

УДК 630*181:582.475.1(1-924.82)

ДОЛГОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА СОСТАВА, СТРОЕНИЯ И СОСТОЯНИЯ ДРЕВОСТОЕВ СЕВЕРОТАЕЖНЫХ СОСНЯКОВ НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ

И. Н. Кутявин, А. В. Манов, А. Ф. Осипов, К. С. Бобкова

*Институт биологии федерального исследовательского центра Коми научного центра УрО РАН
167982, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28*

E-mail: kutjavin-ivan@rambler.ru, manov@ib.komisc.ru, osipov@ib.komisc.ru, bobkova@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 16.09.2022 г.

Приводятся результаты долговременных наблюдений в древостоях сосняков черничной и сфагновой групп типов в условиях подзоны северной тайги Европейского Северо-Востока России. Использован метод наблюдений на постоянных пробных площадях за период с 1967 по 2016 г. Древостои сосняков – послерубочного и постпирогенного происхождения. Установлены значительные изменения морфометрических показателей деревьев и древостоев сосны (*Pinus* L.). В пострубочных сосняках выявлены высокие значения коэффициентов вариации деревьев по густоте и запасу стволовой древесины (от 30 до 130 %), что свидетельствует об их активном формировании. В естественно развивающихся сосняках постпирогенного происхождения коэффициенты варьирования показателей изменяются от малых (10 %) до высоких (40 %) значений. В сосняках черничных, формирующихся после рубок, наблюдается тенденция снижения густоты деревьев, вызванная в основном отпадом мелколиственных древесных пород. В сосняках сфагновых сообществ, напротив, отмечено активное пополнение древостоев мелкими деревьями сосны из подроста. Установлено, что с увеличением доли молодого поколения сосны в составе древостоев происходит как снижение среднего и текущего прироста по запасу, так и ослабевание жизненного состояния и увеличение поврежденности деревьев сосны. В период наблюдений жизненное состояние древостоев большинства сосняков характеризуется как здоровое. Однако в сосняках сфагновой группы типов жизненность древостоев несколько слабее, чем в сосняках черничных, что обусловлено неблагоприятными условиями их произрастания на переувлажненных почвах.

Ключевые слова: северная тайга, сосновые древостои, динамика, состав, строение, жизненное состояние, Республика Коми.

DOI: 10.15372/SJFS20230202

ВВЕДЕНИЕ

Регулярные наблюдения за развитием лесных сообществ на постоянных пробных площадях (ппп) позволяют оценить динамику их функционирования, определить особенности продуцирования фитоценозов в условиях меняющегося климата. Эти сведения важны для понимания процессов, определяющих динамику фитоценозов, изменения их среды обитания и биологического разнообразия, а также моделирования экосистемных процессов, происходящих в них (Гусев, 2002; Kuuluvainen et al., 2017; Shashkov et al., 2022). Наблюдение за восстановлением нарушенных лесных территорий (вы-

рубки, гари, ветровалы и т. д.) имеет большое значение при оценке лесообразовательных процессов (Цветков, 2008; Šumichrast et al., 2020; Kutjavin, Manov, 2022; и др.). Долговременные наблюдения, ведущиеся на ппп, с периодическими учетами на протяжении многих десятилетий немногочисленны и ведутся в основном с 70-х годов прошлого столетия. Так, длительный мониторинг за сложными борами проведен Институтом лесоведения РАН в Московской области (Рысин и др., 1981; Полякова и др., 2011). На основе 40-летних наблюдений в ельниках Ленинградской области установлена смена этапов возрастного развития древостоев на стадии сформированных фитоценозов (Федорчук и др.,

2011). Н. Ф. Овчинниковой и А. Е. Овчинниковым (2016) проанализированы результаты 30-летней динамики состава и пространственной структуры осинников на стационарах черневого пояса Западного Саяна. Изменение структуры старовозрастных пихтово-буковых древостоев Словакии в течение длительного времени описано L. Šumichrast с соавт. (2020). Для территории Республики Коми динамика структуры и биологической продуктивности среднетаежных хвойных фитоценозов рассмотрены в ряде работ (Осипов, Бобкова, 2016; Манов, 2017; Манов, 2017; Кутявин, Манов, 2022).

Бореальные леса занимают порядка 32 % лесопокрытой площади Земли и являются важным природным ресурсом (Towards..., 2003). В настоящее время они подвержены не только рубкам, но находятся под воздействием разведки, добычи полезных ископаемых и различных видов промышленных загрязнений (Angelstam, Kulluvainen, 2004; Торлопова, Ильчуков, 2007; Тарханов, 2010; и др.). В 30-х годах XX столетия на Европейском Севере России проведенные при лесопользовании в основном сплошные концентрированные рубки привели к деградации и утрате больших площадей продуктивных коренных сообществ, что вызвало смену хвойных пород на мелколиственные (Цветков, 2008). На территории Республики Коми в период с 30-х по 80-е годы XX столетия сплошными концентрированными рубками было пройдено около 20 % лесопокрытой площади (Лесное хозяйство..., 2000). Однако темпы лесозаготовок с середины 90-х годов значительно снизились, особенно в северных районах республики. Сосновые леса широко распространены на территории Коми, в северной тайге их площадь составляет около 25.7 % (Лесное хозяйство..., 2000).

