

4.1.6. – Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация (сельскохозяйственные науки)

УДК 630.519

DOI: 10.34736/FNC.2024.125.2.002.16-21

Редукционные числа и прирост по диаметру сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях г. Майкопа

Светлана Герсановна Биганова, канд с.-х. наук, доцент,

ORCID: 0000-0002-0581-3612

Юрий Иванович Сухоруких✉, e-mail: drsuchor@rambler.ru, д.с.-х.н., профессор,

ORCID: 0000-0001-5073-6102

Любовь Андреевна Колесова, магистрант,

Екатерина Олеговна Кияшкина, аспирант

ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»,

e-mail: info@mkgtu.ru, 385000, ул. Первомайская, д. 191, г. Майкоп, Россия

Аннотация. Изучение закономерности изменения редукционных чисел диаметров ствола, ширины годичных колец у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) позволяет решать хозяйственные и научные задачи. Целью исследований являлось установление значений редукционных чисел и ширины годичных колец в период роста у сосны обыкновенной в искусственном лесном массиве на окраине г. Майкопа Республики Адыгея. Подобные исследования для вида проводятся впервые в регионе. Изучалось 100 особей вида. Таксационные показатели определялись общепринятыми методами. Статистическая обработка данных производилась с использованием программы Stadia 8.0 для Windows, графическое построение – программа Excel. Редукционные числа определялись по методике Шиффеля и вновь вычисленным моделям. Редукционные числа, определенные по методике Шиффеля, не имели статистического отличия от классических ($F = 0,0119$, значимость = 0,989) и изменялись параллельно (Т-параллельность = 0,504, значимость = 0,6255). Также между ними наблюдалась высокая статистическая связь ($r = 0,9882$, значимость = 4,558E-6). Для отдельных рангов отличия были существенными (ранг 0 – 22,66, ранг 20 – 6,49, ранг 30 – 5,34, ранг 100 – 5,64 %). На основе вычисленных моделей определены новые значения редукционных чисел диаметров в изучаемых условиях. Величина годичных колец у сосны в условиях г. Майкопа имела тенденцию к уменьшению с возрастом. Она адекватно аппроксимировалась экспоненциальной функцией ($R^2 = 0,83$). Полученные результаты могут быть использованы для разработки рекомендаций по формированию насаждений вида и оценке воздействия внешних условий на древесную растительность.

Ключевые слова: лесные насаждения, годичные кольца, высота деревьев, бонитет, статистическое распределение, корреляция.

Финансирование. Работа выполнена в рамках тематики ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет» «Мониторинг состояния и разработка инженерно-биологических сооружений для предотвращения деградации окружающей среды» Рег. № АААА-А20-120122590046-8.

Цитирование. Биганова С. Г., Сухоруких Ю. И., Колесова Л. А., Кияшкина Е. О. Редукционные числа и прирост по диаметру сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях г. Майкопа // Научно-агрономический журнал. 2024. 2(125). С. 16-21. DOI: 10.34736/FNC.2024.125.2.002.16-21

Поступила в редакцию: 29.04.2024

Принята к печати: 07.06.2024

Введение. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) является одной из главных лесообразующих пород в Российской Федерации и распространена в различных климатических зонах [11]. В благоприятных условиях она достигает до 40 м высоты и более 1 м в диаметре ствола. Этот вид характеризуется многогранной хозяйственной ценностью [1; 7], широко выращивается в лесном и лесопарковом хозяйстве [5; 9], имеет значительное формовое разнообразие [6; 20]. Благодаря произрастанию в различных зонах растение с успехом используется для индикации изменения окружающей среды [3; 14; 18].

Одним из важных показателей, характеризующих лесные насаждения являются редукционные числа диаметров [4; 10; 21]. Определяются они из соотношения диаметра конкретного дерева к среднему в насаждении (Анучин Н. П. Лесная таксация.

М.: Лесная промышленность. 1971. 512 с.). Они широко применяются в лесоводственной практике и научных исследованиях. Так, их использование позволяет определить световую потребность и дифференциацию древесной растительности в лесопарках и городских лесах, принимать решения по формированию лесных участков рубками ухода [2], оценить структурно-функциональную организацию молодняков сосны [4; 10], выявить строение и форму насаждений [13; 19]. Это показатель имеет сходный процесс изменения от ранга дерева для различных пород, однако в зависимости от конкретных условий возможна их трансформация, и это требует уточнения [4; 10].

Учитывая значительное распространение сосны обыкновенной, она широко применяется в различных климатических исследованиях [17; 18].

