10	6,1–19,4
	I	72	10,0	3,20	31,6	0,46	–0,33	6,1–16,2
	II	46	6,1	–	–	–	–	6,1
Б	I	76	14,0	–	–	–	–	6,0–14,0

Окончание табл. 3

Порода	Поколение	Средний возраст, лет	Средний диаметр, см	Основное отклонение от среднего диаметра	CV , %	A	E	Амплитуда колебаний диаметра в поколении, см
<i>Сфагновый (ППП 15) У.О.</i>								
С	I	69	12,2	0,50	34,4	0,58	0,09	6,3–24,5
Е	I	71	7,5	0,30	22,7	0,72	0,16	6,1–12,0
Б	I	71	7,8	0,20	19,8	0,79	–0,07	6,1–12,4
Лц	I	69	9,1	1,00	40,8	1,07	0,32	6,3–16,0
<i>Чернично-зеленомошный (ППП 19) У.Р.</i>								
С	I	62	11,1	0,28	35,5	0,79	–0,09	6,1–22,9
Б	I	67	8,5	0,40	25,8	1,82	5,36	6,1–16,2
Ос	I	Не опр.	9,7	0,60	45,4	4,23	23,90	6,1–36,6

Мера крутости в большинстве исследованных сосняков представлена положительными значениями ($E > 0$), что свидетельствует о высоковершинности кривых распределения деревьев по толщине и группировании их около среднего значения. Выраженная отрицательная мера крутости ($-0,54$) – в сосняке зеленомошном (ППП 4), кривая плосковершинная. В древостое отмечено относительно равномерное распределение деревьев по ступеням толщины от 6 до 16 см, где количество их в каждой ступени составляет 10...18 %. В остальных типах сосняков, развивающихся на вырубках, наибольшая доля деревьев приходится на шестую–десятую ступень толщины (25...40 %).

В сосняках зеленомошных (ППП 6 и 11) лиственница старше сосны на один класс возраста, но превосходит ее или близка к ней по среднему показателю диаметра. У лиственницы с увеличением числа поколений и амплитуды колебания диаметров с 10 до 32 см возрастает варьирование толщины деревьев с 40,8 до 57,6 %. Остальные сопутствующие древесные породы при близком сосновом возрасте характеризуются меньшими показателями среднего диаметра.

Ель и береза в фитоценозах, сформированных на вырубках, имеют средние значения варьирования диаметров – от 20 до 26 %. В сосняке сфагновом (ППП 21) вариация диаметра березы и ели представлена показателями более 30 %. Его минимальные значения схожи со значениями сосны, однако максимальные ниже в 1,3–2,0 раза. Кривые, отражающие значения асимметрии и эксцесса, имеют близкие характеристики формы с кривыми, показывающими эти же значения для сосны. Таким образом, в условиях северной тайги при почти одинаковом возрасте сосна обладает более быстрыми темпами накопления древесины по диаметру, чем сопутствующие ей древесные породы.

Строение по высоте. Высотная структура древостоев является одним из основных показателей продуктивности, состояния лесных фитоценозов и зависит от природно-климатических условий того или иного региона [21].

Во всех исследованных сосняках вариация высоты деревьев представлена средними показателями – 13...27 % – независимо от возрастной структуры древостоев и лесорастительных условий (табл. 4).