Согласно В. А. Усольцеву (2021), в последнее время происходит значительное сокращение российских исследований, сосредоточенных на получении новых данных, касающихся биопродукционных процессов в древостоях. Это также затрагивает исследования, направленные и на структурно-функциональные изменения бореальных лесов. Следовательно, сведения о динамике развития северотаежных сосняков представляют как теоретический, так и практический интерес для выявления их отклика на изменение климата и антропогенного воздействия.

Цель работы – оценка динамики состава, строения и жизненного состояния древостоев северотаежных сосняков, развивающихся после рубок и на гарях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнена на ппп, заложенных в сосняках черничной и сфагновой группы типов, произрастающих в подзоне северной тайги на территории Зеленоборского лесного стационара Института биологии федерального исследовательского центра Коми научного центра УрО РАН (64°28'53" с. ш., 55°19'23" в. д.). Климат района исследования характеризуется умеренно-холодной зимой и коротким прохладным летом. Среднегодовая температура воздуха изменяется от –1.5 до 2.5 °С, а среднегодовое количество осадков – в пределах 600–750 мм, из которых 65 % выпадает с апреля по октябрь (Атлас..., 1997).

Согласно общим нормативным указаниям и лесоводственным методикам с 1967 по 1968 г. заложена серия ппп в сосновых насаждениях (Верхоланцева, Бобкова, 1972). Сосновые древостои с примесью ели (*Picea A. Dietr.*), лиственницы (*Larix Mill.*), березы (*Betula L.*) и осины (*Populus tremula L.*) имели разное происхождение. Так, сосняки черничного (ппп 11) и осоково-сфагнового (ппп 17) типов развиваются после пожаров, прошедших около 130 и 250 лет назад соответственно; черничные (ппп 4 и 19) и сфагновый (ппп 21) – на вырубках 30–40-х годов прошлого столетия (см. табл. 1). Следует отметить, что очистка лесосек после рубки проведена путем сжигания порубочных остатков. Анализ данных по изменению состава и строения древостоев сосняков включает результаты наблюдений, сделанных в разное время (см. табл. 1). В каждый учетный год проводился сплошной перебор деревьев и подростов. К древостою относили деревья с диаметром ≥ 6 см на высоте 1.3 м. Подростом считалось древесное растение с диаметром ствола < 6 см на высоте 1.3 м и высотой ≥ 0.25 м. Для определения возраста деревьев и возрастной структуры древостоев производился отбор образцов древесины ствола (кernов) у 30–60 деревьев сосны (*Pinus L.*) с одновременным измерением его диаметра и высоты. Характеристики таксационных показателей рассчитывали по данным нормативов (Лесотаксационный справочник..., 2012).

При переборах с 2001 г. на ппп у всех деревьев оценивали классы повреждения по В. А. Алексееву (1989). Для оценки жизненного состояния древостоев использовали формулу

$$L_v = (100v_1 + 70v_2 + 40v_3 + 5v_4)/V, \quad (1)$$

где L_v – относительное жизненное состояние древостоя, рассчитанное с учетом объема каждого дерева; v_1, v_2, v_3, v_4 – объем древесины для здоровых, поврежденных (ослабленных), сильно поврежденных и отмирающих деревьев соответственно; 100, 70, 40, 5 – коэффициенты, соответствующие классам поврежденности деревьев от здоровых до отмирающих, %; V – общая сумма объема древесины в древостое на ппп, включая свежие сухие деревья, м³. При L_v 100–80 % жизненное состояние характеризует древостой как здоровый, 79–50 – ослабленный, при 49–20 % – сильно поврежденный или ослабленный.

Для оценки поврежденности древостоев использовали метод В. А. Алексеева (1989), в данном случае – следующие коэффициенты: неповрежденное дерево – 0, поврежденное – 30 %, сильно поврежденное – 60, усыхающее – 95, сухостой – 100 %, с применением формулы

$$D_v = (30v_2 + 60v_3 + 95v_4 + 100v_5)/V, (2)$$

где D_v – поврежденность древостоя, %; v_2, v_3, v_4, v_5 – объем древесины от ослабленных деревьев до сухостоя на пробной площади, м³; коэффициенты 30, 60, 95, 100 – степень поврежденности деревьев, %; V – общий запас деревьев, включающий объем здоровых и не поврежденных деревьев, м³. При $D_v < 10$ % древостой считается здоровым, при 11 – 19 % начально ослабленным, при 20–49 – поврежденным, 50–79 – сильно поврежденным, 80 % и выше – разрушенным.

Обработку и статистический анализ полученных данных проводили с использованием MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сосняк черничный (ппп 4) развивается на месте вырубки 40-х годов XX в. С момента наблюдений древостой перешел из стадии молодняка в средневозрастное насаждение. Древесный ярус представлен одним разновозрастным поколением деревьев сосны с амплитудой колебания максимального и минимального возраста 31 год (Кутявин и др., 2021). Изменение состава с 1991 г. показывает увеличение участия в древостое деревьев сосны с 4 до 8 ед. (табл. 1).