Одним из основных параметров является изучение изменения ширины годовичных колец по диаметру ствола [9; 12]. При этом наблюдаются как общие тенденции, так и региональные особенности изменения этих показателей [15; 18; 21].

Рассматриваемые значимые для науки и практики параметры лесных растений – редуccionные числа и ширина годовичных колец диаметров деревьев сосны обыкновенной – для условий г. Майкопа к настоящему времени не изучены и требуют приведения в известность.

Цель исследования – выявить значения редуccionных чисел и изменение ширины годовичных колец ствола с периодом роста у сосны обыкновенной в условиях г. Майкопа.

Для решения поставленной цели решались задачи, связанные с проведением сплошного перечета деревьев, измерением годовичных колец, созданием статистических моделей.

Объект и методы исследования. Объектом исследования являлся искусственно созданный массив сосны обыкновенной, произрастающей на территории дачного товарищества «Дружба» г. Майкопа. Координаты произрастания: С 44° 35' 19,52; В 40° 03' 31,23, высота над уровнем моря 202 м. Насаждение 1а бонитета площадью около 1,5 га находится на второй надпойменной террасе реки Белой. Почвы – лугово-черноземные выщелоченные [8].

Всего изучено 100 растений в центральной части участка. Диаметр ствола на высоте 1,3 м устанавливали по значениям длины окружности с использованием выражения $D = C/\pi$. Возраст насаждения определяли путем подсчета годовичных колец на срезанном пне. Ширина годовичных колец вычислялась как среднее от суммы измерений, произведенных в двух противоположных направлениях штангенциркулем. Редуccionные числа вычисляли по методу Шиффеля (Анучин Н. П. *Лесная таксация. М.: Лесная промышленность. 1971. 512 с.*) и методом усреднённых данных для групп рангов [13]. Обработку полевых материалов осуществляли с использованием программы Microsoft Excel и STADIA8.0 для Windows известными методами (Кулаичев А. П. *Методы и средства комплексного анализа данных: учебное пособие. 4-е изд. перераб. и доп. М.: Форум; ИНФРА-М; 2006. 512 с.; Шмойлова Р. А. и др. Теория статистики: учебник. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика; 2004. 656 с.*).

Результаты исследования и их обсуждение.

Распределение растений сосны обыкновенной по диаметру на изучаемом участке представлено на рисунке 1. Данные показывают, что графическое распределение значений по диаметру близко к нормальному.

Результаты статистической оценки показателя приведены в таблице 1.

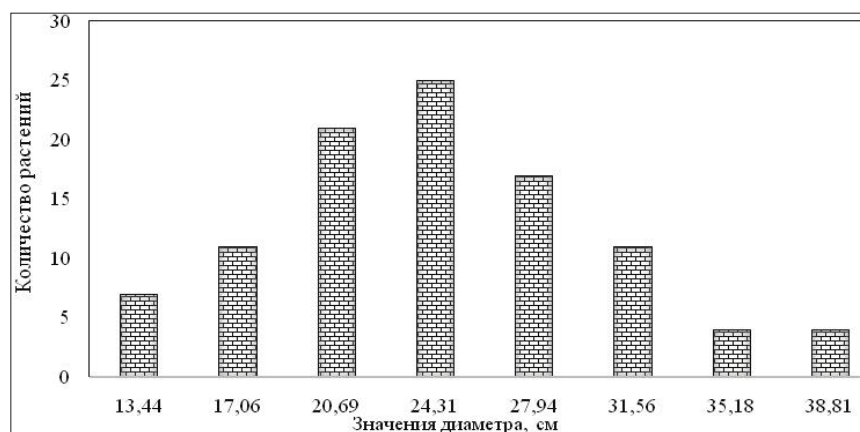


Рисунок 1. Распределение деревьев сосны обыкновенной по диаметру

Таблица 1. Статистические показатели диаметра сосны обыкновенной

Статистические показатели	Значения
Среднее	29,86±0,67
Медиана	30,00
Мода	30,89
Коэффициент вариации	22,51
Экссесс	0,89
Асимметричность	0,47
Минимум	13,44
Максимум	49,68

Согласно таблице 1, точность опыта составила 2,24 %, среднее, медиана и мода, близки по значениям, что также указывает на возможное нормаль-

ное статистическое распределение стволов по диаметру на изучаемом объекте. Предположения, сделанные на основе рисунка 1 и таблицы 1, подтверждаются оценкой распределения с использованием статистических показателей (Колмогоров = 0,0786, значимость = 0,1565, степ. своб. = 100. Гипотеза 0: Распределение не отличается от нормального. Омега-квадрат = 0,06177, Значимость = 0,3685, степ. своб. = 100. Гипотеза 0: Распределение не отличается от нормального. Хи-квадрат = 9,674, значимость = 0,1391, степ. своб. = 6. Гипотеза 0: Распределение не отличается от нормального.