Таблица 4

Строение древостоев по высоте в сосняках

Порода	Поколение	Количество деревьев, %	Средний возраст, лет	Средняя высота, м	Основное отклонение от средней высоты	<i>CV</i> , %	<i>A</i>	<i>E</i>	Амплитуда колебаний высоты в поколении, м
<i>Зеленомошный (ППП 6) У.Р.</i>									
С	I	100	127	18,1	0,6	17,8	-0,80	-0,22	9,9–22,3
Лц	I–III	100	155	19,3	1,6	22,7	-0,19	-2,10	13,8–24,2
Ос	I	100	124	22,1	0,4	4,0	-0,24	-3,00	21,2–23,0
Е	I	100	97	9,4	1,5	50,4	0,01	-2,10	3,5–16,0
Б	I–II	100	115	11,2	0,8	25,8	-1,00	0,60	4,6–14,5
<i>Зеленомошный (ППП 11) У.Р.</i>									
С	I	100	120	19,3	0,6	13,4	-2,09	6,52	11,0–23,0
Лц	I	100	142	–	–	–	–	–	17,3–18,1
<i>Сфагновый (ППП 17) С.Р.</i>									
С	I–II	100	157	11,3	0,7	27,1	0,29	-1,47	7,0–16,0
	I	53	213	14,0	0,5	12,1	-0,29	-1,71	11,5–16,0
	II	47	80	8,6	0,3	10,1	-0,47	-0,14	7,0–11,0
Б		100	–	7,0	–	–	–	–	6,1–8,6
<i>Сфагновый (ППП 21) С.Р.</i>									
С	I–III	100	78	9,0	0,2	19,3	0,62	0,18	5,5–13,3
	I	12	160	11,3	0,8	16,7	-0,60	0,27	8,25–13,3
	II	2	107	12,8	–	–	–	–	12,8
	III	86	67	8,6	0,2	15,7	0,13	-0,46	5,5–11,3
Е	I	100	148	7,4	0,5	31,9	0,40	-0,70	4,0–12,0
Б	I	100	133	6,8	0,4	28,0	1,35	1,21	5,0–11,5
<i>Зеленомошный (ППП 4) У.Р.</i>									
С	I	100	60	13,7	0,3	21,6	-0,45	-0,90	7,6–18,3
Е	I	100	67	8,9	0,5	26,6	0,71	-0,58	5,7–13,8
Б	I	100	72	13,0	0,8	17,7	0,03	-0,80	9,4–16,3
Ос	I	100	69	14,8	–	–	–	–	10,4–17,5
Лц	I	100	69	10,4	–	–	–	–	9,6–12,5
<i>Чернично-зеленомошный (ППП 8) У.Р.</i>									
С	I–II	100	71	13,5	2,1	15,7	-0,10	-0,40	9,0–18,3
	I	98	72	13,6	2,1	15,4	-0,10	-0,30	9,0–18,3
	II	2	46	10,5	–	–	–	–	10,5
<i>Сфагновый (ППП 15) У.О.</i>									
С	I	100	69	8,9	0,5	27,8	0,82	-0,19	5,1–14,6
Е	I	100	71	6,0	0,2	20,7	0,15	-1,24	4,2–8,2
Б	I	100	71	8,1	–	–	–	–	6,6–10,9
Лц	I	100	69	6,1	–	–	–	–	4,0–10,5
<i>Чернично-зеленомошный (ППП 19) У.Р.</i>									
С	I	100	62	13,7	0,3	15,8	-0,20	-1,00	9,7–17,6

В условно-разновозрастных послепожарных сосняках зеленомошного типа (ППП 6, 11) максимальные высоты составляют 23 м, минимальные – 11 м (амплитуда колебания высот – 12 м). Во всех остальных исследованных древостоях амплитуда колебания высот варьирует от 8 до 11 м, свидетельствуя о неравномерном развитии сосны по высоте. В ступенчато-разновозрастных сосняках сфагновых (ППП 17, 21) высота деревьев составляет 8...9 м, в одновозрастных и условно-разновозрастных древостоях, развивающихся на вырубках (ППП 4, 8, 15, 19), этот показатель несколько выше (8...11 м). По данным Б.А. Семенова с соавт. [19], в сосняках Крайнего Севера бóльшим диапазоном высот характеризуются сосняки в возрасте от 40 до 80 лет.

Распределение деревьев по ступеням высоты в исследуемых сосновых древостоях представлено асимметричными кривыми. Мера косости в сосняках сфагновых имеет положительные значения (0,3...0,8), а в зеленомошных – отрицательные (–2,1...–0,1), что указывает на преобладание деревьев со значением высоты, превосходящим среднее. Экссесс представлен как высоковершинными, так и низковершинными кривыми распределения высот.

Средние показатели высоты у ели в сосняках изменяются от 6 до 9 м, что на 2...9 м ниже, чем у сосны. При близком возрасте ели и сосны в сосняках, развивающихся на вырубках, первая значительно уступает второй как по средним, так и по максимальным высотам. Амплитуда колебания высоты ели изменяется от 4,0 до 12,5 м. Варьирование ее высоты составляет от 21 до 50 %. Положительная асимметрия и отрицательный эксцесс указывают на сильно растянутые кривые, отражающие эти значения, и преобладание мелких по высоте деревьев ели. Береза по высотной структуре имеет показатели близкие к этим.

Результаты анализа строения древостоев по высоте указывают на низкие темпы роста в высоту древесных пород, сопутствующих сосне, во всех исследуемых типах сосняков.

