

Научная статья

УДК 574.32:630.182

DOI: 10.32516/2303-9922.2023.46.5

## Трансформация структуры сосновых формаций в урбанизированных экосистемах Москвы

Даниил Викторович Лежнев<sup>1,2</sup>, Александр Вячеславович Лебедев<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (Мытищинский филиал), Мытищи, Россия, [lezhnev.daniil@yandex.ru](mailto:lezhnev.daniil@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2706-7320>

<sup>2</sup> Институт лесоведения Российской академии наук, с. Успенское, Московская область, Россия

<sup>3</sup> Российский государственный аграрный университет — Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия, [alebedev@rgau-msha.ru](mailto:alebedev@rgau-msha.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8939-942X>

**Аннотация.** В статье рассмотрена трансформация структуры формаций, протекающая на различных стадиях онтогенеза сосны на фоне воздействия факторов внешней среды. Лесные экосистемы Москвы подвержены комплексному воздействию внешних факторов. Сосновые формации г. Москвы выполняют важные водоохранно-защитные, средообразующие и ряд других функций. Целью исследования стало изучение трансформации структуры сосновых формаций для определения тенденций развития экосистем под влиянием комплексного воздействия негативных факторов. Исследования проводились в спелых сосновых насаждениях в пределах г. Москвы. Выделены три группы формаций на постоянных пробных площадях на основании преобладающих пород во втором ярусе: 1) клена, 2) липы и вяза, 3) ели. Наличие нескольких поколений лиственных пород свидетельствует о трансформации структуры сосновых формаций начиная с 1960—1970-х гг. Выявлены направления протекающих естественных сукцессионных процессов в спелых сосновых древостоях экосистем г. Москвы.

**Ключевые слова:** сосна, формация, экосистема, трансформация, структура, изменение климата, урбанизация, Москва.

**Для цитирования:** Лежнев Д. В., Лебедев А. В. Трансформация структуры сосновых формаций в урбанизированных экосистемах Москвы // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. 2023. № 2 (46). С. 74—88. URL: [http://vestospu.ru/archive/2023/articles/5\\_46\\_2023.pdf](http://vestospu.ru/archive/2023/articles/5_46_2023.pdf). DOI: 10.32516/2303-9922.2023.46.5.

Original article

## Structural transformation of pine formations in urbanized ecosystems of Moscow

Daniil V. Lezhnev<sup>1,2</sup>, Aleksandr V. Lebedev<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi branch), Mytishchi, Russia, [lezhnev.daniil@yandex.ru](mailto:lezhnev.daniil@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2706-7320>

<sup>2</sup> Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences, Uspenskoe, Moscow region, Russia

<sup>3</sup> Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia, [alebedev@rgau-msha.ru](mailto:alebedev@rgau-msha.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8939-942X>

**Abstract.** The article considers the structural transformation of formations occurring at various stages of pine ontogenesis against the background of environmental factors. Moscow forest ecosystems are subject to the complex effects of external factors. The Scots pine formations of Moscow perform important water protection, environmental protection and a number of other functions. The aim of the paper was to study the transformation of the structure of pine formations to determine the trends of ecosystem development affected by negative factors. The research was carried out in mature pinetums within the city of Moscow. Three groups of formations have been

© Лежнев Д. В., Лебедев А. В., 2023

identified on permanent test areas based on the predominant species in the second tier: 1) maple, 2) linden and elm, 3) spruce. The presence of several generations of hardwoods indicates the transformation of the structure of Scots pine formations from the period of 1960—1970. The directions of the natural succession processes occurring in the mature pine stands of the ecosystems of Moscow are revealed.

**Keywords:** Scots pine, formations, ecosystem, transformation, structure, climate change, urbanization, Moscow.

**For citation:** Lezhnev D. V., Lebedev A. V. Structural transformation of pine formations in urbanized ecosystems of Moscow. *Vestnik of Orenburg State Pedagogical University. Electronic Scientific Journal*, 2023, no. 2 (46), pp. 74—88. DOI: <https://doi.org/10.32516/2303-9922.2023.46.5>.

## Введение

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) относится к наиболее распространенным хвойным деревьям в мире, а леса естественного и искусственного происхождения с ее участием встречаются во многих странах Северной Америки, Азии и Европы, в том числе в России [20; 23; 36]. Это подчеркивает актуальность исследований, направленных на изучение трансформации структуры сосновых формаций, протекающей на различных стадиях онтогенеза изучаемого вида на фоне воздействия факторов внешней среды.

За последние десятилетия в Московском регионе наблюдается повышение среднегодовой температуры воздуха, увеличивается продолжительность вегетационного периода, осадки теплого периода года приобретают ливневый характер, увеличивается число экстремальных метеорологических явлений [34]. Ввиду изменения климата лесные экосистемы будут больше подвергаться воздействию негативных факторов: пожаров, засух, распространению вредителей и болезней, что может привести к негативным последствиям в продуктивности и устойчивости насаждений [24; 37]. Изменение климата и комплексные его последствия катализируют быстрые изменения лесных биогеоценозов, которые наряду с активным лесопользованием повлияли на режимы естественных процессов во всем мире [32; 33; 38; 39; 42].

Москва относится к Центральному федеральному округу — зоне с самым высоким рангом техногенного загрязнения (7-й ранг экологического неблагополучия) в России [4]. На состояние сосновых формаций в настоящий момент накладывает отпечаток ряд факторов городской среды: уровень техногенной нагрузки, повышенная рекреационная нагрузка, плотность населения и др. Техногенное загрязнение может ускорить трансформацию структуры сосновых формаций, но не является ее первопричиной [12]. Население Москвы за последние 60 лет увеличилось более чем в 2 раза и составляет на 1 января 2023 г. 12 678 тыс. чел., или 8,7% от общей численности населения страны [28].

Деревья в любом одновозрастном насаждении как естественного, так и искусственного происхождения существенно различаются между собой по ряду показателей: диаметр, высота, объем ствола и др. [2; 6]. Структурное разнообразие древостоев — одно из наиболее интересных явлений, изучаемых лесными экологами [41]. Исследование трансформации структуры сосновых древостоев в урбанизированных экосистемах г. Москвы имеет важное значение для получения информации и понимания различных эколого-биологических аспектов формирования и их развития [23]. Вместе с тем строение экосистем во многом обуславливает их продуктивность и устойчивость [5; 14; 15; 31].

Структура древостоев в лесных экосистемах — это закономерное распределение деревьев по таксационным показателям, изменяющимся со временем и в пространстве, что является результатом комплексного взаимодействия географических условий, стадии развития биогеоценоза и влияния факторов извне [13]. Изменение структуры влияет на интенсивность биогеоценологических процессов, устойчивость и средообразующие функции экосистем [15]. Вертикальная структура лесных сообществ считается одним из главных показателей продуктивности и состояния лесов, зависит от природных условий

региона исследования [29], а распределение деревьев по размерам дает информацию, характеризующую число поколений, устойчивость и продуктивность экосистем [17; 30].

Таким образом, в условиях глобального потепления, высокого уровня техногенного воздействия и увеличивающейся рекреационной нагрузки важной темой на настоящий момент становится изучение структуры сосновых формаций, так как она характеризует жизненное состояние насаждений, а также по ней можно выявить протекающие процессы по смене породного состава в формациях.

Целью исследования стало изучение трансформации структуры сосновых формаций для определения тенденций развития урбанизированных экосистем Москвы под влиянием комплексного воздействия негативных факторов и разработка рекомендаций для улучшения санитарного состояния насаждений в данных условиях.

### Материалы и методы

Исследования проводились на постоянных пробных площадях (ППП) в спелых сосновых насаждениях четвертого квартала Лесной опытной дачи Российского государственного аграрного университета — МСХА имени К. А. Тимирязева (рис. 1), расположенной в северо-западной части Москвы. Лесная опытная дача находится на окраине южного склона Клинско-Дмитровской гряды, спускающейся на юг к долине р. Москвы, имеющей моренно-равнинный рельеф. Холмы, характерные для моренного ландшафта, здесь имеют плоский сглаженный характер. Опытные посадки ППП с начальной плотностью 32000 шт./га заложены М. К. Турским в конце XIX века [21].