Значения редуccionных чисел диаметров сосны обыкновенной, вычисленные по методике Шиффеля, и их отличия от табличных представлены в таблице 2.

Таблица 2. Значения и отличия (%) редукционных чисел сосны обыкновенной, вычисленных различными методами

Методы	Значения редукционных чисел для рангов дерева										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Фактические по Шиффелю	0,450	0,709	0,824	0,885	0,939	1,003	1,045	1,077	1,173	1,261	1,664
Табличные по Шиффелю	0,550	0,690	0,770	0,840	0,890	0,950	1,010	1,080	1,170	1,280	1,570
Отличия фактических от табличных по Шиффелю	22,86	-2,72	-6,49	-5,34	-4,86	-4,95	-3,37	0,25	-0,28	1,53	-5,64
Модель 1	0,453	0,686	0,833	0,916	0,958	0,981	1,009	1,064	1,168	1,346	1,619
Модель 2	0,532	0,706	0,824	0,899	0,948	0,986	1,026	1,086	1,179	1,321	1,526
Модель 3	0,493	0,696	0,828	0,908	0,953	0,983	1,018	1,075	1,174	1,333	1,573

Из результатов таблице 2 следует, что при сравнении вычисленных редукционных чисел с табличными по Шиффелю они изменяются параллельно (Т-параллельность = 0,504, значимость = 0,6255, Гипотеза 0: Нет различий между коэффициентами наклона). Также между сравниваемыми редукционными числами выявлена высокая статистическая связь ($r = 0,9882$, значимость = $4,558E-6$). Дисперсионный анализ не выявил отличий между редукционными числами для сравниваемых объектов ($F = 0,0119$, значимость = 0,989). Результаты, полученные при использовании различных методов статистического анализа, указывают на подобие процессов изменения редукционных чисел диаметров сосны в условиях г. Майкопа с лесными условиями в других регионах для других пород. Однако для некоторых рангов отличия превышают допустимый для научного заключения предел свыше 5 %, (0 – 22,86, 20 – 6,49, 30 – 5,45, 100 – 5,64 %). Это требует корректировки значений редукционных чисел для конкретных условий. В этом случае использовали метод моделирования (Шмойлова Р.А. и др. *Теория статистики: учебник. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика; 2004. 656 с.*). Модель, созданная на основе метода Шиффеля имеет вид

$$Y = 3,794E-6 \cdot x^3 - 0,0005472 \cdot x^2 + 0,02844 \cdot x + 0,4528. R^2 = 0,9866. \quad (1)$$

где, Y – значение редукционного числа,
 x – ранг дерева.

Метод Шиффеля предполагает использование значений отдельных особей, что может приводить к ошибкам. Более точное вычисление редукционных чисел возможно с использованием среднего внутри групп рангов [13]. Вычисленные на этой основе редукционные числа использованы для создания следующей модели изменения редукционных чисел диаметров от ранга дерева

$$Y = 2,51E-6 \cdot x^3 - 0,000359 \cdot x^2 + 0,02074 \cdot x + 0,5323. R^2 = 0,995. \quad (2)$$

Сравнение регрессий 1, 2 указало на параллельность процессов (Т-параллельность = 0,683, значимость = 0,5097), высокую связь между значениями ($r = 0,9967$, $t_{\text{факт}} = 36,92$, $t_{0,01} = 4,78$) и отсутствия между ними статистического различия ($t_{\text{факт}} = 0,01$, $t_{0,01} = 3,82$).

Это дает основание использовать среднее между ними и на этой основе создать новую модель 3 на принципах мультимоделирования [16] (рис. 2).

На основе модели 3 вычислены уточненные редукционные числа для диаметров сосны обыкновенной для изучаемых условий (табл. 2).