Для оценки тесноты связи между диаметром и высотой деревьев в сосняках использовались экспоненциальная и логарифмическая кривые, а также функция Вейбула (табл. 5). Взаимосвязи между диаметром и высотой сосны характеризуются высокими показателями как коэффициентов корреляции ($R = 0,78–0,93$), так и корреляционного отношения ($R = 0,80–0,95$). В старовозрастных сосняках Карелии, по данным С.С. Зябченко [7], корреляционное отношение между диаметром и высотой составляет 0,91. Связи между этими показателями (независимо от типа возрастной структуры) выявлены для среднетаежных сосняков Северного Приуралья [10].

По мере увеличения разновозрастности древостоев связь между размерными показателями деревьев и их возрастом становится более явной [6, 10, 27]. Линейные корреляционные связи между диаметром и возрастом, высотой и возрастом почти во всех типах сосняков изменяются от слабой до значительной ($R = 0,15...0,66$).

Таблица 5

Связь между диаметром на высоте 1,3 м и высотой стволов сосны (при $p \leq 0,05$)

Уравнение	Коэффициенты				R	SE
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>		
<i>Зеленомошный (ППП 6) У.Р.</i>						
$H = a + b \ln D$	-6,952	8,2660	-	-	0,83	1,89
$H = a + b \ln D$	8,479	0,4497	-	-	0,82	1,97
<i>Зеленомошный (ППП 11) У.Р.</i>						
$H = a - be^{-cD^d}$	22,632	83,9390	0,3596	0,7059	0,90	1,24
$H = a + bD$	9,833	0,3936	-	-	0,80	1,60
<i>Сфагновый (ППП 17) С.Р.</i>						
$H = a - be^{-cD^d}$	14,789	9,2991	0,004	2,104	0,95	1,02
$H = a + bD$	5,067	0,4103	-	-	0,93	1,13
<i>Сфагновый (ППП 21) С.Р.</i>						
$D = a - be^{-cD^d}$	17,100	21,7580	0,31	0,5111	0,83	1,01
$H = a + bD$	5,476	0,3419	-	-	0,81	1,02
<i>Зеленомошный (ППП 4) У.Р.</i>						
$H = a(1 - \exp^{-bD})$	1,893	0,1071	-	-	0,90	1,44
$H = a + bD$	7,472	0,4670	-	-	0,83	1,64
<i>Чернично-зеленомошный (ППП 8) У.Р.</i>						
$H = a + b \ln D$	1,480	5,0570	-	-	0,79	1,31
$H = a + bD$	8,398	0,4493	-	-	0,78	1,34
<i>Сфагновый (ППП 15) У.О.</i>						
$H = a - be^{-cD^d}$	14,229	8,9040	0,0009	2,592	0,89	1,19
$H = a + bD$	2,785	0,5280	-	-	0,89	1,18
<i>Чернично-зеленомошный (ППП 19) У.Р.</i>						
$H = a(1 - \exp^{-bD})$	18,652	0,1320	-	-	0,85	1,16
$H = a + bD$	7,231	0,6134	-	-	0,83	1,22

Примечание: R – коэффициент корреляции; SE – стандартная ошибка.

Высокая степень взаимосвязи между диаметром и возрастом отмечается в ступенчато-разновозрастных сосняках сфагновых (ППП 17, 21), где *R* изменяется в пределах 0,79...0,96 (рис. 4).

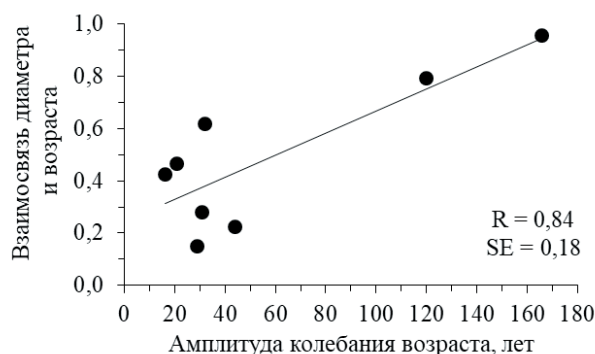
Проведенный статистический анализ показал, что с увеличением амплитуды колебаний возраста деревьев сосны усиливается корреляционная связь диаметра и возраста ($R = 0,84$).