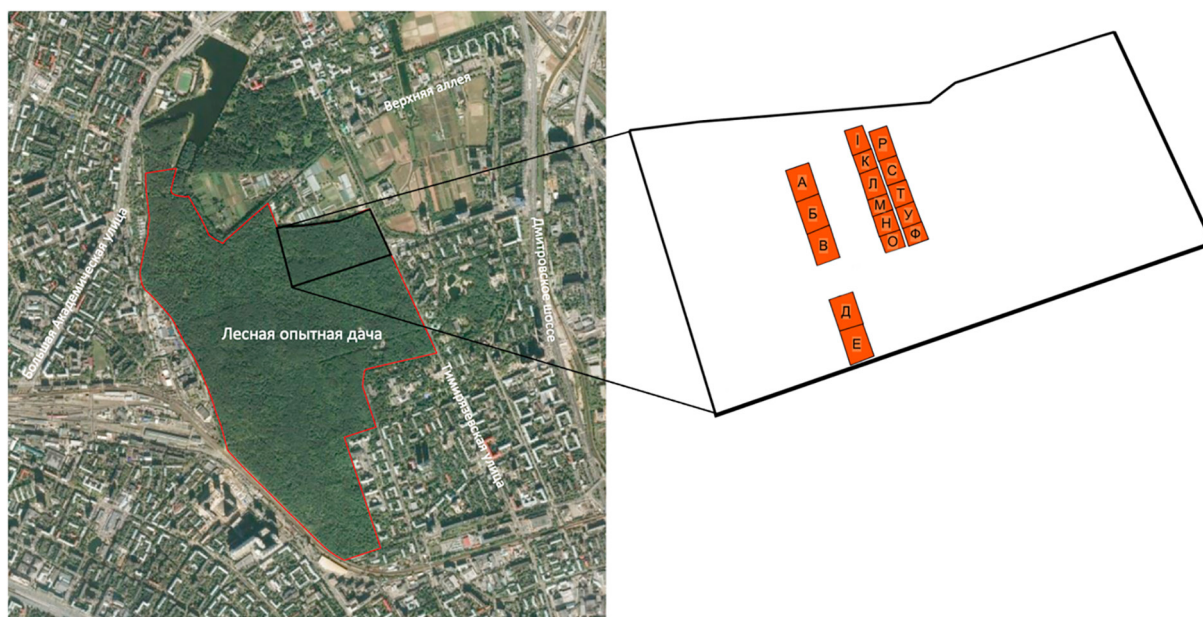


Рис. 1. Расположение постоянных пробных площадей на территории Лесной опытной дачи

В исследовании использованы данные сплошного перечета деревьев на 16 ППП (площадь от 0,06 до 0,15 га). На них проводились следующие виды полевых работ: 1) сплошной пересчет диаметров стволов деревьев с толщиной 6 см и более на высоте 1,3 м мерной вилкой, 2) измерение высот у 15—25 деревьев высотомером Haglof Vertex IV, 3) оценка жизненного состояния деревьев [9]. При камеральной обработке данных определялись: 1) запас по таблицам объемов стволов [22], 2) сумма площадей поперечных сечений, 3) количество деревьев на гектар, 4) средний диаметр, 5) средняя высота графическим методом, 6) формула состава насаждения по соотношению запасов древесных пород.

В процессе обработки результатов перечета строились графики, отображающие высотную структуру и позволяющие разбить древостой на ярусы, графики распределения числа деревьев по четырехсантиметровым ступеням толщины. Выделение ярусов проводилось по разнице в средних высотах элементов леса с определением их основных таксационных характеристик [11; 25].

На момент проведения таксации возраст сосновых насаждений составлял 132—134 года, тип лесорастительных условий — свежие сложные субори (С<sub>2</sub>), тип леса — сосняк сложный (С. сл), бонитет — I (табл. 1). Древостой сформированы такими лесообразующими породами, как сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), ель обыкновенная (*Picea abies* (L.) Н. Karst.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.), вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.), береза повислая (*Betula pendula* Roth), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.).

Таблица 1

Таксационная характеристика сосновых формаций на постоянных пробных площадях

№ ППП	Ярус	Состав, %	Количество, шт./га	Возраст, лет	Среднее значение		Запас, м <sup>3</sup> /га
					Высота, м	Диаметр, см	
4/А	I	86С	425	132	31,5	34,7	565
		7Б	69	—	28,9	25,4	47
5Лп		55	—	26,5	25,1	30	
2Д		14	—	30,1	32,0	14	
	II	100Кло	206	—	21,2	18,7	61
4/Б	I	94С	468	132	32,0	34,6	639
		6Лп	43	—	28,6	31,5	41
	II	63Кло	191	—	15,3	15,9	25
		37Лп	50	—	16,0	22,4	15
4/В	I	81С	403	132	31,2	33,4	491
		10Лп	50	—	31,1	35,7	64
9Кло		94	—	27,7	22,2	54	
	II	100Кло	259	—	21,4	19,3	84
4/Е	I	93С	451	132	32,5	36,9	689
		7Лп	49	—	32,0	32,2	52
	II	92Кло	324	—	17,6	18,6	66
		8С	21	—	18,8	19,6	6
4/Д	I	94С	486	132	32,4	32,5	585
		4Лп	21	—	29,0	34,8	24
		2Б	14	—	34,5	30,4	14
	II	56Кло	282	—	15,9	16,6	39
		24С	70	—	16,3	18,6	17
		14Лп	28	—	22,3	21,0	10
		6Б	14	—	24,2	20,0	4
4/Ж	I	75С	267	133	29,7	37,3	378
		25Лп	93	—	22,7	22,0	128
	II	100Кло	93	—	18,6	17,4	24
4/К	I	74С	383	132	30,4	30,6	387
		26Лп	48	—	32,9	50,9	137
	II	60Лп	64	—	17,9	21,1	18
		15В	48	—	13,9	15,7	6
		15Кло	32	—	17,1	18,5	6

Продолжение табл. 1

№ ППП	Ярус	Состав, %	Количество, шт./га	Возраст, лет	Среднее значение		Запас, м <sup>3</sup> /га
					Высота, м	Диаметр, см	
4/Л	I	77С	287	133	30,2	33,3	339
		23Лп	78	—	29,0	36,9	100
	II	39Лп	39	—	16,4	17,9	7
		39В 22Кло	78 39	— —	15,5 14,3	12,7 13,5	7 4
4/М	I	91С	425	133	31,3	34,7	565
		9Лп	44	—	32,7	35,3	57
	II	55Лп	18	—	18,7	18,4	12
		32В 13Кло	44 22	— —	15,1 14,2	16,7 16,9	7 3
4/Н	I	100С	313	133	31,9	36,5	459
		70Е 30В	24 36	— —	18,2 14,6	20,7 13,6	7 3
4/О	I	96С	432	133	32,6	38,7	722
		4Е	40	—	29,7	26,6	31
	II	59Б 41В	39 41	— —	14,8 16,3	20,8 17,7	10 7
		I	73С	361	132	30,2	32,7
4/Р	II		13Лп	55	—	26,9	38,1
		4Д 10Е	22 33	— —	30,6 31,0	32,9 38,9	23 56
	II	52Лп	66	—	17,6	15,5	10
		26Кло 11Е 11В	55 22 33	— — —	13,7 10,7 9,5	13,1 12,6 14,4	5 2 2
4/С	I	72С	306	134	30,9	36,0	425
		14Е 14Лп	80 53	— —	28,8 29,8	30,8 40,3	80 84
	II	80Е 20В	93 90	— —	19,3 11,5	18,8 11,8	24 6
		I	60С	227	134	31,8	39,5
4/Т	II		24Е 16Лп	147 80	— —	30,9 30,4	30,7 36,3
		II	62Е 38В	53 120	— —	17,7 19,2	18,8 11,2
4/У	I		71С	283	134	30,7	37,9
		21Лп 8Е	63 47	— —	30,4 28,1	44,7 32,2	126 51
	II	85Е 15В	79 47	— —	18,9 13,4	19,6 12,8	22 4
		I	91С	295	133	30,5	36,4
4/Ф	II		9Е	52	—	27,6	27,9
		53Е 47В	35 52	— —	16,4 20,1	21,0 15,8	10 9

**Примечание:** С — сосна, Е — ель, Лп — липа, В — вяз, Б — береза, Кло — клен остролистный, Д — дуб.

### Основные результаты и обсуждение

По результатам сплошного перечета деревьев вычислены значения запасов по элементам леса, по соотношению которых изучался породный состав и вертикальная структура сосновых древостоев. На протяжении многих десятилетий на ППП насаждения были представлены одноярусными одновозрастными чистыми сосновыми или сосново-еловыми древостоями. С 1980-х годов наметилась тенденция к внедрению в верхний полог широколиственных пород [7]. В настоящее время на всех ППП сосновые древостои сформированы двумя ярусами древесной растительности. Все пробные площади условно можно разделить на три группы по преобладающей породе второго яруса: 1) клен остролистный, 2) липа мелколистная и вяз гладкий, 3) ель обыкновенная. Породный состав древостоев по ярусам представлен на рисунках 2—4.

