

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-104-114>

УДК 630*:581.5



ТАКСАЦИОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСОБЕННОСТЕЙ ЛЕСНОГО ФОНДА БАРНАУЛЬСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА АЛТАЙСКОГО КРАЯ

А.А. Малиновских[✉], И.В. Гефке, М.А. Савин, А.С. Чичкарев

Алтайский государственный аграрный университет; 656049, Алтайский край, г. Барнаул, пр-кт Красноармейский, 98, Россия

Аннотация. Исследования проведены с целью выявления лесоводственных и таксационных особенностей насаждений в Барнаульском лесничестве Алтайского края, расположенном в пригородной зоне г. Барнаула. Были выбраны участки лесного фонда на разном расстоянии от черты г. Барнаула: в зоне густой сети дорог и населенных пунктов (0-15 км) и в зоне менее интенсивной инфраструктуры (37 км). С использованием методов экологических профилей, вариационной статистики, сравнительного анализа, лесной таксации обработаны таксационные материалы 32 лесных кварталов, включающие в себя данные 718 лесотаксационных выделов. Используя двухфакторный дисперсионный анализ установили, что отдельные изученные показатели лесных насаждений (средняя высота, полнота, класс бонитета и запас на 1 га) имеют зависимость от типа леса. Таксационные показатели древостоев в пригородном массиве (кроме среднего запаса на 1 га) не имеют достоверной зависимости от черты г. Барнаула. Дисперсионный анализ применительно к естественному возобновлению главной породы показал, что средняя высота и густота зависят от типа леса, а удаление от черты города влияет только на среднюю густоту. Высокие значения встречаемости (65,4-89,5%) подроста отмечены в свежем бору, в травяном бору ниже (15,5-48,4%), но встречаемость увеличивается по мере удаления от города в обоих типах леса. Клен ясенелистный находит свою экологическую нишу преимущественно в травяном бору, вытесняя местные виды растений, препятствуя естественному возобновлению сосны. Предварительно установлено, что параметры лесных насаждений в пригородных сосняках Барнаула зависят от типа леса, проявляя разную структурную и позиционную устойчивость по отношению к антропогенным факторам.

Ключевые слова: лесной фонд, древостой, подрост, подлесок, тип леса, сосна обыкновенная, пригородные леса, устойчивость насаждений

Формат цитирования: Малиновских А.А., Гефке И.В., Савин М.А., Чичкарев А.С. Таксационная характеристика особенностей лесного фонда Барнаульского лесничества Алтайского края // Природообустройство. 2024. № 1. С. 104-114. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-104-114>

Original article

TAXATION CHARACTERISTICS OF THE FEATURES OF THE FOREST FUND OF THE BARNAUL FORESTRY OF THE ALTAI TERRITORY

A.A. Malinovskikh[✉], I.V. Gefke, M.A. Savin, A.S. Chichkarev

Altai State Agricultural University, Krasnoarmeyskiyprospekt, 98, Altai Region, Barnaul, 656049, Russia

Abstract. The study was conducted in order to identify forestry and taxation features of forest plantations in the Barnaul forestry of the Altai Territory, located in the suburban area of Barnaul. Areas of the forest fund were selected at different distances from the city of Barnaul: in the zone of a dense network of roads and settlements (0-15 km) and in the zone of less intensive infrastructure (37 km). Using the methods of ecological profiles, variation statistics, comparative analysis, and forest taxation, the taxation materials of 32 forest quarters were processed, including data from 718 forest taxation allotments. Using two-factor analysis of variance, it was found that the individual studied indicators of forest plantations (average height, completeness, bonus class and reserve per 1 ha) depend on the type of forest. The taxation indicators of stands in the suburban area (except for the average stock per 1 ha) do not have a reliable dependence on the features of Barnaul. The analysis of variance in relation to the natural renewal of the main breed showed that the average height and density depend on the type of forest, and the distance from the city limits affects only the average density. High values of occurrence (65.4-89.5%) of undergrowth were noted in fresh forest, lower in grass forest (15.5-48.4%), but the occurrence increases with distance

from the city in both types of forest. Ash-leaved maple finds its ecological niche mainly in the grass forest, displacing local plant species, preventing the natural renewal of pine. It has been previously established that the parameters of forest plantations in suburban pine forests of Barnaul depend on the type of forest, showing different structural and positional stability in relation to anthropogenic factors.

Keywords: forest fund, tree stand, undergrowth, forest undergrowth, forest type, Scotch pine (*Pinus sylvestris*), suburban forests, forest stand stability

Format of citation: Malinovskikh A.A., Gefke I.V., Savin M.A., Chichkarev A.S. Forestry and taxation characteristics of the forest fund of the Barnaul Forestry of the Altai Territory // Prirodoobustrojstvo. 2024. No 1. P. 104-114. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-104-114>

Введение. В улучшении экологии и качества жизни населения городов и поселков важную роль играют леса [1, 2]. Наличие промышленных предприятий и транспортных средств с большим количеством разнообразных вредных выбросов приводит к сильному загрязнению жизненной среды: воздуха, почв, вод, растительности [3-5]. Так, накопление вредных примесей в почвах приводит к нарушению их состава, структуры, снижению их плодородия, деградации, которые в свою очередь вызывают трансформацию растительного покрова [6, 7]. Не меньший вред лесным насаждениям в черте города наносит антропогенная нагрузка: вытаптывание; прокладывание троп и дорог; вырубка и повреждение деревьев, кустарников, подроста; пожары; оставление мусора и отходов; выемка лесного грунта и др. В результате такого двойного негативного воздействия лесные экосистемы утрачивают устойчивость, снижают продуктивность, способность к возобновлению и выполнению многочисленных защитных функций [8-10].