Заключение

Северотаежные сосняки на территории Республики Коми формируют древостой трех типов возрастной структуры: условно-одновозрастные, условно-разновозрастные и ступенчато-разновозрастные. Последние в древостоях развивают

Рис. 4. Связь между амплитудой колебания возраста и корреляционной зависимостью диаметра и возраста в древостоях сосняков

Fig. 4. Relationship between the amplitude of age fluctuations and correlation values of diameter and age in pine stands



от двух до трех отдельных поколений деревьев сосны. Заселение сосны на вырубках с применением палового метода уборки порубочных остатков происходит быстрее, чем в древостоях послепожарного происхождения. Независимо от типа возрастной структуры древостоев, деревья сосны характеризуются высокими показателями вариации диаметра (27,1...39,8 %) и средними показателями вариации высоты (13...27 %). В составе древостоев сосняков при доминировании сосны присутствуют ель, лиственница, береза, осина, которые аккумулируют от 1 до 40 % общего запаса стволовой древесины. Лиственница в древостоях представлена условно-разновозрастным или ступенчато-разновозрастным типом возрастной структуры и формирует до трех обособленных поколений деревьев. Однако колебания возраста лиственницы в поколениях представлены более короткими возрастными циклами, чем у сосны. Ель и береза формируют преимущественно 1 (редко 2) разновозрастное поколение. Проведенный анализ строения по диаметру и высоте древостоев показал, что в условиях северной тайги ростовые процессы у сосны проходят интенсивнее по сравнению с их скоростью у сопутствующих ей древесных пород. Однако, несмотря на относительно быстрые темпы развития древостоев сосны, выявлены достаточно высокие статистические различия в их строении. Для повышения продукционной способности насаждений необходимо проведение рубок ухода (прореживания) в древостоях условно-однообразных, условно-разновозрастных типов возрастной структуры и ступенчато-разновозрастных типов с преобладанием молодого поколения. Результаты анализа строения древостоев на постоянных пробных площадях станут основой для мониторинга динамики развития северотаежных сосновых экосистем в условиях изменяющегося климата и роста антропогенной нагрузки в местах ведения геолого-разведки, добычи и транспортировки углеводородного сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бахтин А.А., Соколов Н.Н. Типы возрастной структуры заболоченных сосняков Архангельской области // Изв. вузов. Лесн. журн. 2015. № 4. С. 76–86. [Bakhtin A.A., Sokolov N.N. Types of Age Structure of Waterlogged Pine Forests in the Arkhangelsk Region. *Lesnoj Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2015, no. 4, pp. 76–86]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2015.4.76](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2015.4.76); http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/7da/bahtin_types_of_age_structure-.pdf
2. Березовская Ф.С., Кареев Г.П. Моделирование динамики древостоев // Сиб. лесн. журн. 2015. № 3. С. 7–19. [Berezovskaya F.S., Karev G.P. Modeling of Forest Dynamics. *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2015, no. 3, pp. 7–19] DOI: [10.15372/SJFS20150302](https://doi.org/10.15372/SJFS20150302)