С 1991 по 2008 г. в составе древостоя отмечается снижение доли березы, что объясняется ее порослевым происхождением после рубки и последующим естественным выпадением. С 2008 по 2016 г. состав древостоя изменился незначительно, с небольшим увеличением доли

участия осины. За 25 лет наблюдений в насаждении отмечается увеличение среднего диаметра (в 1.3 раза) и высоты (в 1.2 раза) с одновременным снижением густоты деревьев (в 2.8 раза). Увеличение количества деревьев и запасов древесины с 2008 по 2016 г. обусловлено переходом подроста в состав древостоя и активным ростом его диаметра (см. рисунок, а, 1). Так, значительная часть деревьев из ступени толщины 24 см за 8 лет перешла в ступень 28 см.

При пересчете в 2008 г. выявлено снижение среднего и текущего (среднепериодического) прироста по запасу ствола как у сосны, так и древостоя в целом, что связано с выпадением из состава древостоя березы и тонкомерных деревьев сосны (см. рисунок, б, 1).

Наблюдения 2016 г. свидетельствуют о значительном увеличении изменения запаса древесины, где большая роль принадлежит сосне, которая активно осваивает пространство, освободившееся после отпада мелколиственных деревьев.

На момент учета 2016 г. древостой сосняка черничного (ппп 11) представлен условно-разновозрастным древостоем с одним поколением сосны с возрастом деревьев 104–133 лет (Кутявин и др., 2021). Сосняк развивается после пожара, прошедшего около 130–140 лет назад. За период наблюдений древостой перешел из стадии средневозрастного в спелый, а его состав претерпел незначительные изменения с сохранением доминирования деревьев сосны. При снижении густоты деревьев в 1.2 раза отмечается увеличение объема стволовой древесины в 2.4 раза (см. рисунок, а, 2). Запас древостоя в основном сосредоточен в 24 см ступени толщины (см. рисунок, б, 2). Отмечается небольшое количество деревьев березы и ели, которые, постепенно перешли из подроста в тонкомер, формируя слабо выраженный второй ярус со средней высотой 10.5 м. У деревьев сосны наблюдается рост по толщине и высоте (возрастает в 1.6 раза). Средний прирост по запасу у сосны увеличился в 1.7 раза, тогда как среднепериодические (текущие) изменения объема стволов за период наблюдений с 2001 по 2016 г. уменьшаются в 1.4 раза (табл. 1).

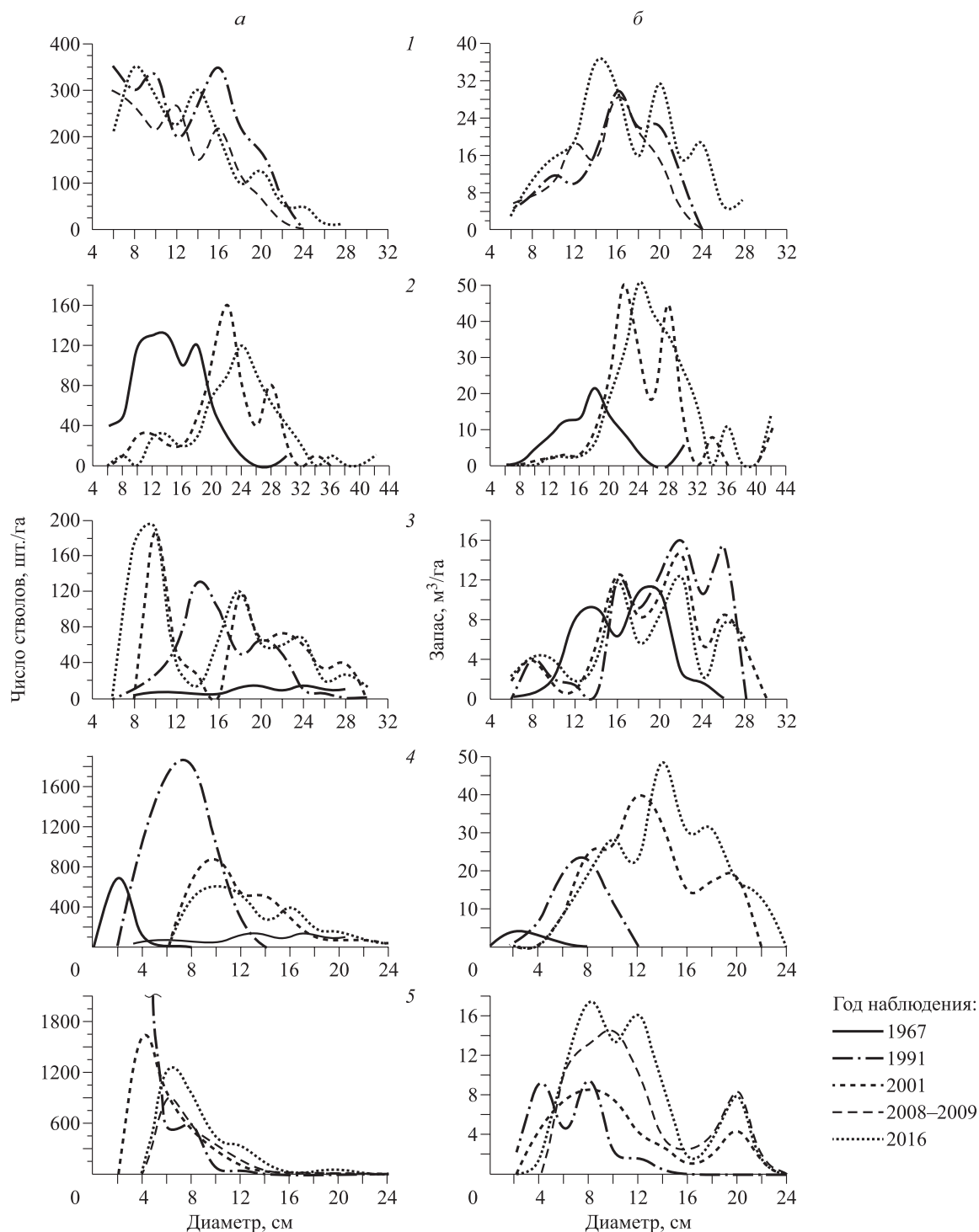
Естественно развивающийся оосково-сфагновый сосняк (ппп 17) характеризуется наличием двух поколений сосны: первое имеет возраст 132–238 лет, второе – 72–110 лет. За период развития древостой был подвержен двум пожарам. Первый пожар прошел около 120 лет назад, послужив причиной активного возобновления сосны второго поколения. Второй пожар, слабый