Барнаул – единственный в России город, на территории которого располагаются ленточные боры, представляющие особую ценность. В степной и лесостепной зонах Западной Сибири ленточные боры формируют экологический «каркас» для прилегающих территорий, выполняя прежде всего почвозащитные функции [11-13]. Расположение г. Барнаула и прилегающих поселков, численность населения которых составляет 700 тыс. чел., а выбросы в атмосферу ежегодно достигают 50 тыс. т, непосредственно возле ленточного бора, несомненно, оказывает негативное влияние на ландшафты ленточного бора. Для лесных насаждений Барнаульского лесничества на современном этапе эти процессы являются неизученными, отсутствуют научно обоснованные рекомендации по зонированию и ведению лесного хозяйства в пригородных лесах г. Барнаула.

Материалы и методы исследований. Объект исследований – лесной фонд Барнаульского лесничества Алтайского края. Барнаульское лесничество расположено в северо-восточной части Алтайского края на территории

Калманского и Барнаульского сельских муниципальных районов. Общая площадь земель лесного фонда составляет 26049 га, в том числе лесные земли занимают 24778 га.

Методической основой для определения лесоводственно-таксационных показателей лесных насаждений является метод экологических профилей [14]. Было подобрано и заложено 6 экологических профилей, пересекающих лесной массив Барнаульского лесничества на разном расстоянии от черты города: 0-15 км (5 профилей) – расположенные в зоне интенсивной посещаемости лесного массива; 37 км (1 профиль) – расположенные в зоне малой посещаемости (рис.).

Каждый экологический профиль состоит из примыкающих друг к другу лесных кварталов с сосновыми лесами и пересекает всю совокупность геоморфологических, лесорастительных и экологических условий на заданном расстоянии в лесном массиве. Для обработки использовались таксационные описания 32 лесных кварталов, содержащие информацию о 718 лесотаксационных выделах, общей площадью 1940,2 га, что составляет 7,4% общей площади Барнаульского лесничества. Рассчитаны средние значения всех таксационных показателей для древостоев по экологическим профилям. Выполнен сравнительный анализ лесоводственно-таксационных показателей в преобладающих типах леса по профилям: свежий бор (Свб), формирующийся в свежих (А2; II-III кл. бонитета) лесорастительных условиях и травяной бор (Трб), формирующийся во влажных (А3; I-II кл. бонитета) лесорастительных условиях [15]. Для оценки статистических различий в таксационных показателях древостоя и подроста в пригородных сосновых насаждениях использовали двухфакторный дисперсионный анализ [16, 17].

Результаты и их обсуждение. Устойчивость лесных насаждений обеспечивается комплексом лесорастительных факторов, поддержанием устойчивых связей между компонентами фитоценозов, единством внутренней среды. В пригородных лесах многолетняя рекреационная нагрузка приводит к изменению

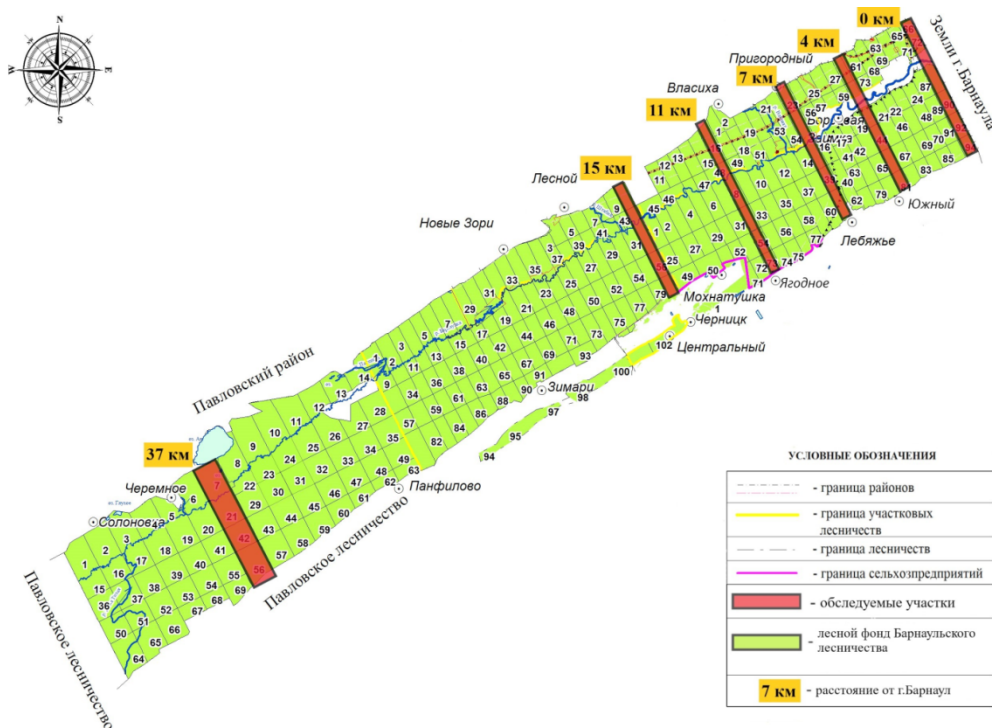


Рис. Карта-схема расположения экологических профилей в лесном массиве Барнаульского лесничества

Fig. Map-diagram of the location of ecological profiles in the forest area of the Barnaul forestry

лесной среды, состава и структуры компонентов леса, ослаблению защитных функций. Рассмотрим эти изменения на примере основных компонентов насаждений: древостоя, подроста, подлеска.

Древостой. Отдельные средние таксационные показатели, характеризующие продуктивность древостоев, имеют тенденцию зависимости от типа леса и частично зависят от черты г. Барнаула (табл. 1).