3. Бобкова К.С., Манов А.В., Осипов В.М., Осипов А.Ф., Кузнецов М.А., Торлопова Н.В., Федорков А.Л., Комаров А.С., Шанин В.Н., Гончарова Н.Н., Загирова С.В., Михайлов О.А., Мигловец М.Н. Углерод в лесных и болотных экосистемах особо охраняемых природных территорий Республики Коми. Сыктывкар, 2014. 201 с. [Bobkova K.S., Manov A.V., Osipov V.M., Osipov A.F., Kuznetsov M.A., Torloпова N.V., Fedorkov A.L., Komarov A.S., Shanin V.N., Goncharova N.N., Zagirova S.V., Mikhaylov O.A., Miglovets M.N. *Carbon in Forest and Bog Ecosystems of Specially Protected Natural Areas of the Komi Republic*. Syktyvkar, 2014. 201 p.].
4. Гусев И.И. Моделирование экосистем. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. 112 с. [Gusev I.I. *Ecosystem Modeling*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2002. 112 p.].
5. Демаков Ю.П. Структура и закономерности развития лесов Республики Марий Эл. Йошкар-Ола: Поволж. ГТУ, 2018. 432 с. [Demakov Y.P. *The Structure and Patterns of Forest Development of the Mari El Republic*. Yoshkar-Ola, Volga Tech Publ., 2018. 432 p.].
6. Ермоленко П.М. Сосновые леса Восточного Саяна. Красноярск: ИЛИД, 1987. 148 с. [Ermolenko P.M. *Pine Forests of the Eastern Sayan*. Krasnoyarsk, ILiD Publ., 1987. 148 p.].
7. Зябченко С.С. Сосновые леса Европейского Севера. Л.: Наука, 1984. 244 с. [Zyabchenko S.S. *Pine Forests of the European North*. Leningrad, Nauka Publ., 1984. 244 p.].
8. Комин Г.Е., Семечкин И.В. Возрастная структура древостоев и принципы ее типизации // Лесоведение. 1970. № 2. С. 24–33. [Komin G.E., Semechkin I.V. Age Structure of Forest Stands and Principles of Its Typing. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1970, no. 2, pp. 24–33].
9. Кузьмичев В.В. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели. Новосибирск: Наука, 2013. 208 с. [Kuz'michev V.V. *Patterns of the Dynamics of Forest Stands: Principles and Models*. Novosibirsk, Nauka Publ., 2013. 208 p.].
10. Кутявин И.Н. Сосновые леса Северного Приуралья: строение, рост, продуктивность. Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2018. 176 с. [Kutyavin I.N. *Pine Forests of the Northern Cis-Urals: Structure, Growth, Productivity*. Syktyvkar, IB FRC Komi SC UB RAS Publ., 2018. 176 p.]. DOI: [10.31140/book-2018-02](https://doi.org/10.31140/book-2018-02)
11. Левин В.И. Сосняки Европейского Севера (строение, рост и таксация древостоев). М.: Лесн. пром-сть, 1966. 152 с. [Levin V.I. *Pine Forests of the European North (Structure, Growth, and Valuation of Stands)*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1966. 152 p.].
12. Лесотаксационный справочник для северо-востока европейской части Российской Федерации (нормативные материалы для Ненецкого автономного округа, Архангельской, Вологодской областей, Республики Коми) / отв. сост. Г.С. Войнов, Н.П. Чупров, С.В. Ярославцев. Архангельск: Правда Севера, 2012. 672 с. [Forest Valuation Handbook for the North-East Part of the Russian Federation (Official Materials for the Nenets Autonomous Okrug, Arkhangelsk and Vologda Regions and Komi Republic). Content by G.S. Voynov, N.P. Chuprov, S.V. Yaroslavtsev. Arkhangelsk, Pravda Severa Publ., 2012. 672 p.].
13. Листов А.А. Боры беломошники. М.: Агропромиздат, 1986. 181 с. [Listov A.A. *Lichen Pine Forests*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986. 181 p.].
14. Львов П.Н., Ипатов Л.Ф., Плохов А.А. Лесообразовательные процессы и их регулирование на Европейском Севере. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 112 с. [L'vov P.N., Ipatov L.F., Plokhov A.A. *Forest-Forming Processes and Their Regulation in the European North*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 112 p.].
15. Мелехов И.С. Рубки и возобновление леса на Севере. Архангельск: Арханг. кн. изд-во, 1960. 201 с. [Melekhov I.S. *Felling and Reforestation in the North*. Arkhangelsk, Arkhangel'skoye knizhnoye izdatel'stvo, 1960. 201 p.].
16. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / под ред. В.В. Загрева, В.И. Сухих, А.З. Швиденко, Н.Н. Гусева, А.Г. Мошкалева. М.: Колос, 1992. 495 с.

[*All-Union Standards for Forest Inventory*. Ed. by V.V. Zagreyev, V.I. Sukhikh, A.Z. Shvidenko, N.N. Gusev, A.G. Moshkalev. Moscow, Kolos Publ., 1992. 495 p.]

17. Республика Коми: энциклопедия. Т. 2. Сыктывкар: Коми книж. изд-во, 1999. 573 с. [*Komi Republic: Encyclopedia*. Vol. 2. Syktyvkar, Komi knizhnoye izdatel'stvo, 1999. 573 p.]

18. Рысин Л.П., Вакуров А.Д., Павлов В.Ф. Значение постоянных пробных площадей в лесоводственных исследованиях // Лесоведение. 1981. № 1. С. 60–66. [Rysin L.P., Vakurov A.D., Pavlov V.F. The Value of Permanent Trial Plots in Forestry Research. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1981, no. 1, pp. 60–66].