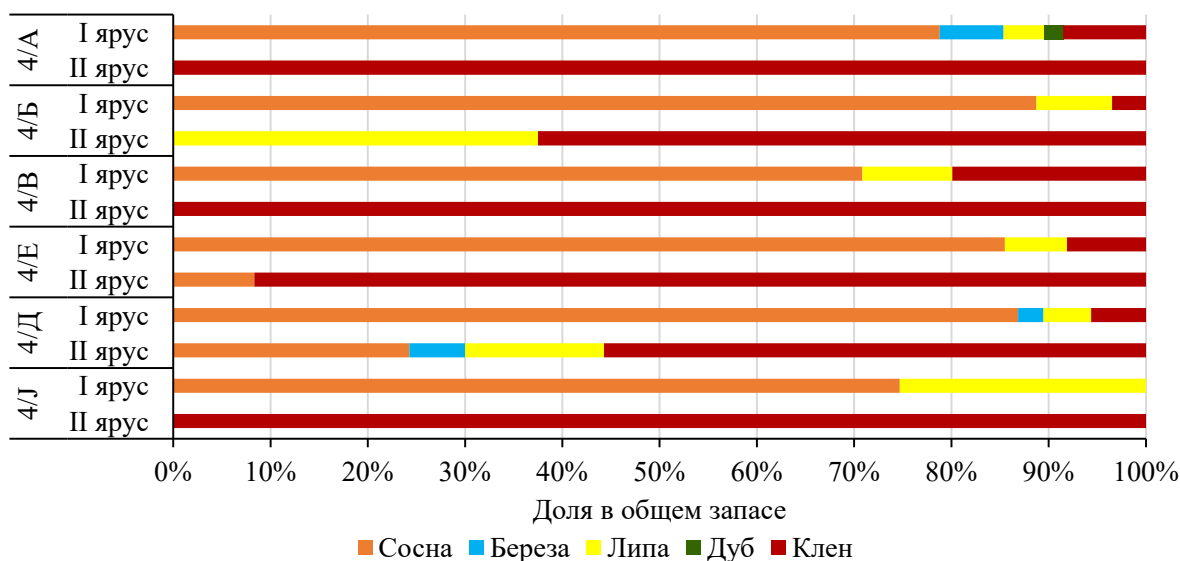


Рис. 2. Породный состав древостоев на ППП с преобладанием клена во втором ярусе

На рисунке 2 представлен породный состав древостоев с преобладанием во втором ярусе клена, доля участия которого достигает 100% (ППП 4/А и 4/Ж). На всех пробных площадях запас второго яруса превышает 40 м<sup>3</sup>/га, кроме пробной площади 4/Ж (24 м<sup>3</sup>/га). В первом ярусе присутствует липа, доля запаса которой составляет от 5 до 35%, а доля клена не превышает 10%. Сосна находится во втором ярусе только на ППП 4/Е и 4/Д в результате угнетения роста из-за неконтролируемой рекреации. Кроме того, на ППП 4/Д во втором ярусе присутствуют единичные деревья березы.

В древостоях с преобладанием липы и вяза во втором ярусе на эти породы суммарно приходится до 80% запаса (рис. 3). Запас деревьев второго яруса на данных пробных площадях не превышает 40 м<sup>3</sup>/га. Кроме того, на этих пробных площадях прослеживается активное внедрение липы в первый ярус, где ее доля по запасу составляет от 10 до 25%. Вместе с тем в древостоях с доминированием липы во втором ярусе отмечается более высокое разнообразие древесных пород по сравнению с древостоями, в которых во втором ярусе значительная доля приходится на клен. На пробных площадях 4/К, 4/Л, 4/М, 4/О и 4/Р отмечены семь видов древесных пород: сосна, ель, береза, липа, дуб, вяз и клен.

На рисунке 4 показан породный состав древостоев на ППП с преобладанием ели во втором ярусе. На пробной площади 4/Н ель сформировалась самосевом, а древостои пробных площадей 4/С, 4/Т, 4/У и 4/Ф создавались смешанной посадкой сосны и ели. В результате засухи в конце 1930-х годов практически вся ель в посадках выпала. Запас

второго яруса ни на одной из пробных площадей не превышает 30 м<sup>3</sup>/га. В нем кроме ели значительную долю имеет вяз (от 20 до 45%). Первый ярус сформирован главным образом сосной с незначительным участием (до 30%) ели и липы.

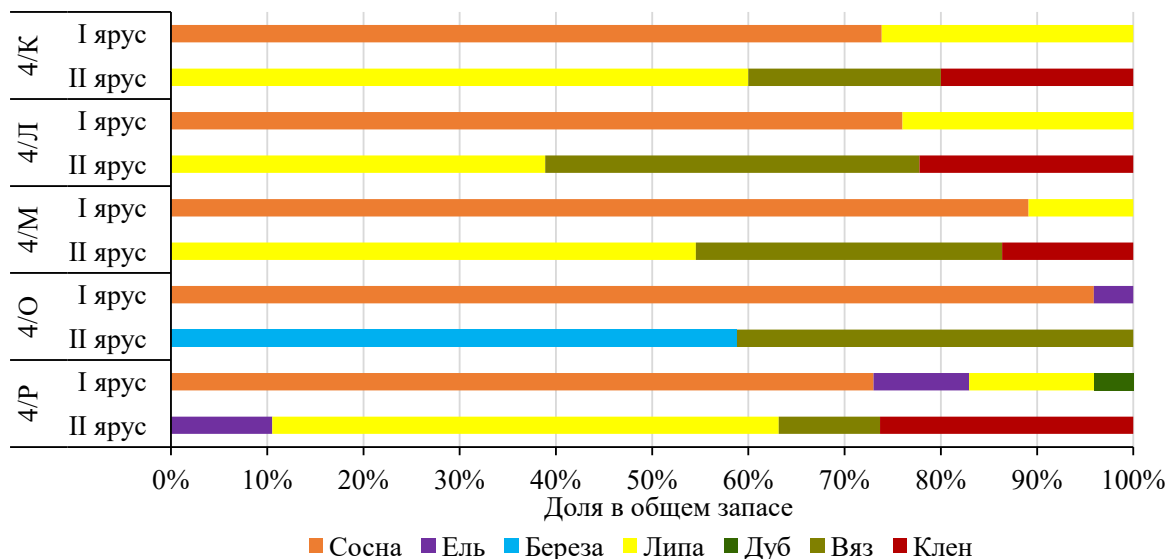


Рис. 3. Породный состав древостоев на ППП с преобладанием липы и вяза во втором ярусе