С целью выявления зависимости средних таксационных показателей древостоев сосны от типа леса и удаления от г. Барнаула был выполнен двухфакторный дисперсионный анализ без повторений. В таблице 2 представлены данные по двухфакторному дисперсионному анализу зависимости среднего возраста подроста сосны от типа леса и черты города.

Выполненный дисперсионный анализ позволяет утверждать, что тип леса не оказывает влияния на средний возраст древостоя сосны ($F = 3,3 \leftarrow F_{\text{крит.}} = 6,6$), расстояние от города не влияет на средний возраст древостоя сосны ($F = 3,3 \leftarrow F_{\text{крит.}} = 5,1$).

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа для средней высоты древостоя сосны представлены в таблице 3.

Выполненный дисперсионный анализ позволяет утверждать, что тип леса не оказывает влияния на среднюю высоту древостоя

сосны ($F = 6,4 \leftarrow F_{\text{крит.}} = 6,6$), расстояние от города не влияет на среднюю высоту древостоя сосны ($F = 6,8 \leftarrow F_{\text{крит.}} = 5,1$).

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа для среднего диаметра древостоя сосны представлены в таблице 4.

Выполненный дисперсионный анализ позволяет утверждать, что тип леса не оказывает влияния на средний диаметр древостоя сосны ($F = 5,2 \leftarrow F_{\text{крит.}} = 6,6$), расстояние от города не влияет на средний диаметр древостоя сосны ($F = 1,3 \leftarrow F_{\text{крит.}} = 5,1$).

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа для средней полноты древостоя сосны представлены в таблице 5.

Выполненный дисперсионный анализ позволяет утверждать, что тип леса оказывает заметное влияние на среднюю полноту древостоя сосны ($F = 40,9 \rightarrow F_{\text{крит.}} = 6,6$), расстояние от города не влияет на среднюю полноту древостоя сосны ($F = 0,7 \leftarrow F_{\text{крит.}} = 5,1$).

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа для среднего класса бонитета древостоя сосны представлены в таблице 6.

Выполненный дисперсионный анализ позволяет утверждать, что тип леса оказывает заметное влияние на средний класс бонитета древостоя сосны ($F = 21,3 \rightarrow F_{\text{крит.}} = 6,6$), расстояние от города не влияет на средний класс бонитета древостоя сосны ($F = 2,9 \leftarrow F_{\text{крит.}} = 5,1$).

Таблица 1. Характеристика сосновых древостоев Барнаульского лесничества Алтайского края на разном расстоянии от черты г. Барнаула ($X \pm S_x$; $n = 30-45$)Table 1. Characteristics of pine stands of the Barnaul forestry of the Altai Territory at different distances from the boundaries of the city of Barnaul ($X \pm S_x$; $n = 30-45$)

Тип леса Type of forest	Занимаемая им % Area occupied, %	Средний возраст, лет Average age, years	Средняя высота, м Average height, m	Средний диаметр, см Average diameter, cm	Средняя полнота, ед. Average thickness, units	Средний класс бонитета Middle class bonitet	Средний запас на 1 га, м ³ Average stock per 1 ha, m ³
0 км							
Свб FF Fresh forest	43,7	95,1±5,0	21,1±0,6	28,1±1,6	0,69±0,02	2,52±0,09	225,2±9,6
Трб GF Grassy forest	55,3	87,8±3,8	22,6±0,7	30,3±1,3	0,58±0,01	1,92±0,08	200,8±8,13
4 км							
Свб / FF	46,4	100,1±3,5	23,5±0,5	31,7±1,3	0,68±0,02	2,25±0,09	250,3±10,8
Трб / GF	53,2	82,5±3,4	24,1±0,73	31,6±1,3	0,60±0,01	1,24±0,05	218,6±9,0
7 км							
Свб / FF	46,2	108,7±4,5	25,2±0,6	32,8±1,3	0,74±0,02	1,95±0,06	297,4±11,7
Трб / GF	53,7	97,2±3,6	26,0±0,7	35,9±1,3	0,62±0,02	1,42±0,06	253,7±10,7
11 км							
Свб / FF	53,8	106,5±2,4	25,1±0,3	32,3±0,9	0,72±0,02	2,16±0,06	281,6±8,9
Трб / GF	45,6	99,5±3,2	25,4±0,5	34,0±1,1	0,57±0,2	1,83±0,07	220,6±9,3
15 км							
Свб / FF	61,3	116,6±3,6	25,1±0,6	32,3±0,9	0,70±0,02	2,13±0,06	277,9±9,5
Трб / GF	38,5	108,1±4,3	25,5±0,7	34,3±1,4	0,60±0,02	1,95±0,11	226,2±10,9
37 км							
Свб / FF	48,4	88,2±4,1	23,5±0,7	28,5±1,3	0,79±0,02	1,86±0,07	294,0±12,9
Трб / GF	38,7	98,7±3,3	26,7±0,6	37,8±1,5	0,57±0,02	1,32±0,08	228,4±11,5

Примечание: X – среднееарифметическое значение показателя, S_x – ошибка среднееарифметического, n – число измерений.

Note: X is the arithmetic mean of the indicator, S_x is the error of the arithmetic mean, and n is the number of measurements.