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. 334 с. [Semenov B.A., Tsvetkov V.F., Chibisov G.A., Elizarov F.P. *Trans-Tundra Forests of the European Part of Russia (Nature and Management)*. Arkhangelsk, Press A Publ., 1998. 334 p.]

20. Стороженко В.Г. Устойчивые лесные сообщества. Теория и эксперимент. Тула: Гриф и К°, 2007. 192 с. [Storozhenko V.G. *Stable Forests Communities. The Theory and Experiment*. Tula, Grif i K Publ., 2007. 192 p.]

21. Цветков В.Ф. Сосняки Кольской лесорастительной области и ведение хозяйства в них. Архангельск: АГТУ, 2002. 380 с. [Tsvetkov V.F. *Pine Forests of the Kola Forest Region and Management in Them*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2002. 380 p.]

22. Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Краснер Ф., Онучин А.А. Переход к устойчивому управлению лесами России // Сиб. лесн. журн. 2017. № 6. С. 3–25. [Shvidenko A.Z., Schepaschenko D.G., Krahner F., Onuchin A.A. Transition to Sustainable Forest Management in Russia: Theoretical and Methodological Backgrounds. *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2017, no. 6, pp. 3–25]. DOI: [10.15372/SJFS20170601](https://doi.org/10.15372/SJFS20170601)

23. Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазена В.С., Наурызбаев М.М., Хантемиров Р.М. Методы дендрохронологии. Ч. I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации. Красноярск: Изд-во КрасГУ, 2000. 80 с. [Shiyatov S.G., Vaganov E.A., Kirdeyanov A.V., Kruglov V.B., Mazepa V.S., Naurzabayev M.M., Khantemirov R.M. *Methods of Dendrochronology*. Part I. Fundamentals of Dendrochronology. Collection and Obtaining of Tree-Ring Information. Krasnoyarsk, KraSU Publ., 2000. 80 p.]

24. Del Río M., Pretzsch H., Alberdi I., Bielak B., Bravo F., Brunner A. et al. Characterization of the Structure, Dynamics, and Productivity of Mixed-Species Stands: Review and Perspectives. *European Journal of Forest Research*, 2016, vol. 135, iss. 1, pp. 23–49. DOI: [10.1007/s10342-015-0927-6](https://doi.org/10.1007/s10342-015-0927-6)

25. Engelmark O., Kullman L., Bergeron Y. Fire and Age Structure of Scots Pine and Norway Spruce in Northern Sweden during the Past 700 Years. *New Phytologist*, 1994, vol. 126, iss. 1, pp. 163–168. DOI: [10.1111/j.1469-8137.1994.tb07542.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1994.tb07542.x)

26. Garet J., Raulier F., Pothier D., Cumming S.G. Forest Age Class Structures as Indicators of Sustainability in Boreal Forest: Are We Measuring Them Correctly? *Ecological Indicators*, 2012, vol. 23, pp. 202–210. DOI: [10.1016/j.ecolind.2012.03.032](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.03.032)

27. Kuuluvainen T., Mäki J., Karjalainen L., Lehtonen H. Tree Age Distributions in Old-Growth Forest Sites in Vienansalo Wilderness, Eastern Fennoscandia. *Silva Fennica*, 2002, vol. 36, no. 1, pp. 169–184. DOI: [10.14214/sf.556](https://doi.org/10.14214/sf.556)

28. Lilja S., Kuuluvainen T. Structure of Old *Pinus sylvestris* Dominated Forest Stands along a Geographic and Human Impact Gradient in Mid-Boreal Fennoscandia. *Silva Fennica*, 2005, vol. 39, no. 3, pp. 407–428. DOI: [10.14214/sf.377](https://doi.org/10.14214/sf.377)

29. Shanin V., Komarov A., Mäkipää R. Tree Species Composition Affects Productivity and Carbon Dynamics of Different Site Types in Boreal Forests. *European Journal of Forest Research*, 2014, vol. 133, iss. 2, pp. 273–286. DOI: [10.1007/s10342-013-0759-1](https://doi.org/10.1007/s10342-013-0759-1)

30. Steijlen I., Zackrisson O. Long-Term Regeneration Dynamics and Successional Trends in a Northern Swedish Coniferous Forest Stand. *Canadian Journal of Botany*, 1987, vol. 65, no. 5, pp. 839–848. DOI: [10.1139/b87-114](https://doi.org/10.1139/b87-114)