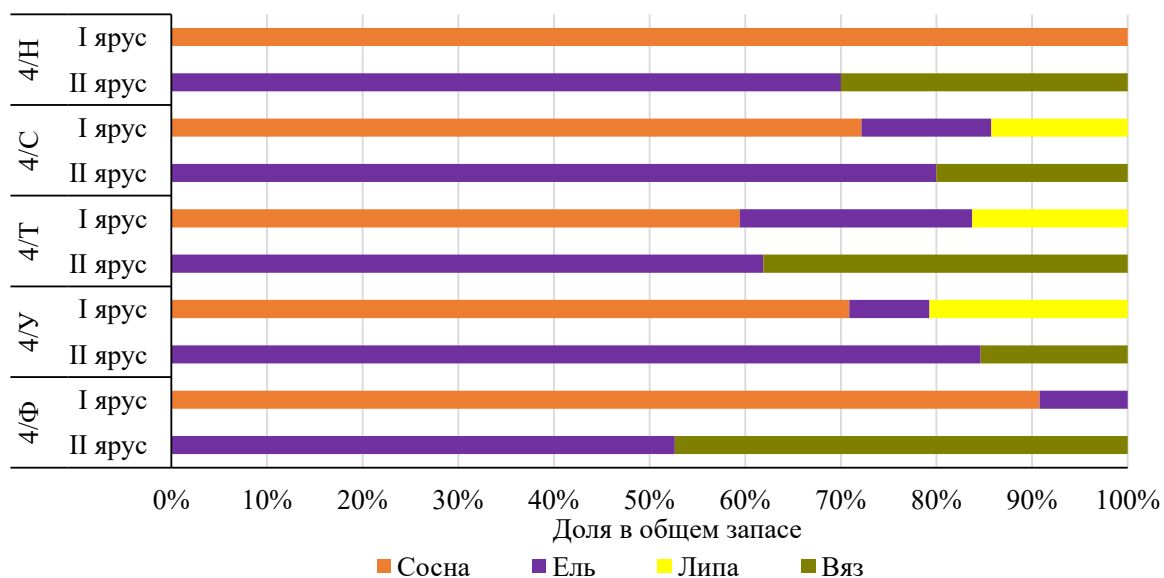


Рис. 4. Породный состав древостоев на ППП с преобладанием ели во втором ярусе

Для характеристики структуры популяций древесных растений применяются методы, основанные на расчете центральных моментов распределения деревьев по диаметрам стволов. В таблице 2 приведены описательные статистики рядов распределения деревьев сосны по толщине на постоянных пробных площадях. Рассчитанные коэффициенты вариации находятся в диапазоне от 15,5 до 28,3%, поэтому изменчивость диаметров деревьев характеризуется как средняя. На всех ППП форма распределения значительно отличается от симметричной относительно среднего значения кривой нормального распределения, которая имеет нулевые значения коэффициентов асимметрии и эксцесса. Считается [3; 16], что в спелых древостоях, не подверженных хозяйственному воздействию и действию негативных факторов, распределение числа деревьев по диаметрам

приближается по форме к нормальной кривой, а в дальнейшем в сторону положительно скошенных кривых. Таким образом, на пробных площадях под действием внешних факторов происходит трансформация рядов распределения в сторону асимметричных и эксцессивных кривых.

Таблица 2

Описательные статистики рядов распределения деревьев сосны по толщине

Номер ППП	<i>mean</i>	<i>qmean</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>sd</i>	<i>As</i>	<i>Ex</i>	<i>CV</i>	<i>n</i>
4/А	33,8	34,7	16,7	56,0	7,7	0,23	0,20	22,9	62
4/Б	33,9	34,6	15,9	46,6	6,9	-0,32	-0,32	20,3	67
4/В	32,4	33,0	19,4	45,5	6,5	0,07	-0,86	20,0	58
4/Е	35,5	36,3	11,3	47,8	7,6	-0,70	0,17	21,4	67
4/Д	30,1	31,1	12,1	50,3	7,8	0,25	-0,17	26,0	79
4/И	36,4	37,3	18,1	49,0	8,3	-0,35	-0,03	22,8	20
4/К	30,3	30,7	21,5	38,3	4,7	-0,28	-0,55	15,5	24
4/Л	32,8	33,3	22,8	45,0	6,0	0,38	-0,76	18,2	22
4/М	32,2	32,7	22,3	48,1	5,5	0,86	1,65	17,0	26
4/Н	34,2	35,5	8,6	48,7	9,7	-0,60	0,37	28,3	28
4/О	38,0	38,7	20,2	50,6	7,1	-0,44	0,32	18,7	32
4/Р	31,4	32,3	20,7	56,1	7,4	1,15	2,21	23,7	35
4/С	34,8	35,4	18,3	47,2	6,8	-0,16	0,19	19,4	24
4/Т	38,4	39,6	22,5	56,1	9,6	0,28	-0,14	25,1	17
4/У	37,3	37,9	23,4	51,7	6,6	0,16	0,68	17,6	18
4/Ф	35,5	36,5	22,0	49,5	8,5	0,29	-1,23	24,1	17

**Условные обозначения:** *mean* — средняя арифметическая, *qmean* — средняя квадратическая, *min* — минимальное значение, *max* — максимальное значение, *sd* — среднеквадратическое отклонение, *As* — коэффициент асимметрии, *Ex* — коэффициент эксцесса, *CV* — коэффициент вариации, %, *n* — количество наблюдений.

Традиционным способом характеристики строения насаждений по диаметру является распределение деревьев по ступеням толщины. По мере увеличения возраста насаждения ряды распределения деревьев по диаметру, как правило, растягиваются. Из-за уменьшения числа деревьев в насаждении график становится более плоским. Двухвершинный график возникает в случае разделения насаждения на главный и подчиненный полог, например после подселения подроста под основной полог и его выхода во второй ярус. Распределение деревьев по ступеням толщины в смешанных насаждениях, состоящих из светолюбивых и теневыносливых древесных пород, также характеризуется двух- или многовершинными кривыми [10].

А. В. Тюриным [27] на основании обработки большого объема экспериментальных материалов было выявлено, что при рассмотрении ступеней толщины, выраженных в десятых долях от среднего диаметра (естественные ступени толщины), в естественно формирующихся древостоях диаметры деревьев находятся в диапазоне от 0,5 до 1,7. Значительное смещение от этой закономерности прослеживается для пробных площадей 4/В (от 0,6 до 1,4), 4/Е (от 0,3 до 1,3), 4/К (от 0,7 до 1,2), 4/Л (от 0,7 до 1,3), 4/Н (от 0,2 до 1,4). В среднем крайняя наибольшая естественная ступень толщины имеет значение 1,4, а наименьшая — 0,5. Поэтому относительно теоретической закономерности на ППП наблюдается меньшее количество крупномерных стволов.

Для каждой из трех выделенных групп пробных площадей по преобладающим древесным породам подчиненного яруса изучено распределение деревьев по ступеням тол-



щины (рис. 5—7). В качестве типичных выбраны пробные площади 4/В (преобладание клена во втором ярусе), 4/М (преобладание липы и вяза во втором ярусе) и 4/С (преобладание ели во втором ярусе).

Анализ распределения деревьев по ступеням толщины на ППП 4/В показал, что для сосны максимум приходится на 36-ю ступень, толщина варьирует в пределах 24—44 см, молодое поколение не формируется (рис. 5). Для липы диапазон толщин составил от 24 до 48 см с преобладанием в 36-й ступени. Для клена значения толщин сконцентрированы в 12-й ступени, а также отмечается самый большой диапазон изменчивости — от 8 до 36 см, следовательно, на ППП происходит трансформация структуры древостоя из простого в сложный за счет внедрения лиственных пород в первый и второй ярусы, которые сформированы несколькими генерациями. Аналогичная тенденция прослеживается на ППП 4/А, 4/Б, 4/Е, 4/Д и 4/Л.