Таблица 2. Двухфакторный дисперсионный анализ без повторов для среднего возраста древостоя сосны

Table 2. Two-factor dispersion analysis without repetition for the middle age of pine stand

ИТОГИ / RESULTS	Счет / Counting	Сумма / Sum	Среднее / Average	Дисперсия / Dispersion		
Свб / Fresh forest	6	615,20	102,53	103,65		
Трб / Grassy forest	6	573,30	95,55	84,82		
0 км	2	182,40	91,20	30,42		
4 км	2	182,60	91,30	154,88		
7 км	2	205,90	102,95	66,13		
11 км	2	206,00	103,00	24,50		
15 км	2	224,70	112,35	36,13		
37 км	2	186,90	93,45	55,13		
Источник вариации Source of variation	SS	df	MS	F	P-Значение P value	F критическое F critical
Тип леса / Forest type	146,30	1,00	146,30	3,31	0,13	6,61
Расстояние / Distance	721,49	5,00	144,30	3,27	0,11	5,05
Погрешность / Error	220,87	5,00	44,17			
Итого / Total	1088,67	11,00				

Примечание: Для двухфакторного дисперсионного анализа приведены типовые формы таблиц и обозначений, которые выдает компьютерная программа Excel.

Note: For two-way dispersion analysis, the typical forms of tables and notations produced by the Excel computer program are given.

Таблица 3. Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений
для средней высоты древостоя сосны

Table 3. Two-way dispersion analysis without repetition for mean pine stand height

ИТОГИ / RESULTS	Счет / Counting		Сумма / Sum	Среднее / Average	Дисперсия / Dispersion	
Свб / FF	6		143,50	23,92	2,55	
Трб / GF	6		150,30	25,05	2,17	
0 км	2		43,70	21,85	1,13	
4 км	2		47,60	23,80	0,18	
7 км	2		51,20	25,60	0,32	
11 км	2		50,50	25,25	0,04	
15 км	2		50,60	25,30	0,08	
37 км	2		50,20	25,10	5,12	
Источник вариации Source of variations	SS	df	MS	F	P-Значение P value	F критическое F critical
Тип леса / Forest type	3,85	1,00	3,85	6,39	0,05	6,61
Расстояние / Distance	20,57	5,00	4,11	6,82	0,03	5,05
Погрешность / Error	3,02	5,00	0,60			
Итого / Total	27,44	11,00				

Таблица 4. Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений
для среднего диаметра древостоя сосны

Table 4. Two-way dispersion analysis without repetition for the mean diameter of a pine stand

ИТОГИ / RESULTS	Счет / Counting		Сумма / Sum	Среднее / Average	Дисперсия / Dispersion	
Свб / FF	6		185,70	30,95	4,35	
Трб / GF	6		203,90	33,98	7,52	
0 км	2		58,40	29,20	2,42	
4 км	2		63,30	31,65	0,00	
7 км	2		68,70	34,35	4,81	
11 км	2		66,30	33,15	1,45	
15 км	2		66,60	33,30	2,00	
37 км	2		66,30	33,15	43,24	
Источник вариации Source of variations	SS	df	MS	F	P-Значение P value	F критическое F critical
Строки / Lines	27,60	1	27,60	5,24	0,07	6,61
Столбцы / Columns	33,03	5	6,61	1,25	0,40	5,05
Погрешность / Error	26,32	5	5,26			
Итого / Total	86,95	11				

Таблица 5. Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений
для средней полноты древостоя сосны

Table 5. Two-factor dispersion analysis without repetition for mean pine stand fullness

ИТОГИ / RESULTS	Счет / Counting		Сумма / Sum	Среднее / Average	Дисперсия / Dispersion	
Свб / FF	6		4,32	0,72	0,00	
Трб / GF	6		3,54	0,59	0,00	
0 км	2		1,27	0,64	0,01	
4 км	2		1,28	0,64	0,00	
7 км	2		1,36	0,68	0,01	
11 км	2		1,29	0,65	0,01	
15 км	2		1,30	0,65	0,01	
37 км	2		1,36	0,68	0,02	
Источник вариации Source of variations	SS	df	MS	F	P-Значение P value	F критическое F critical
Тип леса / Forest type	0,05	1	0,05	40,89	0,00	6,61
Расстояние / Distance	0,00	5	0,00	0,65	0,68	5,05
Погрешность / Error	0,01	5	0,00			
Итого / Total	0,06	11				

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа для среднего запаса древесины на 1 га представлены в таблице 7.

Выполненный дисперсионный анализ позволяет утверждать, что тип леса оказывает заметное влияние на средний запас на 1 га ($F = 48,9 \rightarrow F_{\text{крит.}} = 6,6$), расстояние от города слабо влияет на средний запас на 1 га ($F = 7,2 \rightarrow F_{\text{крит.}} = 5,1$).

Подрост. Длительная антропогенная нагрузка в пригородных лесах г. Барнаула оказывает влияние на показатели естественного возобновления леса (табл. 8).

Средний возраст подроста сосны меняется в довольно широких пределах в свежем бору (10,5-15,9 лет) и в травяном бору (12,1-19,7 лет),

причем в зоне интенсивной посещаемости (0-11 км) подрост в травяном бору имеет более высокий средний возраст. Это связано, очевидно, с низкой плотностью и выживаемостью подроста при вытаптывании, когда сохраняется крупный и соответственно более возрастной подрост.

Средняя высота подроста сосны заметно выше в травяном бору (1,7-2,9 м), чем в свежем (1,1-1,6 м), по причине разницы лесорастительных условий. По мере удаления от города средняя высота меняется неравномерно, что связано, очевидно, с рекреацией и влиянием полога насаждений.