Таблица 1. Динамика таксационных показателей сосняков

Год учета	Состав	Средние		Средний возраст, лет (бонитет)	Густота растений, шт./га	Запас, м³/га	Абсолютная полнота, м²/га	Прирост по запасу, м³/га		CV, %	
		диаметр, см	высота, м					$\overline{Z_T}$	$\overline{Z_T^n}$	густота	запас
Черничный (ппп 4)											
1991	4С4Б2Е ед. Ос, Е	10.6 ± 0.3	11.6 ± 0.2	35 (III)	9917 (2250)	352.2 (135.2)	61.3	10.1 (3.9)	–		
2008	8С1Е1Б ед. Ос, Е	11.6 ± 0.4	11.7 ± 0.2	53 (IV)	3334 (1617)	167.6 (125.6)	27.9	3.1 (2.4)	–10.9 (–0.6)	66.8	35
2016	8С1Е1Б+Ос ед. Лц	13.3 ± 0.6	13.7 ± 0.3	60 (IV)	3551 (1925)	265.1 (207.3)	37.8	4.3 (3.5)	12.2 (10.2)		
Черничный (ппп 11)											
1967	8С2Лц ед. Б, Е	14.2 ± 0.5	11.8 ± 0.3	71 (V)	1070 (800)	125.4 (93.8)	18.1	1.6 (1.3)	–		
2001	9С1Лц ед. Б, Е	21.7 ± 0.7	16.6 ± 0.4	105 (IV)	910 (670)	255.3 (221.0)	30.3	2.3 (2.1)	3.7 (3.7)	10.3	40
2016	9С1Лц ед. Е, Б	23.4 ± 0.8	19.3 ± 0.6	120 (IV)	890 (620)	303.4 (261.9)	33.3	2.4 (2.2)	3.2 (2.7)		
Осоково-сфагновый (ппп 17)											
1967	10С ед. Б	14.2 ± 0.4	11.6	106 (Va)	530 (500)	53.1 (52.2)	8.6	0.5 (0.5)	–		
1989	10С ед. Б	15.7 ± 0.7	9.5 ± 0.2	130 (Va)	733 (653)	85.3 (83.2)	15.4	0.6 (0.6)	2.1 (2.1)		
2001	10С ед. Б	13.4 ± 0.6	8.7 ± 0.2	140 (Vб)	926 (853)	79.4 (78.2)	14.7	0.6 (0.6)	–0.3 (–0.3)	30.4	24
2008	10С ед. Б	12.1 ± 0.6	8.8 ± 0.3	150 (Vб)	1008 (928)	71.3 (70.0)	13.5	0.5 (0.5)	–0.5 (–0.5)		
2016	10С ед. Б	12.1 ± 0.5	11.3 ± 0.7	157 (Va)	1240 (1133)	103.9 (101.1)	16.3	0.6 (0.6)	2.1 (2.1)		
Чернично-зеленомошный (ппп 19)											
1967	4С4Ос2Б ед. Е, Лц 7Ос2С1Б ед. Е, Лц*	2.2 ± 0.1	2.1 ± 0.1	13 (V)	51 000 (11833)	18.56 (8.0)	7.1	1.2 (0.6)	–		
1991	5С3Ос2Б ед. Е, Лц	5.2 ± 0.1	6.2	37 (IV)	10 974 (5947)	85.9 (61.2)	21.5	0.8 (0.7)	3.1 (2.4)	129	80.0
2009	8С2Ос + Б	9.9 ± 0.2	11.5 ± 0.7	55 (IV)	4414 (3120)	228.5 (181.2)	34.7	4.1 (3.3)	7.1 (6.0)		
2016	8С2Ос + Б ед. Е	11.1 ± 0.3	13.7 ± 0.3	62 (III)	3593 (2720)	285.83 (219.9)	30.8	4.5 (3.5)	8.2 (5.5)		
Сфагновый (ппп 21)											
1991	7С2Б1Е	7.4 ± 0.1	7.4	53 (V)	1185 (970)	26.2 (18.1)	6.2	0.5 (0.4)	–		
2001	8С1Е1Б	8.2 ± 0.2	7.2 ± 0.1	63 (Va)	1705 (1490)	47.4 (39.0)	10.5	0.8 (0.7)	3.0 (3.0)	32.2	51
2008	9С1Е ед. Б	8.5 ± 0.2	9.1 ± 0.2	70 (V)	2240 (2080)	73.6 (68.2)	16.8	1.1 (0.9)	3.7 (4.2)		
2016	9С1Е+Б	8.7 ± 0.1	9.0 ± 0.2	78 (Va)	2610 (2385)	91.1 (81.2)	23	1.2 (1.0)	2.2 (1.6)		