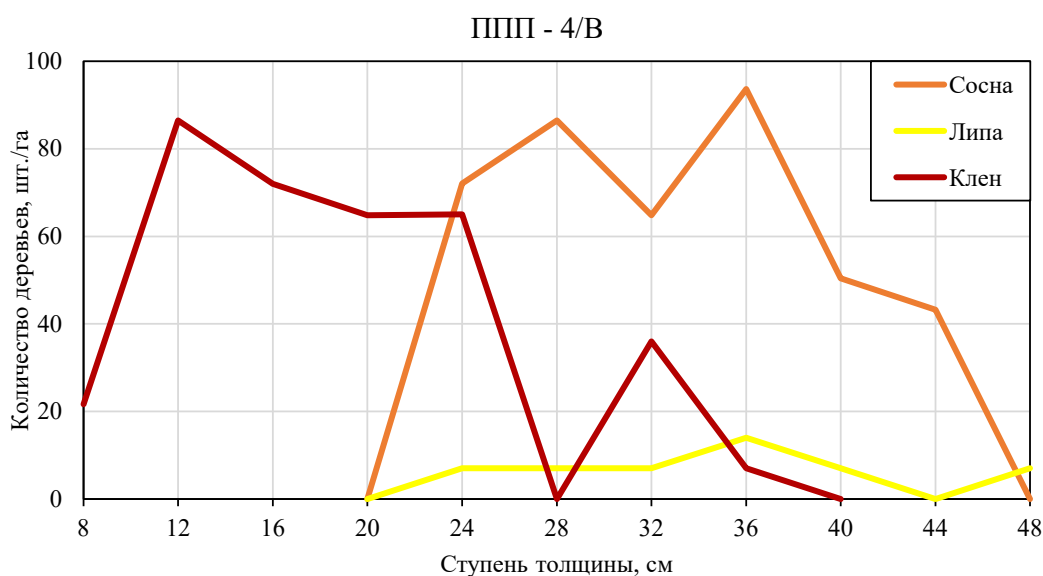


Рис. 5. Распределение деревьев по ступеням толщины с преобладанием клена в подчиненном пологе сосновой формации

По данным рисунка 6 видно, что наибольшее количество деревьев сосны сконцентрировано в ступени толщины 32 см, а значения диаметров стволов варьируют от 24 до 48 см. Липа занимает самый растянутый ряд распределения от 8 до 40 см, что свидетельствует о наличии нескольких генераций данной породы и ее полночленности. Вяз преимущественно находится в диапазоне от 8 до 16 см, более взрослые деревья отмечены в 28-й ступени толщины. Распределение деревьев по ступеням толщины на ППП 4/В имеет широкий размах варьирования от 8 до 48 см, что характеризует данный древостой как устойчивый. Аналогичная тенденция прослеживается на ППП 4/К, 4/Л, 4/О, 4/Р.

На пробных площадях с преобладанием ели во втором ярусе сосна занимает наименьший диапазон распределения — от 28 до 48 см (рис. 7). Деревья, находящиеся в 20 см ступени толщины, угнетенные и ослабленные. Липа находится в диапазоне от 36 до 48 см, что указывает на более раннее внедрение в сосновый древостой. Вяз сосредоточен в 12 см ступени толщины. На данном этапе сукцессионного ряда древостоя сформировано несколько поколений еловой популяции, сконцентрированной в 16 см ступени толщины. Однако ель в данных условиях нежизнеспособна и постепенно уйдет в отпад, что подтверждается выводами А. Р. Варгаса де Бедемара, В. П. Тимофеева [8; 26].

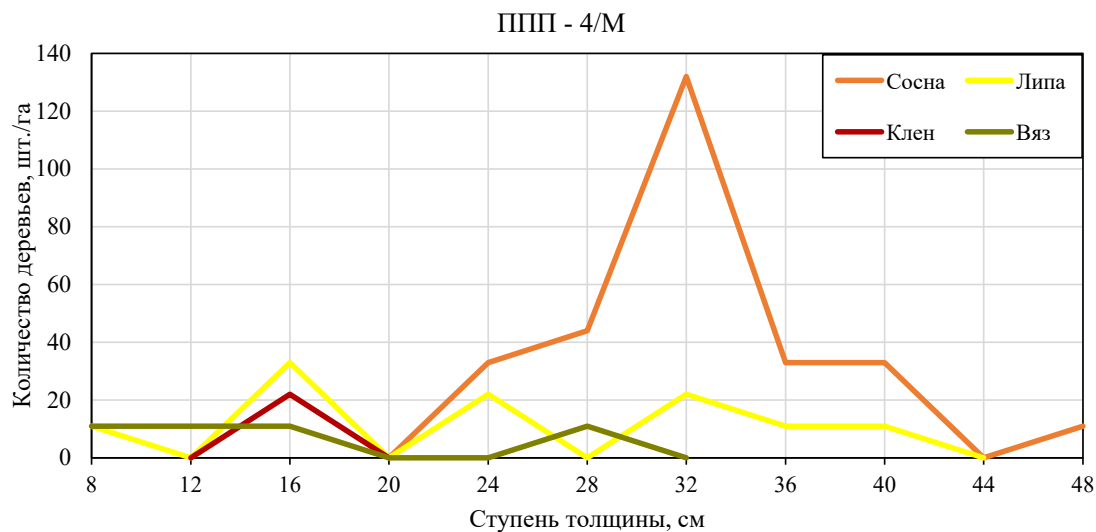


Рис. 6. Распределение деревьев по ступеням толщины с преобладанием липы и вяза в подчиненном пологе сосновой формации

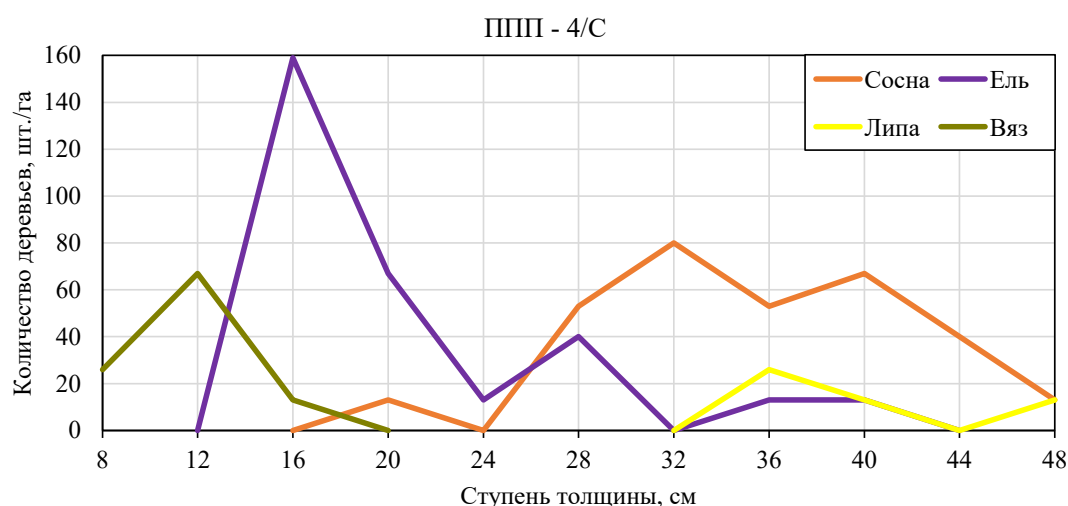


Рис. 7. Распределение деревьев по ступеням толщины с преобладанием ели в подчиненном пологе сосновой формации

Полученные в результате исследования данные позволяют решать ряд теоретических и практических задач не только для качественной и количественной оценки экосистем, но и для разработки лесохозяйственных приемов управления и формирования в дальнейшем наиболее продуктивных и устойчивых лесов. Считается, что устойчивость производных лесных экосистем к комплексному воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды, как правило, понижена [1; 41].

В настоящий момент в сосновых фитоценозах г. Москвы протекает последовательная закономерная смена одного биоценоза на другой в результате изменения климатических характеристик и высокого рекреационного использования, что в совокупности приводит к трансформации хвойных к смешанным хвойно-лиственным фитоценозам со сложной структурой. Вместе с тем прослеживается процесс увеличения доли наиболее устойчивых к урбанизированным условиям (рекреация и техногенное воздействие) древесных пород: липы, клена и вяза. Прослеживается тенденция восстановления хвойно-широко-

лиственных лесов из-за увеличения среднегодовых температур, повышения годового количества осадков и создания особой климатической системы внутри города [7; 19; 34].