Средняя плотность подроста сосны выше в свежем бору (2,0-7,3 тыс. шт./га), чем в травяном (1,4-3,3 тыс. шт./га) ввиду различий в составе

Таблица 6. Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений для среднего класса бонитета древостоя сосны

Table 6. Two-factor dispersion analysis without repetition for the middle class of pine stand bonitet

ИТОГИ / RESULTS	Счет / Counting		Сумма / Sum	Среднее / Average	Дисперсия / Dispersion	
Свб / FF	6		12,87	2,15	0,05	
Трб / GF	6		9,68	1,61	0,10	
0 км	2		4,44	2,22	0,18	
4 км	2		3,49	1,75	0,51	
7 км	2		3,37	1,69	0,14	
11 км	2		3,99	2,00	0,05	
15 км	2		4,08	2,04	0,02	
37 км	2		3,18	1,59	0,15	
Источник вариации <i>Source of variations</i>	SS	df	MS	F	Р-Значение <i>P value</i>	Ф критическое <i>F critical</i>
Тип леса / Forest type	0,85	1	0,85	21,31	0,01	6,61
Расстояние / Distance	0,59	5	0,12	2,96	0,13	5,05
Погрешность / Error	0,20	5	0,04			
Итого / Total	1,64	11				

Таблица 7. Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений для среднего запаса древесины на 1 га

Table 7. Two-factor dispersion analysis without repetition for the average wood stock per 1 hectare

ИТОГИ RESULTS	Счет Counting		Сумма Sum	Среднее Average	Дисперсия Dispersion	
Свб / FF	6		1626,40	271,07	782,41	
Трб / GF	6		1348,30	224,72	296,43	
0 км	2		426,00	213,00	297,68	
4 км	2		468,90	234,45	502,45	
7 км	2		551,10	275,55	954,85	
11 км	2		502,20	251,10	1860,50	
15 км	2		504,10	252,05	1336,44	
37 км	2		522,40	261,20	2151,68	
Источник вариации <i>Source of variations</i>	SS	df	MS	F	Р-Значение <i>P value</i>	Ф критическое <i>F critical</i>
Тип леса / Forest type	6444,97	1	6444,97	48,93	0,00	6,61
Расстояние / Distance	4735,57	5	947,11	7,19	0,02	5,05
Погрешность / Error	658,63	5	131,73			
Итого / Total	11839,17	11				

Таблица 8. Средние таксационные показатели подроста сосны обыкновенной под пологом насаждений ($X \pm S_x$; $n = 30-45$)Table 8. Average taxational indices of Scots pine undergrowth under the canopy of plantations ($X \pm S_x$; $n = 30-45$)

Показатель Indicator	Тип леса Type of forest	Расстояние от г. Барнаула, км / Distance from Barnaul, km					
		0	4	7	11	15	37
Средний возраст, лет Average age, years	Свб / FF	10,5±0,9	12,0±1,2	15,9±1,3	14,5±1,1	15,0±0,7	14,9±0,6
	Трб / GF	12,8±1,0	18,5±2,5	17,9±1,6	19,7±1,4	12,1±0,9	13,5±1,1
Средняя высота, М Average height, m	Свб / FF	1,1±0,2	1,3±0,2	1,2±0,2	1,6±0,2	1,5±0,1	1,1±0,1
	Трб / GF	2,4±0,5	2,9±0,6	2,5±0,3	2,2±0,2	2,1±0,3	1,7±0,1
Средняя густота, тыс. шт./га Average density, thousand pcs./ha	Свб / FF	2,0±0,2	3,1±0,3	4,5±0,2	4,2±0,3	7,3±0,5	5,6±0,3
	Трб / GF	1,5±0,4	1,4±0,3	2,5±0,2	1,6±0,2	3,3±0,3	3,1±0,3

Примечание: X – среднееарифметическое значение показателя, S_x – ошибка среднееарифметического, n – число измерений.

Note: X is the arithmetic mean of the indicator, S_x is the error of the arithmetic mean, n is the number of measurements.

Таблица 9. Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений для среднего возраста подроста сосны

Table 9. Two-way dispersion analysis without repetition for the mean age of pine undergrowth

ИТОГИ / RESULTS	Счет / Counting	Сумма / Sum	Среднее / Average	Дисперсия / Dispersion		
Свб / FF	6	82,9	13,8	4,2		
Трб / GF	6	94,6	15,8	11,1		
0 км	2	23,4	11,7	2,4		
4 км	2	30,5	15,3	21,1		
7 км	2	33,9	17,0	2,2		
11 км	2	34,2	17,1	13,5		
15 км	2	27,1	13,6	4,2		
37 км	2	28,4	14,2	1,0		
Источник вариации Source of variation	SS	df	MS	F	P-Значение P value	F критическое F critical
Тип леса / Forest type	11,4	1,0	11,4	1,7	0,3	6,6
Расстояние / Distance	43,3	5,0	8,7	1,3	0,4	5,1
Погрешность / Error	33,1	5,0	6,6	–	–	–
Итого / Total	87,8	11,0	–	–	–	–

Примечание: Для двухфакторного дисперсионного анализа приведены типовые формы таблиц и обозначений, которые выдает компьютерная программа Excel.

Note: For two-way dispersion analysis, the typical forms of tables and notations produced by the Excel computer program are given.

напочвенного покрова, подлеска и лесорастительных условий. Прослеживается тенденция увеличения средней густоты подроста главной породы в обоих типах леса по мере удаления от города.

С целью выявления зависимости средних таксационных показателей подроста сосны от типа леса и удаления от города был выполнен двухфакторный дисперсионный анализ без повторений. В таблице 9 представлены данные по двухфакторному дисперсионному анализу зависимости среднего возраста подроста сосны от типа леса и черты города.

Выполненный дисперсионный анализ позволяет утверждать, что тип леса не оказывает влияния на средний возраст подроста сосны ($F = 1,7 \leftarrow F_{\text{крит.}} = 6,6$), расстояние

от города не влияет на средний возраст подроста сосны ($F = 1,3 \leftarrow F_{\text{крит.}} = 5,1$).