Примечание. Прирост: $\overline{Z_T}$ – средний, $\overline{Z_T^n}$ – среднепериодический (текущий); (–) – данные отсутствуют; CV – коэффициент вариации. С – сосна; Лц – лиственница; Е – ель; Б – береза; Ос – осина.

* Состав рассчитан по числу деревьев.



Число стволов (а) и запасы стволовой древесины сосны (б) в сосняках черничных (1, 2, ппп 4, 11), оосково-сфагновом (3, ппп 17), чернично-зеленомошном (4, ппп 19); сфагновом (5, ппп 21).

* Число деревьев в ступенях толщины 2 и 4 см.

интенсивности, был в 80-х годах прошлого столетия и не причинил большого вреда второму поколению. Массовый переход (420 экз./га) соснового подроста в состав древостоя выявлен в 2001 г. (см. рисунок, 2). Исследования 2016 г. показали увеличение количества деревьев второго поколения до 747 экз./га. В течение всего периода

наблюдений состав древостоя остается относительно постоянным, при господстве сосны и присутствии единичной березы. С вхождением в состав древостоя новых тонкомерных деревьев второго поколения сосны средний диаметр древостоя снижался в течение 1989–2008 гг., а затем стабилизировался. За 15 лет (2001–2016 гг.),

несмотря на снижение среднего диаметра, отмечается увеличение средней высоты от 8.7 до 11.3 м. Это свидетельствует о довольно интенсивном росте деревьев, определяющих конкурентными взаимоотношениями их за свет. С 1989 по 2008 г. наблюдается снижение запаса стволовой древесины на 14 м³/га (табл. 1), что, видимо, вызвало отмирание деревьев сосны первого поколения. Установлено, что большую часть отпада составили отставшие в росте тонкомерные деревья сосны диаметром от 6 до 16 см (см. рисунок, а, 3). За период наблюдений величина среднего прироста древесины по запасу не изменилась. Данные текущего прироста показывают, что при массовом поступлении деревьев второго поколения и распаде части деревьев первого поколения, отрицательные значения накопления объема стволовой древесины изменяются от –0.3 до –0.5 м³/(га · год). Однако с 2008 по 2016 г. этот показатель увеличивается до 2.1 м³/(га · год). Такая динамика свидетельствует о повышенном приросте деревьев молодого поколения, активно осваивающих жизненное пространство в фитоценозе сосняка.

В составе древостоя сосняка чернично-зеленомошного (ппп 19), развивающегося на вырубке, на начальном этапе наблюдения по количественному соотношению видов древесной растительности преобладает осина порослевого происхождения. По мере развития насаждения доминирующая роль как по числу, так и по запасу стволовой древесины переходила к деревьям сосны. Древостой, в котором идет увеличение диаметра, высоты деревьев и запаса стволовой древесины, представлен одним условно-разновозрастным поколением сосны с возрастом деревьев от 48 до 69 лет. Наблюдается интенсивное самоизреживание, характеризующееся снижением густоты в 14.6 раза, главным образом из-за гибели листовенных пород (береза, осина) порослевого происхождения. Динамика распределения количества деревьев по ступеням толщины с 1967 по 2016 г. имеет вид «набегающей волны» с максимумом числа деревьев сосны в 1991 г. (см. рисунок, а, 4). Далее идет снижение количества деревьев и их переход в более крупные ступени толщины. Графики распределения деревьев по запасу в первые два наблюдения (1967 и 1991 гг.) имеют вид кривых, близких по асимметрии к нулевому значению. Затем кривые распределения принимают волнообразный вид с пиком запаса стволовой древесины, близким к диаметру среднего дерева (см. рисунок, б, 4).

Сосняк сфагновый (ппп 21) формируется на вырубке, прошедшей в начале 40-х годов прошлого столетия. Древостой имеет три поколения сосны и представлен ступенчато-разновозрастной структурой, сформировавшейся после рубки. Первое и второе поколения в возрасте от 107 до 170 лет были оставлены в недорубе (тонкомерные деревья) или в качестве семенных деревьев. Третье поколение сосны имеет возраст 51–72 года и занимает 86 % от общего количества деревьев сосны (Кутявин и др., 2021). За прошедшие 25 лет наблюдений сосна в древостое довольно активно укрепляет пространственные позиции. Как и в сосняке осоково-сфагновом (ппп 17) идет переход крупного подроста в состав молодого поколения древостоя. Однако, в отличие от спелого осоково-сфагнового сообщества, средние таксационные показатели диаметра и высоты увеличиваются. Запас древостоя за 25 лет наблюдений возрос на 65 м³/га. Средний прирост древесины по объему за этот период увеличился на 0.7 м³/(га · год). Текущий прирост объема древесины изменился от 3 до 3.7 м³/(га · год) в течение 1991–2008 гг., с последующим снижением до 2.2 м³/(га · год) к 2016 г. Основной запас стволовой древесины концентрируется в ступенях толщины от 6 до 16 см. Деревья сосны первого и второго поколений в пределах 16 и 22 см ступени толщины характеризуются слабым ростом (см. рисунок, б, 5). Накопление числа деревьев в древостое носит циклический характер. Так, с 1991 по 2008 г. отмечается отпад тонкомерных деревьев сосны диаметром от 6 до 12 см. За 17 лет выпадения тонкомера привело к увеличению пространства в древостое сосняка. По наблюдениям 2016 г. это привело к массовому росту крупного подроста и, как следствие, увеличению в составе древостоя тонкомерных деревьев сосны диаметром от 6 до 8 см (см. рисунок, а, 5).