31. Stinson G., Kurz W.A., Smyth C.E., Neilson E.T., Dymond C.C., Metsaranta J.M., Boisvenue C., Rampley G.J., Li Q., White T.M., Blain D. An Inventory-Based Analysis of Canada's Managed Forest Carbon Dynamics, 1990 to 2008. *Global Change Biology*, 2011, vol. 17, iss. 6, pp. 2227–2244. DOI: [10.1111/j.1365-2486.2010.02369.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02369.x)

32. Wallenius T. Forest Age Distribution and Traces of Past Fires in a Natural Boreal Landscape Dominated by *Picea abies*. *Silva Fennica*, 2002, vol. 36, no. 1, pp. 201–211. DOI: [10.14214/sf.558](https://doi.org/10.14214/sf.558)

STAND STRUCTURE OF NORTHERN TAIGA PINE FORESTS

Ivan N. Kutjavin, Candidate of Agriculture, Research Scientist; ResearcherID: [P-9829-2015](https://orcid.org/0000-0002-7840-1934),

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

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>

Andrey F. Osipov, Candidate of Biology, Research Scientist; ResearcherID: [P-9583-2015](https://orcid.org/0000-0003-0618-9660),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0618-9660>

Mikhail A. Kuznetsov, Candidate of Biology, Research Scientist; ResearcherID: [P-9870-2015](https://orcid.org/0000-0001-6331-9578),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6331-9578>

Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, GSP-2, ul. Kommunisticheskaya, 28, Syktyvkar, 167982, Russian Federation; e-mail: kutjavin-ivan@rambler.ru, manov@ib.komisc.ru, osipov@ib.komisc.ru, kuznetsov_ma@ib.komisc.ru

Abstract. In Northern taiga conditions pine forests occupy about 1.8 mln ha of the territory of the Komi Republic and are mainly represented by sphagnum, green-moss and lichen forest types. The studies were carried out at the Zelenoborsk Forest Station of the Institute of Biology of the Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences in green-moss and sphagnum pine forests developing at the site of fires and clearcuts. Tree layer has a mix composition with the predominance of pine trees and admixture of spruce, birch, larch and aspen. Pine stands form three types of age structure: conventionally even-aged; conventionally uneven-aged, represented by one generation; and stepped uneven-aged, consisting of two or three generations of pine trees. Trees left behind during clearcut and felling residuals at the cutting area by the burn method contribute to the formation of stands of stepped uneven-aged age structure. The variation coefficients of tree age are 5.8–10.8 % in pine forests with one generation and 39.7–45.6 % in forests with two or three generations. The number of generations and the type of age structure had no effect on the diameter and height of trees in the stand, which varied respectively within 25.2–49.5 % and 15.7–27.8 %. In pine forests developing after fires, the peak of pine settlement occur in the second or third decade, while in cutting areas, the maximum renewal occurs in the first or second decade after clearcuts. The amplitude of tree age fluctuations varies from 16 to 33 years in conventionally even-aged and conventionally uneven-aged forests developed after clearcuts and from 30 to 45 years in post-fire stands. In stepped uneven-aged stands tree age fluctuations changes from 120 to 167 years, and from 22 to 66 years in generations. The curves showing the distribution of trees by diameter in stands of pine trees had a left-handed shift, the asymmetry is represented by positive values and varies from 0.05 to 1.03. Trees of associate species are inferior in development, both in diameter and in height to pine trees of similar age.

A close correlation between the diameter and height of trees in the stands was revealed. The relationship of age with diameter and height of trees varies from weak to significant at almost all of the sites studied. A close correlation between age and diameter was found in stepped uneven-aged pine forests ($R = 0.79-0.96$). The correlation between diameter and age increase with an increase in tree age fluctuations amplitude.

For citation: Kutuyavin I.N., Manov A.V., Osipov A.F., Kuznetsov M.A. Stand Structure of Northern Taiga Pine Forests. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2021, no. 2, pp. 86–105. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-86-105

Funding: The work was carried out within the framework of the state assignment on the topic “Spatial-Temporal Dynamics of the Structure and Productivity of Forest Phytocenoses and Bog Ecosystems in the European North-East of Russia”, No. AAAA-A17-117122090014-8.

Keywords: Northern taiga, pine forests, composition, structure, clearcuts, forest fires.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
The authors declare that there is no conflict of interest*

Поступила 10.01.20 / Received on January 10, 2020