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа для средней высоты подроста сосны представлены в таблице 10.

Выполненный дисперсионный анализ позволяет утверждать, что тип леса оказывает заметное влияние на среднюю высоту подроста сосны ($F = 29,4 \rightarrow F_{\text{крит.}} = 6,6$), расстояние от города не влияет на среднюю высоту подроста сосны ($F = 1,0 \leftarrow F_{\text{крит.}} = 5,1$).

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа для средней густоты подроста сосны представлены в таблице 11.

Выполненный дисперсионный анализ позволяет утверждать, что тип леса оказывает заметное влияние на среднюю густоту подроста

Таблица 10. Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений
для средней высоты подроста сосны

Table 10. Two-way dispersion analysis without repetition for average height of pine undergrowth

ИТОГИ / RESULTS	Счет / Counting	Сумма / Sum	Среднее / Average	Дисперсия / Dispersion		
Свб / FF	6,0	7,8	1,3	0,0		
Трб / GF	6,0	13,8	2,3	0,2		
0 км	2,0	3,5	1,8	0,8		
4 км	2,0	4,2	2,1	1,3		
7 км	2,0	3,7	1,9	0,8		
11 км	2,0	3,8	1,9	0,2		
15 км	2,0	3,6	1,8	0,2		
37 км	2,0	2,8	1,4	0,2		
Источник вариации Source of variation	SS	df	MS	F	P-Значение P value	F критическое F critical
Тип леса / Forest type	3,0	1,0	3,0	29,4	0,0	6,6
Расстояние / Distance	0,5	5,0	0,1	1,0	0,5	5,1
Погрешность / Error	0,5	5,0	0,1	–	–	–
Итого / Total	4,0	11,0	–	–	–	–

Таблица 11. Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений
для средней густоты подроста сосны

Table 11. Two-factor dispersion analysis without repetition for average pine undergrowth density

ИТОГИ / RESULTS	Счет / Counting	Сумма / Sum	Среднее / Average	Дисперсия / Dispersion		
Свб / FF	6,0	26,7	4,5	3,5		
Трб / GF	6,0	13,4	2,2	0,7		
0 км	2,0	3,5	1,8	0,1		
4 км	2,0	4,5	2,3	1,4		
7 км	2,0	7,0	3,5	2,0		
11 км	2,0	5,8	2,9	3,4		
15 км	2,0	10,6	5,3	8,0		
37 км	2,0	8,7	4,4	3,1		
Источник вариации Source of variation	SS	df	MS	F	P-Значение P value	F критическое F critical
Тип леса / Forest type	14,7	1,0	14,7	22,1	0,01	6,6
Расстояние / Distance	17,6	5,0	3,5	5,3	0,05	5,1
Погрешность / Error	3,3	5,0	0,7			
Итого / Total	35,7	11,0				

сосны ($F = 22,1 \rightarrow F_{\text{крит.}} = 6,6$), расстояние от города слабо влияет на среднюю густоту подроста сосны ($F = 5,3 \rightarrow F_{\text{крит.}} = 5,1$).

Встречаемость подроста на выделах варьирует в свежем бору от 65,4 до 89,5%, в травяном бору – от 15,5 до 48,4%, постепенно увеличиваясь по мере удаления от города. Тип леса и тип лесорастительных условий оказывают непосредственное влияние на среднюю высоту и густоту подроста сосны на фоне антропогенных нагрузок.

Подлесок. Подлесок – важный компонент лесного насаждения, но его состав и густота меняются под влиянием пригородной среды (табл. 12).

Наиболее развитым является подлесок в травяном бору, где его встречаемость на выделах составляет 79,8-95,9%; в свежем

бору – 10,3-70,0%. Вблизи г. Барнаула (0-11 км) в подлеске выше видовое разнообразие, густота и доля выделов, занятых кленом ясенелистным (*Acer negundo* L.), в обоих типах леса. По мере удаления (15-37 км) от города видовое разнообразие снижается, а клен не встречается в свежем бору. Всего отмечено 12 видов в составе подлеска: карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.), ива козья (*Salix caprea* L.), роза иглистая (*Rosa acicularis* Lindl.) и др.

Клен ясенелистный находит свою экологическую нишу в травяном бору во влажных лесорастительных условиях. Этот вид является заносным и агрессивным по отношению к главной древесной породе (сосне обыкновенной), препятствуя естественному возобновлению леса.

Таблица 12. Характеристика подлеска в Барнаульском лесничестве Алтайского края на разном расстоянии от черты г. Барнаула

Table 12. Characteristics of the undergrowth in the Barnaul forestry of the Altai Territory at different distances from the boundaries of the city of Barnaul

Тип леса <i>Forest type</i>	Встречаемость подлеска на выделах, % <i>Occurrence of undergrowth on allotments, %</i>	Соотношение подлеска по густоте – густой/сред. густоты/редкий, % <i>The ratio of undergrowth in density is dense/medium. density/sparse, %</i>	Число видов в составе подлеска, шт. <i>Number of species in the undergrowth, pcs.</i>	Доля выделов занятых клёном ясенелистным, % <i>Share of allotments occupied by ash-leaved maple, %</i>
0 км				
Свб / FF	62,9	2,9/14,7/82,4	7	5,9
Трб / GF	95,9	49,4/40,0/10,6	10	62,4
4 км				
Свб / FF	70,0	0/0/100	6	3,6
Трб / GF	79,8	64,2/10,4/25,4	8	40,3
7 км				
Свб / FF	10,3	0/0/100	2	0
Трб / GF	87,7	73,5/10,9/15,6	8	34,4
11 км				
Свб / FF	18,0	0/0/100	3	11,1
Трб / GF	95,4	67,7/19,4/12,9	11	14,5
15 км				
Свб / FF	18,4	0/28,6/71,4	4	0
Трб / GF	92,3	88,9/11,1/0	8	38,8
37 км				
Свб / FF	11,5	0/50/50	2	0
Трб / GF	91,9	59,7/36,8/3,5	9	10,5

Выводы

1. Двухфакторный дисперсионный анализ показал, что средняя высота, полнота, класс бонитета и запас на 1 га в пригородных сосновых насаждениях Барнаула зависят от типа леса. По мере удаления от черты г. Барнаула из всех таксационных показателей в сосновых древостоях достоверно изменяется (увеличивается) только средний запас на 1 га.