### Заключение

В спелых сосновых древостоях Москвы на фоне происходящих климатических изменений, повышенного техногенного и рекреационного использования территории протекают естественные сукцессионные процессы. В результате проведенного исследования выделены три группы формаций на постоянных пробных площадях на основании преобладающих пород во втором ярусе: 1) клена, 2) липы и вяза, 3) ели. Выявлено, что в большинстве случаев наблюдается смена сосны на лиственные породы. Трансформация структуры в сосновых формациях закономерна, так как сосна относится к светолюбивым древесным породам и не формирует удовлетворительного естественного возобновления под пологом.

Выявлено, что лиственные породы, находящиеся в более высоких ступенях толщины, формируют молодое поколение и тем самым растягивают ряд распределения деревьев по ступеням толщины. Наличие нескольких поколений лиственных пород (клен и липа) указывает на то, что процесс трансформации структуры сосновых фитоценозов начался примерно в 1960—1970-х гг. и продолжается до настоящего времени. В дальнейшем это приведет к восстановлению хвойно-широколиственных лесов на урбанизированной территории Лесной опытной дачи.

При проведении лесокультурных работ в городских условиях необходимо избегать создания монокультур сосны с простой структурой. Желательно создавать смешанные разновозрастные древостои. Только в этом случае можно рассчитывать на формирование гетерогенных фитоценозов, способных выполнять экологические, эстетические и рекреационные функции и обладающих устойчивостью к комплексу негативных факторов урбанизированных территорий.

### Список источников

1. Абатуров А. В., Меланхолин П. Н. Естественная динамика леса на постоянных пробных площадях в Подмоскovie / Рос. акад. наук, Ин-т лесоведения. Тула : Гриф и К°, 2004. 333 с.
2. Белов С. В. Лесоводство. М. : Лесная промышленность, 1983. 352 с.
3. Гавриков В. Л. Моделирование роста деревьев и древостоев в контексте углеродного цикла : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Якутск, 2016. 39 с.
4. Гостева С. Р. Экологическая безопасность России и устойчивое развитие // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2010. Т. 16, № 3. С. 704—718.
5. Демаков Ю. П. Структура и закономерности развития лесов Республики Марий Эл. Йошкар-Ола : Поволж. ГТУ, 2018. 432 с.
6. Демаков Ю. П., Нурева Т. В. Закономерности изменения рангового положения деревьев по их размерам в ценопопуляциях сосны обыкновенной // Лесоведение. 2019. № 4. С. 274—285. DOI: 10.1134/S0024114819030021.
7. Дубенок Н. Н., Кузьмичев В. В., Лебедев А. В. Результаты экспериментальных работ за 150 лет в Лесной опытной даче Тимирязевской сельскохозяйственной академии. М. : Наука, 2020. 382 с.
8. Дубенок Н. Н., Лебедев А. В., Кузьмичев В. В. Изменение роста древостоев лиственницы в Москве по данным долговременных наблюдений // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 3. С. 56—61. DOI: 10.31857/S2500262722030115.
9. Залесов С. В., Ведерников Е. А., Залесова Е. С., Иванчина Л. А., Эфа Д. Э. Определение санитарного состояния древостоев // Успехи современного естествознания. 2018. № 4. С. 54—61.
10. Киселева В. В., Коротков С. А., Истомин Н. А., Стоноженко Л. В. К структуре ценопопуляций ели на пробных площадях в Национальном парке «Лосиный остров» // Вестник Московского государственного университета леса = Лесной вестник. 2012. № 4. С. 23—31.
11. Корчагин А. А. Строение растительных сообществ // Полевая геоботаника. Л. : Наука, 1976. Т. 5. 313 с.
12. Кузнецова Н. Ф., Сауткина М. Ю. Состояние лесов и динамика их породного состава в Центральном федеральном округе // Лесохозяйственная информация : электронный сетевой журнал. 2019. № 2.

С. 25—45. URL: <http://lhi.vniilm.ru/index.php/ru/kuznetsova-n-f-sautkina-m-yu-sostoyanie-lesov-i-dinamika-ikh-porodnogo-sostava-v-tsentralnom-federalnom-okruge>. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2019.2.03.

13. Кузьмичев В. В. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели. Новосибирск : Наука, 2013. 208 с.

14. Кузьмичев В. В. Закономерности роста древостоев. Новосибирск : Наука, 1977. 157 с.

15. Кутявин И. Н., Манов А. В., Осипов А. Ф., Кузнецов М. А. Строение древостоев северотаежных сосняков // Известия вузов. Лесной журнал. 2021. № 2. С. 86—105. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-86-105.

16. Лебедев А. В. Обобщенная модель распределения диаметров деревьев в сосновых древостоях // Лесной вестник = Forestry Bulletin. 2022. Т. 26, № 4. С. 53—62. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-53-62.

17. Лебков В. Ф. Типы строения древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 12—20.

18. Лежнев Д. В., Глазунов Ю. Б., Коротков С. А., Андреев Г. А. Динамика сосняков сложных в условиях ближнего Подмосковья // Организмы, популяции и сообщества в трансформирующейся среде : сб. материалов XVII Междунар. науч. экологической конф., Белгород, 22—24 ноября 2022 г. / под ред. Ю. А. Присного. Белгород : Белгородский гос. национ. исслед. ун-т, 2022. С. 102—105.

19. Лежнев Д. В., Меняева В. А., Кривошапов Н. Ф. Структура сосняков сложных национального парка «Лосиный остров» // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : материалы XX Междунар. науч.-тех. конф., Вологда, 06 декабря 2022 г. / отв. ред. Е. А. Иванищева. Вологда : Вологодский гос. ун-т, 2022. С. 152—158.

20. Михайлова М. И. Состояние, рост и продуктивность экотипов сосны обыкновенной в географических лесных культурах Воронежской области : дис. ... канд. с/х наук. Воронеж, 2022. 219 с.

21. Наумов В. Д., Поветкина Н. Л., Лебедев А. В., Гемонов А. В. Географические культуры сосны в лесной опытной даче Тимирязевской академии: К 180-летию М. К. Турского. М. : МЭСХ, 2019. 182 с.

22. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / В. В. Загребев, В. И. Сухих, А. З. Швиденко, Н. Н. Гусев, А. Г. Мошкалев. М. : Колос, 1992. 495 с.

23. Осипов А. Ф., Кутявин И. Н., Торлопова Н. В., Робакидзе Е. А., Бобкова К. С. Строение древостоев среднетаежных сосняков лишайниковых на европейском северо-востоке России // Вестник Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2018. № 4 (206). С. 2—9. DOI: 10.31140/j.vestnikib.2018.4(206).1.

24. Санников С. Н., Петрова И. В. Филогенгеография и генотаксономия популяций вида *Pinus sylvestris* L. // Экология. 2012. № 4. С. 252—260.

25. Сукачев В. Н., Зонн С. В. Методические указания к изучению типов леса. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.

26. Тимофеев В. П. Итоги экспериментальных работ в Лесной опытной даче ТСХА за 1862—1962 годы. М., 1964. 519 с.

27. Тюрин А. В. Исследование хода роста нормальных сосновых насаждений в Архангельской губернии. СПб. : [Б. и], 1913. 135 с.

28. Управление Федеральной службы государственной статистики по г. Москве и Московской области. URL: <https://mosstat.gks.ru> (дата обращения: 30.01.2023).

29. Цветков В. Ф. Сосняки Кольской лесорастительной области и ведение хозяйства в них. Архангельск : Изд-во АГТУ, 2002. 380 с.

30. Coomes D. A., Allen R. B. Mortality and tree-size distributions in natural mixed-age forests // Journal of Ecology. 2007. Vol. 95. P. 27—40. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2006.01179.x.

31. 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, N 1. P. 23—49. DOI: 10.1007/s10342-015-0927-6.

32. Meigs G. W., Case M. J., Churchill D. J., Hersey Ch. M., Jeronimo S. M. A., Smith L. A. C. Drought, wildfire and forest transformation: characterizing trailing edge forests in the eastern Cascade Range, Washington, USA // Forestry: An International Journal of Forest Research. 2022. Vol. 96, iss. 3. DOI: 10.1093/forestry/cpac046.

33. Hagmann R. K. [et al.] Evidence for widespread changes in the structure, composition, and fire regimes of western North American forests // Ecological Applications. 2021. Vol. 31, N 8. Article e02431. DOI: 10.1002/eap.2431.