Проведенный анализ варьирования густоты деревьев и запаса стволовой древесины в рассматриваемом сосняке сфагновом за периоды наблюдений показал высокую вариабельность этих показателей, достигающих 129 % (табл. 1). Низкие (10 %) и средние (23 %) значения варьирования густоты и запаса отмечены в послепожарных древостоях сосняков на ппп 11 и 17. Однако быстрое пополнение запаса стволовой древесины в древостое сосняка черничного на ппп 11 и массовое увеличение числа деревьев во втором поколении сосняка осоково-сфагнового на ппп 17 привело к увеличению вариации данных показателей.

Проведенный сравнительный анализ показал, что несмотря на резкие скачки объема древесины в старовозрастных пихтово-буковых древостоях Словакии коэффициенты варьирования по густоте изменяются от 10 до 76 %, тогда как по запасу коэффициенты вариации не превышают 16 %. Несмотря на значительные колебания запасов древесины в не нарушенных антропогенной деятельностью пихтово-буковых древостоях их варьирование остается в пределах средних значений (Šumichrast et al., 2020). По нашим данным (Кутявин, Манов, 2022), в старовозрастных сосновых древостоях Северного Приуралья при длительном отсутствии пожаров (более 100 лет) запас стволовой древесины деревьев за 10-летний период наблюдений изменился незначительно.

За 30 лет исследований на вырубке осинового древостоя черневого пояса Западного Саяна выявлено интенсивное снижение густоты за счет отпада осины (Овчинникова, Овчинников, 2016). Вместе с тем отмечено увеличение в составе древостоя количества темнохвойных видов, деревьев пихты (*Abies* Mill.) и кедра (*Pinus sibirica* Du Tour). Показано, что несмотря на выпадение осины, ее запасы увеличиваются, тогда как прирост запасов древесины темнохвойных видов, наоборот, замедляется. По нашим данным, в северотаежных сосняках, формирующихся на вырубках, наблюдаются примерно такие же тенденции смены лиственных пород на светлохвойные.

В старовозрастном широколиственном лесу за 30 лет наблюдений увеличился средний диаметр светолюбивых деревьев первого яруса за счет выпадения тонкомерных деревьев из-за недостатка света (Shashkov et al., 2022). Отмечено успешное возобновление теневыносливых видов под пологом древостоя. При длительном отсутствии огня или его слабом воздействии под пологом старовозрастных древостоев черничных сосняков Северного Приуралья, нами (Кутявин, Манов, 2022) также отмечено интенсивное накопление темнохвойных видов. Как показали 10-летние наблюдения, накопившийся крупный подрост ели начинает активно поступать во второй ярус черничного сосняка и далее при длительном отсутствии пожара медленно вытесняет сосну. Примерно такие же закономерности наблюдаются в северотаежном сосняке черничном на ппп 4 (табл. 1). Таким образом, в данном фитоценозе можно выделить три послерубочные стадии смены: первая – массовое появление после рубки мелколиственных пород,

вторая – смена на сосну и третья – дальнейшее увеличение в составе древостоя темнохвойной ели.

Сравнивая наши данные с таблицами хода роста сосново-еловых древостоев северной подзоны тайги Архангельской области (Лесотаксационный справочник..., 2012), естественно развивающийся 60-летний сосняк черничный ппп 4 (табл. 1) по стадиям развития густоты и запаса древесины соответствует табличным характеристикам древостоя в возрасте 40 лет. В возрасте 35 лет таксационные показатели древостоя ниже, чем по таблицам хода его роста в возрасте 10–20 лет. 120-летний естественно развивающийся послепожарный сосняк черничный (ппп 11) по числу деревьев сосны на гектаре близок с табличными данными хода роста нормальных сосновых древостоев притундровых и северотаежных подрайонов. Согласно табличным данным для нормальных сосняков по запасу сосны, древостой имеет возраст 50–60 лет. Следовательно, при сравнительном анализе с табличными данными видно, что древостои северотаежных сосняков отстают в развитии на один-два класса возраста по сравнению с нормальными сосняками.

Древостои северотаежных сосняков на период наблюдений по показателям жизненного состояния относятся к категории здоровые ($L_y > 90$ %) (табл. 2).