2. С помощью дисперсионного анализа установлено, что средняя высота и средняя густота подроста сосны обыкновенной зависят от типа леса. По мере увеличения расстояния от черты города под пологом насаждений достоверно

увеличивается средняя густота подроста сосны обыкновенной.

3. Наиболее развитым является подлесок в травяном бору, где его встречаемость на выделах составляет 79,8-95,9%; в свежем бору – 10,3-70,0%. Клен ясенелистный активно внедряется в травяном бору на всех изученных участках в отличие от свежего бора, где он отмечен только в пределах трех экологических профилей.

4. Сосновые насаждения типа леса «Свежий бор» имеют более высокую структурную и позиционную устойчивость по отношению к антропогенным факторам, чем насаждения типа леса «Травяной бор».

Работа выполнена в Алтайском государственном аграрном университете в рамках гранта Российского научного фонда. Соглашение № 23-26-00198.

The work was carried out at the Altai state agrarian university within the framework of a grant from the Russian Science Foundation. Agreement No. 23-26-00198.

Список использованных источников

1. Таран И.В., Спиридонов В.Н., Беликова Н.Д. Леса города. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 196 с.
2. Кузнецов В.А., Рыжова И.М., Стома Г.В. Изменение лесных экосистем мегаполиса под влиянием рекреационного воздействия // Почвоведение. 2019. № 5. С. 633-642. DOI: 10.1134/S0032180X1905006X.
3. Kotze D., Setälä H. Urbanisation Differently Affects Decomposition Rates of Recalcitrant Woody Material and Labile Leaf Litter // Urban Ecosystems. 2021. DOI: 10.1007/s11252-021-01125-3.
4. Скрипальщикова Л.Н. Экологическое состояние пригородных лесов Красноярска / Татаринцев В.И., Зубарева О.Н., Перевозникова В.Д., Стасова В.В., Грешилова Н.В. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. 179 с.
5. Воробейчик Е.Л. Многолетняя динамика лесной растительности в период сокращения выбросов металлургического завода / Трубина М.Р., Хантемирова Е.В., Бергман И.Е. // Экология. 2014. № 6. С. 448-458. DOI: 10.7868/S0367059714060158.
6. Жиров В.К. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Крайнем Севере / Голубева Е.И., Говорова А.Ф., Хаитбаев А.Х., Кислых Е.Е. М.: Наука, 2007. 164 с.
7. Одноралов Г.А. Оценка биологической продуктивности лесной среды в условиях урбанизации (на примере Воронежской нагорной дубравы) / Тихонова Е.Н., Голядкина И.В., Малинина Т.А. // Известия высших учебных заведений «Лесной журнал». 2020. № 2 (374). 60-72.
8. Меланхолин П.Н., Лысиков А.Б. Влияние дорожно-тропиночной сети на травянистую растительность и почвы дубовых лесов Москвы и ближнего Подмосковья // Лесоведение. 2014. № 2. С. 38-45.
9. Шихова Н.С. Комплексная оценка состояния лесов зеленой зоны Владивостока // Лесоведение. 2015. № 6. С. 436-446.
10. Gundersen V. and Vistad O.I. Public Opinions and Use of Various Types of Recreational Infrastructure in Boreal Forest Settings // Forests. 2016. Vol. 7, № 6. P. 113. <https://doi.org/10.3390/f7060113>.
11. Мартынюк А.А., Ленточные боры Алтайского края – состояние и совершенствование хозяйства в них / Сидоренков В.М., Желдак В.И., Лямцев Н.И., Рябцев О.В., Жафяров А.В. // Лесохозяйственная информация. 2019. № 1. С. 3348. doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.1.03. https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://lhi.vniilm.ru/PDF/2019/1/LHI_2019_01-03-Martynuk.pdf.
12. Малиновских А.А. Степень развития растительного покрова в разных типах лесорастительных условий на гарях в ленточных борах Алтайского края // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2020. № 4. С. 43-51. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-43-51. URL: <https://les-vest.msfu.ru/contents/2020/4/pdf/43-51.pdf>
13. Malinovskikh A.A. and Gefke I.V. The influence of soil hydrothermal regime on postfire recovery process in the ribbon-like pine forests of Western Siberia To cite this article: 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 848012129. :10.1088/1755-1315/848/1/012129.
14. Юнатов А.А. Типы и содержание геоботанических исследований. Выбор пробных площадей и заложение экологических профилей // В кн.: Полевая геоботаника. Т. 3. М. – Л.: Наука, 1964. С. 9-36.