34. Lebedev A. V. Changes in the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in an urban environment in European Russia since 1862 // Journal of Forestry Research. 2022. DOI: 10.1007/s11676-022-01569-z.

35. Lindner M. [et al.] Climate change and European forests: what do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? // Journal of Environmental Management. 2014. Vol. 146. P. 69—83. DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.07.030.

36. Linkevičius E. [et al.] Variability in Growth Patterns and Tree-Ring Formation of East European Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Provenances to Changing Climatic Conditions in Lithuania // *Forests*. 2022. Vol. 13, N 5, 743. DOI: 10.3390/f13050743.
37. Mason W. L., Alía R. Current and future status of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests in Europe // *Forest Systems*. 2000. Vol. 9. P. 317—335.
38. Millar C. I., Stephenson N. L. Temperate forest health in an era of emerging megadisturbance // *Science*. 2015. Vol. 349, N 6250. P. 823—826. DOI: 10.1126/science.aaa9933.
39. Ramsfield T. D., Bentz B. J., Faccoli M., Jactel H., Brockerhoff E. G. Forest health in a changing world: effects of globalization and climate change on forest insect and pathogen impacts // *Forestry*. 2016. Vol. 89, N 3. P. 245—252. DOI: 10.1093/forestry/cpw018.
40. Rjabuchina M. V., Ryabinina Z. N., Kalyakina R. G., Gerasimenko V. V., Maiski R. A. Some structural patterns of the stand of Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) in the conditions of Zavolzhsky — Obshchy Syrt province // *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2020. Vol. 1655. Art. 012026. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1655/1/012026/pdf>. DOI: 10.1088/1742-6596/1655/1/012026.
41. Szmyt J., Korzeniewicz R. Do natural processes at the juvenile stage of stand development differentiate the spatial structure of trees in artificially established forest stands? // *Leśne Prace Badawcze = Forest Research Papers*. 2014. Vol. 75, N 2. P. 171—179. DOI: 10.2478/frp-2014-0016.
42. Williams A. P., Cook B. I., Smerdon J. E. Rapid intensification of the emerging southwestern North American megadrought in 2020—2021 // *Nature Climate Change*. 2022. Vol. 12, N 3. P. 232—234. DOI: 10.1038/s41558-022-01290-z.

## References

1. Abaturon A. V., Melankholin P. N. *Estestvennaya dinamika lesa na postoyannykh probnykh ploshchadyakh v Podmoskov'e* [Natural forest dynamics on permanent trial plots in the Moscow region]. Tula, Grif i K° Publ., 2004. 333 p. (In Russian)
2. Belov S. V. *Lesovodstvo* [Forestry]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1983. 352 p. (In Russian)
3. Gavrikov V. L. *Modelirovanie rosta derev'ev i drevostoev v kontekste uglerodnogo tsikla: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk* [Modeling the growth of trees and forest stands in the context of the carbon cycle. Dr. Dis.]. Yakutsk, 2016. 39 p. (In Russian)
4. Gosteva S. R. *Ekologicheskaya bezopasnost' Rossii i ustoichivoe razvitie* [Ecological Safety of Russia and Sustainable Development]. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2010, vol. 16, no. 3, pp. 704—718. (In Russian)
5. Demakov Yu. P. *Struktura i zakonomernosti razvitiya lesov Respubliki Marii El* [Structure and patterns of development of forests in the Republic of Mari El]. Yoshkar-Ola, Povolzh. GTU Publ., 2018. 432 p. (In Russian)
6. Demakov Yu. P., Nureeva T. V. *Zakonomernosti izmeneniya rangovogo polozheniya derev'ev po ikh razmeram v tsenopopulyatsiyakh sosny obyknovЕННОЙ* [Features of evolution of a tree size rank in coenopopulations of Scots pine]. *Lesovedenie — Russian Journal of Forest Science*, 2019, no. 4, pp. 274—285. DOI: 10.1134/S0024114819030021. (In Russian)
7. Dubenok N. N., Kuz'michev V. V., Lebedev A. V. *Rezul'taty eksperimental'nykh rabot za 150 let v Lesnoi opytnoi dache Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [The results of experimental work for 150 years in the Forest Experimental Dacha of the Timiryazev Agricultural Academy]. Moscow, Nauka Publ., 2020. 382 p. (In Russian)
8. Dubenok N. N., Lebedev A. V., Kuz'michev V. V. *Izmenenie rosta drevostoev listvennitsy v Moskve po dannym dolgovremennykh nablyudenii* [Changes in the growth of larch stands in Moscow according to the data of long-term observations]. *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka*, 2022, no. 3, pp. 56—61. DOI: 10.31857/S2500262722030115. (In Russian)
9. Zalesov S. V., Vedernikov E. A., Zalesova E. S., Ivanchina L. A., Efa D. E. *Opreделение sanitarnogo sostoyaniya drevostoev* [Determination of the sanitary state of forest stands]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya — Advances in Current Natural Sciences*, 2018, no. 4, pp. 54—61. (In Russian)
10. Kiseleva V. V., Korotkov S. A., Istomin N. A., Stonozhenko L. V. *K strukture tsenopopulyatsii eli na probnykh ploshchadyakh v Natsional'nom parke "Losinyi ostrov"* [To the structure of spruce coenopopulations on permanent observation plots of the National park Losinyi ostrov]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa = Lesnoi vestnik — Forestry Bulletin*, 2012, no. 4, pp. 23—31. (In Russian)
11. Korchagin A. A. *Stroenie rastitel'nykh soobshchestv* [Structure of plant communities]. *Polevaya geobotanika* [Field geobotany]. Leningrad, Nauka Publ., 1976, vol. 5, 313 p. (In Russian)
12. Kuznetsova N. F., Sautkina M. Yu. *Sostoyanie lesov i dinamika ikh porodnogo sostava v Tsentral'nom federal'nom okruge* [Forest State and Dynamics of their Species Composition in the Central Federal District].