Лишь в сосняке осоково-сфагновом (ппп 17) жизненность древостоя изменяется от категории ослабленный до категории здоровый. Поврежденность этого древостоя (D_y) на протяжении всех наблюдений составляет 20–27 %. Такая тенденция, видимо, определяется поступлением в состав древостоя большого количества деревьев из подроста сосны с 2001 по 2016 г. и, как следствие, выраженной конкуренции за энергетические ресурсы и питательные вещества из почвы. В остальных древостоях исследованных сосняков поврежденность не превышает 10 % (табл. 2).

Таблица 2. Динамика состояния сосняков, %

Номер ппп	2001 г., L_y/D_y	2009 г., L_y/D_y	2016 г., L_y/D
4	–	94/8	92/6
11	90/10	–	92/8
17	73/27	80/20	76/24
19	–	93/7	90/10
21	–	95/5	93/7

Массовое поступление в состав древостоя деревьев младших поколений приводит к ослаблению их состояния. Показано, что в группах растений с повышенной плотностью их произрастания вследствие ограничения жизненного пространства и снижения питательных веществ в почве происходят процессы элиминации (Ипатов, Тархова, 1975). Анализ пространственных взаимосвязей между деревьями разных возрастных стадий в сосняках Европейского Северо-Востока России (Kutyavin, Manov, 2022), показывает также, что при появлении второго молодого поколения наблюдается увеличение расстояния (отталкивания) между крупными и мелкими деревьями сосны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые на Европейском Северо-Востоке России показана долговременная динамика состава и структуры древостоев сосняков, развивающихся как после пожаров, так и после рубок. Наблюдения за развитием северотаежных сосняков в течение 25–50 лет показали значительные изменения в их строении. Сосняки сфагновой группы типов характеризовались сходной динамикой развития, которая выражалась увеличением густоты древостоев и запасов древесины в них. В насаждениях черничных сосняков отмечается снижение численности деревьев с накоплением объема древесины ствола. В послерубочных насаждениях интенсивное самоизреживание древостоя происходит за счет отпада мелколиственных пород порослевого происхождения. Развивающийся после пожара 120-летний древостой сосняка черничного (ппп 11) сохраняет относительно стабильный состав и прирост по объему стволовой древесины. Жизненное состояние большинства исследованных древостоев характеризуется как «здоровое». Полученные данные могут быть использованы в практике лесного хозяйства при оценке продуктивности фитоценозов и связывания парниковых газов, верификации моделей динамики развития лесных экосистем, формирующихся под влиянием промышленных рубок и лесных пожаров. Исследованные древостои послужат для дальнейшего развития представления о структурно-динамической организации лесного покрова северной тайги.

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам отдела лесобиологических проблем Севера, принимавших участие в по-

вых работах на пробных площадях Зеленоборского стационара.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии федерального исследовательского центра Коми научного центра УрО РАН, номер гос. регистрации 1021051101417-8-1.6.19.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
- Атлас по климату и гидрологии Республики Коми. М.: Дрофа; ДиК, 1997. 116 с.
- Верхоланцева Л. А., Бобкова К. С. Почвы и растительность сосновых лесов Зеленоборского стационара // Вопросы экологии сосняков Севера. Сыктывкар: Коми филиал АН СССР, 1972. С. 6–20. – (Тр. Коми филиала АН СССР; № 24).
- Гусев И. И. Моделирование экосистем: учеб. пособие. Архангельск: Архангел. гос. тех. ун-т, 2002. 112 с.
- Ипатов В. С., Тархова Т. Н. Количественный анализ ценологических эффектов в размещении деревьев по территории // Бот. журн. 1975. Т. 60. № 9. С. 1237–1250.
- Кутявин И. Н., Манов А. В., Осипов А. Ф., Кузнецов М. А. Строение древостоев северотаежных сосняков // ИВУЗ. Лесн. журн. 2021. № 2. С. 86–105.
- Кутявин И. Н., Манов А. В. Динамика размерной и возрастной структуры древостоев коренных сосняков Северного Приуралья // Лесоведение. 2022. № 5. С. 504–519.
- Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми / Отв. ред. Г. К. Козубов, А. И. Таскаев. М.: Дизайн. Информация. Картография, 2000. 512 с.
- 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.
- Манов А. В. Динамика горизонтальной структуры древостоя коренного разнотравно-черничного ельника подзоны средней тайги Республика Коми // Изв. РАН. Сер. биол. 2017. № 5. С. 573–580.
- Овчинникова Н. Ф., Овчинников А. Е. Динамика структуры осинового древостоя в черневом поясе Западного Саяна // Лесоведение. 2016. № 6. С. 418–425.
- Осипов А. Ф., Бобкова К. С. Биологическая продуктивность и фиксация углерода среднетаежными сосняками при переходе из средневозрастных в спелые // Лесоведение. 2016. № 5. С. 346–354.
- Полякова Г. А., Меланхолин П. Н., Лысыков А. Б. Динамика состава и структуры сложных боров Подмоскovie // Лесоведение. 2011. № 2. С. 42–50.
- Рысин Л. П., Вакуров А. Д., Павлов В. Ф. Значение постоянных пробных площадей в лесоводственных исследованиях // Лесоведение. 1981. № 1. С. 60–66.
- Тарханов С. Н. Формы внутривидовой изменчивости хвойных в условиях атмосферного загрязнения (на примере Северо-Двинского бассейна). Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2010. 232 с.