References

1. Taran I.V., Spiridonov V.N., Belikova N.D. Forests of the city. Novosibirsk, publishing house of the SB RAS, 2004. 196 p.
2. Kuznetsov V.A., Ryzhova I.M., Stoma G.V. Changes in forest ecosystems of a megalopolis under the influence of recreational influence // Soil science. 2019. No. 5. P. 633-642. doi: 10.1134/S0032180X1905006X
3. Kotze D., Setälä H. Urbanisation Differently Affects Decomposition Rates of Recalcitrant Woody Material and Labile Leaf Litter // Urban Ecosystems. 2021. doi: 10.1007/s11252-021-01125-3
4. Skripalshchikova L.N. Ecological state of suburban forests of Krasnoyarsk / Tatarintsev V.I., Zubareva O.N., Perevznikova V.D., Stasova V.V., Greshilova N.V. Novosibirsk: Acad. Publishing house "Geo", 2009. 179 p.
5. Vorobeychik E.L., Trubina M.R., Khantemirova E.V., Bergman I.E. Long-term dynamics of forest vegetation during the reduction of emissions from a copper smelter // Ecology. 2014. No. 6. P. 448-458. DOI: 10.7868/S0367059714060158
6. Zhiron V.K., Golubeva E.I., Govorova A.F., Khaibbaev A.H., Kislykh E.E. Structural and functional changes of vegetation in conditions of technogenic pollution in the Far North. M.: Nauka, 2007. 164 p.
7. Odnoralov G.A., Tikhonova E.N., Golyadkina I.V., Malinina T.A. Assessment of biological productivity of the forest environment in the conditions of urbanization (on the example of the Voronezh upland oak grove) // Izvestiya vysshchih uchebnykh zavedeniy. Forest magazine. 2020. № 2 (374). 60-72.
8. Melancholin P.N., Lysikov A.B. The influence of the road and path network on the grassy vegetation and soils of the oak forests of Moscow and the near Moscow region. Forest science. 2014. No. 2. P. 38-45.
9. Shikhova N.S. Comprehensive assessment of the state of forests in the green zone of Vladivostok // Forest science. 2015. No. 6. P. 436-446.
10. Gundersen V. and Vistad O.I. Public Opinions and Use of Various Types of Recreational Infrastructure in Boreal Forest Settings // Forests. 2016. Vol. 7, No 6, 113. <https://doi.org/10.3390/f7060113>
11. Martynuk A.A., Sidorenkov V.M., Zheldak V.I., Lyamtsev N.I., Ryabtsev O.V., Zhafyarov A.V. Ribbon forests of the Altai Territory – the state and improvement of the economy in them // Lesokhoz. inform. 2019. No. 1. p. 3348. doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.1.03 https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://lhi.vniilm.ru/PDF/2019/1/LHI_2019_01-03-Martynuk.pdf
12. Malinovskikh A.A. The degree of vegetation cover development in different types of forest vegetation conditions in burning areas in ribbon forests of the Altai Territory // Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin. 2020. No. 4. P. 43-51. doi: 10.18698/2542-1468-2020-4-43-51 <https://les-vest.msfu.ru/contents/2020/4/pdf/43-51.pdf>
13. Malinovskikh A.A. and Gefke I.V. The influence of soil hydrothermal regime on postfire recovery process in the ribbon-like pine forests of Western Siberia To cite this article: 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 848012129. DOI: 10.1088/1755-1315/848/1/012129.
14. Yunatov A.A. Types and content of geobotanical research. Selection of trial areas and laying of ecological profiles / In the book. Field geobotany. Vol. 3. M. – L.: Nauka, 1964. P. 9-36.

15. Бугаев В.А., Косарев Н.Г. Лесное хозяйство ленточных боров Алтайского края: Барнаул: Алтайское книжное изд-во, 1988. 312 с.

16. Методы изучения лесных сообществ: монография / Отв. ред. В.Т. Ярмишко, И.В. Лянгузова. СПб., 1997. 240 с.

17. Шмидт В.М. Математические методы в ботанике: учебное пособие. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 288 с.

Об авторах

Алексей Анатольевич Малиновских, канд. биол. наук, доцент; (0000-0003-1719-3841); SPIN-код: 7353-8961; almaa1976@yandex.ru

Ирина Валентиновна Гефке, канд. с.-х. наук, доцент; (0000-0002-0804-015X); SPIN-код: 6256-9640; ivgefke@mail.ru

Михаил Андреевич Савин, старший преподаватель; (0000-0001-7196-418X); SPIN-код: 2593-6310; mihasavin@mail.ru

Александр Сергеевич Чичкарев, ассистент; (0000-0001-6292-3247); SPIN-код: 4495-9193; chichkarev94@mail.ru

15. Bugaev V.A., Kosarev N.G. Forestry of ribbon forests of the Altai Territory. Barnaul: Alt. book Publishing House, 1988. 312 p.

16. Methods of studying forest communities: monograph / Edited by V.T. Yarmishko, I.V. Lyanguzova. St. Petersburg, 1997. 240 p.

17. Schmidt V.M. Mathematical methods in botany: textbook. L.: Publishing House of LSU, 1984. 288 p.

Author information

Aleksey A. Malinovskikh, candidate of biological sciences, associate professor, (0000-0003-1719-3841) SPIN-code: 7353-8961; almaa1976@yandex.ru

Irina V. Gefke, candidate of agricultural sciences, associate professor, (0000-0002-0804-015X) SPIN-code: 6256-9640; ivgefke@mail.ru

Mikhail A. Savin, senior lecturer, (0000-0001-7196-418X) SPIN-code: 2593-6310; mihasavin@mail.ru

Aleksandr S. Chichkarev, assistant, (0000-0001-6292-3247) SPIN-code: 4495-9193; chichkarev94@mail.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Малиновских А.А., Гефке И.В., Савин М.А., Чичкарев А.С. выполнили теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare that there are no conflicts of interest

Вклад авторов / Contribution of authors

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации. / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 21.03.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 18.10.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 18.10.2023

Malinovskikh A.A., Gefke I.V., Savin M.A., Chichkarev A.S. carried out theoretical and experimental studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.