- Lesokhozyaistvennaya informatsiya: elektronnyi setevoi zhurnal — Forestry Information*, 2019, no. 2, pp. 25—45. Available at: <http://lhi.vniilm.ru/index.php/ru/kuznetsova-n-f-sautkina-m-yu-sostoyanie-lesov-i-dinamika-ikh-porodnogo-sostava-v-tsentralnom-federalnom-okruge>. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2019.2.03. (In Russian)
13. Kuz'michev V. V. *Zakonomernosti dinamiki drevostoev: printsipy i modeli* [Patterns of forest stand dynamics: principles and models]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2013. 208 p. (In Russian)
14. Kuz'michev V. V. *Zakonomernosti rosta drevostoev* [Patterns of growth of forest stands]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977. 157 p. (In Russian)
15. Kutyavin I. N., Manov A. V., Osipov A. F., Kuznetsov M. A. Stroenie drevostoev severotaezhnykh sosnyakov [Stand Structure of Northern Taiga Pine Forests]. *Izvestiya vuzov. Lesnoi zhurnal — Russian Forestry Journal*, 2021, no. 2, pp. 86—105. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-86-105. (In Russian)
16. Lebedev A. V. Obobshchennaya model' raspredeleniya diametrov derev'ev v osnovnykh drevostoyakh [Generalized model of pine trees diameter distribution]. *Lesnoi vestnik — Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 53—62. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-53-62. (In Russian)
17. Lebkov V. F. Tipy stroeniya drevostoev [Types of structure of forest stands]. *Lesovedenie — Russian Journal of Forest Science*, 1989, no. 4, pp. 12—20. (In Russian)
18. Lezhnev D. V., Glazunov Yu. B., Korotkov S. A., Andreev G. A. Dinamika sosnyakov slozhnykh v usloviyakh blizhnego Podmoskov'ya [Dynamics of complex pine forests in the conditions of the near Moscow region]. *Organizmy, populyatsii i soobshchestva v transformiruyushcheysya srede: sbornik materialov XVII Mezhdunar. nauch. ekologicheskoi konf., Belgorod, 22—24 noyabrya 2022 g., pod red. Yu. A. Prisnoy* [Organisms, populations and communities in a transforming environment. Proceed. of the XVII Internat. sci. ecological conf., Belgorod, Nov. 22—24, 2022. Ed. by Yu. A. Prisnoy]. Belgorod, Belgorodskii gos. natsion. issled. un-t Publ., 2022, pp. 102—105. (In Russian)
19. Lezhnev D. V., Menyayeva V. A., Krivoshepov N. F. Struktura sosnyakov slozhnykh natsional'nogo parka "Losinyi ostrov" [The structure of complex pine forests of the national park "Losiny Ostrov"]. *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: materialy XX Mezhdunar. nauch.-tekh. konf., Vologda, 06 dekabrya 2022 g. Otv. red. E. A. Ivanishcheva* [Urgent problems of the development of the forest complex. Proceed. of the XX Internat. sci.-tech. conf., Vologda, Dec. 06, 2022. Ed. by E. A. Ivanishcheva]. Vologda, Vologodskii gos. un-t Publ., 2022, pp. 152—158. (In Russian)
20. Mikhailova M. I. *Sostoyanie, rost i produktivnost' ekotipov sosny obyknovvennoi v geograficheskikh lesnykh kul'turakh Voronezhskoi oblasti: dis. ... kand. s/kh nauk* [Status, growth and productivity of Scots pine ecotypes in geographical forest cultures of the Voronezh region. Cand. Dis.]. Voronezh, 2022. 219 p. (In Russian)
21. Naumov V. D., Povetkina N. L., Lebedev A. V., Gemonov A. V. *Geograficheskie kul'tury sosny v lesnoi opytnoi dache Timiryazevskoi akademii: K 180-letiyu M. K. Turskogo* [Geographical cultures of pine in the experimental forest dacha of the Timiryazev Academy: To the 180<sup>th</sup> anniversary of M. K. Tursky]. Moscow, MESKh Publ., 2019. 182 p. (In Russian)
22. Zagreev V. V., Sukhikh V. I., Shvidenko A. Z., Gusev N. N., Moshkalev A. G. *Obshchesoyuznye normativy dlya taksatsii lesov* [All-Union standards for forest inventory]. Moscow, Kolos Publ., 1992. 495 p. (In Russian)
23. Osipov A. F., Kutyavin I. N., Torloпова N. V., Robakidze E. A., Bobkova K. S. Stroenie drevostoev srednetaezhnykh sosnyakov lishainikovykh na evropeiskom severo-vostoke Rossii [The structure of stand in pine forests of Lichen type in middle Taiga conditions on European North-East of Russia]. *Vestnik Instituta biologii Komi nauchnogo tsentra Ural'skogo otdeleniya RAN*, 2018, no. 4 (206), pp. 2—9. DOI: 10.31140/j.vestnikib.2018.4(206).1. (In Russian)
24. Sannikov S. N., Petrova I. V. Filogenogeografiya i genotaksonomiya populyatsii vida *Pinus sylvestris* L. [Phylogenogeography and genotaxonomy of populations of the species *Pinus sylvestris* L.]. *Ekologiya*, 2012, no. 4, pp. 252—260. (In Russian)
25. Sukachev V. N., Zonn S. V. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa. 2-e izd., pererab. i dop.* [Guidelines for the study of forest types. 2<sup>nd</sup> ed., rev. and add.]. Moscow, Izd-vo AN SSSR Publ., 1961. 144 p. (In Russian)
26. Timofeev V. P. *Itogi eksperimental'nykh rabot v Lesnoi opytnoi dache TSKhA za 1862—1962 gody* [The results of experimental work in the Forest Experimental Dacha of the TSKhA over 1862—1962]. Moscow, 1964. 519 p. (In Russian)
27. Tyurin A. V. *Issledovanie khoda rosta normal'nykh osnovnykh nasazhdenii v Arkhangel'skoi gubernii* [Studying the growth of normal pine plantations in the Arkhangel'sk province]. St. Petersburg, 1913. 135 p. (In Russian)
28. *Upravlenie Federal'noi sluzhby gosudarstvennoi statistiki po g. Moskve i Moskovskoi oblasti* [Office of the Federal State Statistics Service for Moscow and the Moscow Region]. Available at: <https://mosstat.gks.ru>. Accessed: 30.01.2023. (In Russian)
29. Tsvetkov V. F. *Sosnyaki Kol'skoi lesorastitel'noi oblasti i vedenie khozyaistva v nikh* [Pine forests of the Kola forest region and management in them]. Arkhangel'sk, AGTU Publ., 2002. 380 p. (In Russian)

30. Coomes D. A., Allen R. B. Mortality and tree-size distributions in natural mixed-age forests. *Journal of Ecology*, 2007, vol. 95, pp. 27—40. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2006.01179.x.
31. 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, no. 1, pp. 23—49. DOI: 10.1007/s10342-015-0927-6.
32. Meigs G. W., Case M. J., Churchill D. J., Hersey Ch. M., Jeronimo S. M. A., Smith L. A. C. Drought, wildfire and forest transformation: characterizing trailing edge forests in the eastern Cascade Range, Washington, USA. *Forestry: An International Journal of Forest Research*. 2022, vol. 96, iss. 3. DOI: 10.1093/forestry/cpac046.
33. Hagemann R. K. [et al.] Evidence for widespread changes in the structure, composition, and fire regimes of western North American forests. *Ecological Applications*, 2021, vol. 31, no. 8. Article e02431. DOI: 10.1002/eap.2431.
34. Lebedev A. V. Changes in the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in an urban environment in European Russia since 1862. *Journal of Forestry Research*. 2022. DOI: 10.1007/s11676-022-01569-z.
35. Lindner M. [et al.] Climate change and European forests: what do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? *Journal of Environmental Management*, 2014, vol. 146, pp. 69—83. DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.07.030.
36. Linkevičius E. [et al.] Variability in Growth Patterns and Tree-Ring Formation of East European Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Provenances to Changing Climatic Conditions in Lithuania. *Forests*, 2022, vol. 13, no. 5, 743. DOI: 10.3390/f13050743.
37. Mason W. L., Alía R. Current and future status of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests in Europe. *Forest Systems*, 2000, vol. 9, pp. 317—335.
38. Millar C. I., Stephenson N. L. Temperate forest health in an era of emerging megadisturbance. *Science*, 2015, vol. 349, no. 6250, pp. 823—826. DOI: 10.1126/science.aaa9933.
39. Ramsfield T. D., Bentz B. J., Faccoli M., Jactel H., Brockerhoff E. G. Forest health in a changing world: effects of globalization and climate change on forest insect and pathogen impacts. *Forestry*, 2016, vol. 89, no. 3, pp. 245—252. DOI: 10.1093/forestry/cpw018.
40. Rjabuchina M. V., Ryabinina Z. N., Kalyakina R. G., Gerasimenko V. V., Maiski R. A. Some structural patterns of the stand of Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) in the conditions of Zavolzhsky — Obshchy Syrt province. *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2020, vol. 1655v art. 012026. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1655/1/012026/pdf>. DOI: 10.1088/1742-6596/1655/1/012026.
41. Szmyt J., Korzeniewicz R. Do natural processes at the juvenile stage of stand development differentiate the spatial structure of trees in artificially established forest stands? *Leśne Prace Badawcze = Forest Research Papers*, 2014, vol. 75, no. 2, pp. 171—179. DOI: 10.2478/frp-2014-0016.
42. Williams A. P., Cook B. I., Smerdon J. E. Rapid intensification of the emerging southwestern North American megadrought in 2020—2021. *Nature Climate Change*, 2022, vol. 12, no. 3, pp. 232—234. DOI: 10.1038/s41558-022-01290-z.

#### Информация об авторах

**Д. В. Лежнев** — аспирант, лаборант-исследователь

**А. В. Лебедев** — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

#### Information about the authors

**D. V. Lezhnev** — Postgraduate Student, Research Laboratory Assistant

**A. V. Lebedev** — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Статья поступила в редакцию 22.02.2023; одобрена после рецензирования 17.03.2023;  
принята к публикации 20.05.2023

The article was submitted 22.02.2023; approved after reviewing 17.03.2023;  
accepted for publication 20.05.2023