- Торлопова Н. В., Ильчуков С. В. Сосновые леса Европейского Северо-Востока: структура, состояние, флористический комплекс. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2007. 191 с.
- Усольцев В. А. Об одном методическом нарушении при оценке чистой первичной продукции насаждений // Сиб. лесн. журн. 2021. № 6. С. 91–95.
- Федорчук В. Н., Шорохова Е. В., Шорохов А. А., Кузнецова М. Л. Возрастная динамика еловых древостоев северо-западной части Русской равнины // Лесоведение. 2011. № 3. С. 3–13.
- Цветков В. Ф. Лесовозобновление: природа, закономерности, оценка, прогноз. Архангельск: Арханг. гос. тех. ун-т, 2008. 212 с.
- Angelstam P., Kuuluvainen T. Boreal forest disturbance regimes, successional dynamics and landscape structures: a European perspective // Ecol. Bull. 2004. N. 51. P. 117–136.
- Kutyavin I. N., Manov A. V. Spatial relationships of trees in middle taiga post-pyrogenic pine forest stands in the European North-East of Russia // J. For. Sci. 2022. V. 68. N. 6. P. 228–240.
- Kuuluvainen T., Hofgaard A., Aakala T., Jonsson B. G. North Fennoscandian mountain forests: history, composition, disturbance dynamics and the unpredictable future // For. Ecol. Manag. 2017. N. 385. P. 140–149.
- Manov A. V. Dynamics of the horizontal structure of the tree stand in a pristine herb-bilberry forest of the subzone of the middle taiga in the Komi Republic // Biol. Bull. 2017. V. 44. Iss. 5. P. 552–559 (Original Rus. text © A. V. Manov, 2017, publ. in Izv. akad. nauk. Ser. biol. 2017. N. 5. P. 573–580).
- Shashkov M. P., Bobrovsky M. V., Shanin V. N., Khanina L. G., Grabarnik P. Y., Stamenov M. N., Ivanova N. V. Data on 30-years stand dynamics in an old-growth broad-leaved forest in the Kaluzhskie zaseki state nature reserve, Russia // Nat. Conserv. Res. Заповед. наука. 2022. N. 7 (Suppl. 1). P. 24–37.
- Šumichrast L., Vencurik J., Pittner J., Kuchel S. The long-term dynamics of the old-growth structure in the National Nature Reserve Badinsky prales // J. For. Sci. 2020. V. 66. N. 12. P. 501–510.
- Towards sustainable management of the boreal forest / P. J. Burton, C. Messier, D. W. Smith, W. Adamowicz (Eds.). Ottawa, Ontario, Canada: NRC Res. Press, 2003. 1039 p.

LONG-TERM DYNAMICS OF THE COMPOSITION, STRUCTURE AND STATE OF TREE STANDS OF NORTHERN TAIGA PINE FORESTS IN THE EUROPEAN NORTH-EAST OF RUSSIA

I. N. Kutyavin, A. V. Manov, A. F. Osipov, K. S. Bobkova

*Institute of Biology, Federal Research Center Komi Science Centre,
Russian Academy of Sciences, Ural Branch
Kommunisticheskaya str., 28, Syktyvkar, Komi Republic, 167982 Russian Federation*

E-mail: kutjavin-ivan@rambler.ru, manov@ib.komisc.ru, osipov@ib.komisc.ru, bobkova@ib.komisc.ru

The results of long-term observations in pine tree stands of bilberry and sphagnum forest types are presented. The studies were carried out in the northern subzone taiga conditions of the European North-East of Russia. The method of observation on permanent sample plots was used (the period from 1967 to 2016). Pine tree stands develop on old logging areas (about 70 years ago) and after fire sites. Based on the results of observations carried out significant changes in the morphometric parameters of pine (*Pinus* L.) trees and stands were established. In pine forests formed on logging areas, high values of the coefficients of variation of trees in terms of density and stock of stem wood (from 30 to 130 %) were revealed. Such high variation coefficients indicate their active formation. In post-pyrogenic naturally developing pine forests, the coefficients of variation of indicators vary from small (10 %) to high (40 %) values. In bilberry pine forests formed after logging, there is a tendency to reduce the density of trees, mainly caused by the loss of birch (*Betula* L.) and aspen (*Populus tremula* L.). Whereas, in sphagnum types pine forests, an active replenishment of forest stands with small pine trees from undergrowth was noted. It has been established that with an increase in the proportion of young generation of pine in the composition of forest stands, both a decrease in the average and current growth in stock, as well as a weakening of the vital state and an increase in damage to pine trees occur. During the observation period, the vital state of the most pine forest stands is characterized as «healthy status». In sphagnum types pine forests, the vital state of forest stands is somewhat weaker than in bilberry pine forests. This is due to the unfavorable conditions of their growth on waterlogged soils.

Keywords: *northern taiga, pine tree stands, dynamics, composition, structure, vital state, Komi Republic.*

How to cite: Kutyavin I. N., Manov A. V., Osipov A. F., Bobkova K. S. Long-term dynamics of the composition, structure and state of tree stands of northern taiga pine forests in the European North-East of Russia // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2023. N. 2. P. 17–25 (in Russian with English abstract and references).