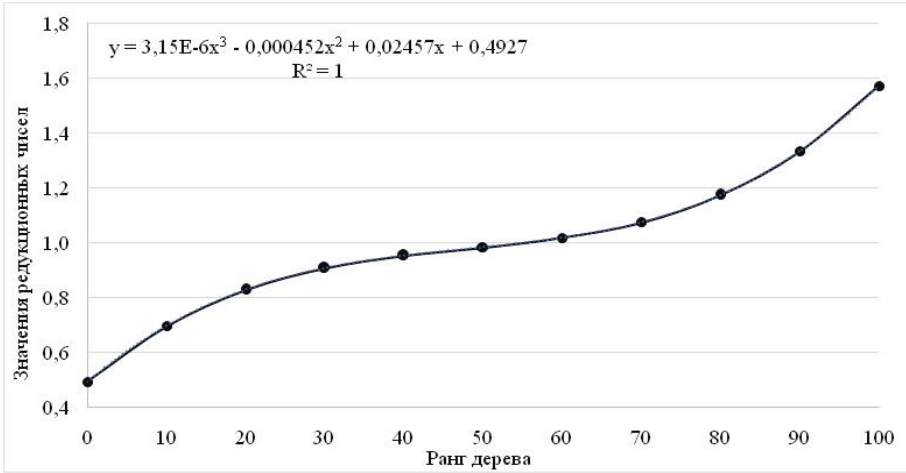


Рисунок 2. Модель 3. Изменение редукционных чисел диаметра стволов сосны обыкновенной, произрастающей в г. Майкопе

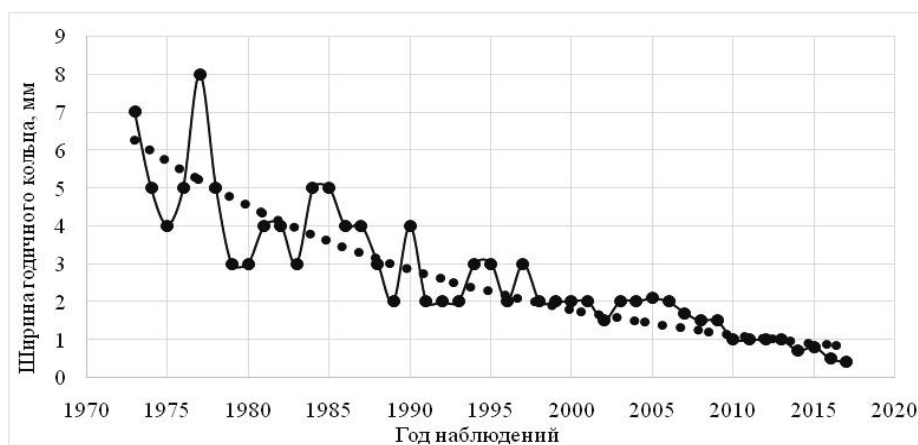


Рисунок 3. Изменение ширины годовичного кольца по диаметру ствола сосны обыкновенной в изучаемый период для условий г. Майкопа

Изменение ширины годовичных колец сосны обыкновенной, произрастающей на второй пойменной террасе реки Белой, представлено на рисунке 3. Как следует из рисунка, с возрастом наблюдается снижение ширины годовичных колец. Это снижение для изучаемых условий аппроксимируется функцией вида

$$Y = 7,8914e^{-0,046x} \quad R^2 = 0,83 \quad (3)$$

где, x – годы, Y – годовой прирост по диаметру, мм.

Подобное изменение выявлено для сосны и другими авторами, например, в Воронежской области [9], что указывает на сходность процессов формирования приростов по диаметру в различных условиях.

Заключение.

1. Распределение диаметров ствола сосны обыкновенной в условиях г. Майкопа подчинятся закону нормального распределения.

2. Редукционные числа диаметра стволов сосны обыкновенной в изучаемом регионе характеризуются параллельным изменением и тесной корреляционной связью с редукционными числами, вычисленными для лесного массива другими авторами.

3. Создана адекватная модель изменения значений редукционных чисел от ранга деревьев и вычислены их региональные значения для диаметров сосны обыкновенной.

4. У сосны обыкновенной в условиях г. Майкопа с возрастом наблюдается снижение ширины годовичных колец по диаметру, которое адекватно аппроксимируется экспоненциальной функцией.

Литература:

1. Высоцкий А. А., Исаков Ю. Н., Комарова О. В. Смолопродуктивность потомств сосны обыкновенной разных селекционных категорий // Лесоведение. 2022. № 5. С. 540–548. Режим доступа: <https://sciencejournals.ru/cgi/getPDF.pl?jid=lesved&year=2022&vol=2022&iss=5&file=Le sVed2204010Vysotskii.pdf>
2. Галако В. А., Шавнин С. А., Власенко В. Э. и др. Особенности морфологической структуры сосновых древостоев пригородных насаждений г. Екатеринбурга // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 5(67). С. 88–90. EDN ZSMKDL
3. Давыдова Н. Д. Реакция сосны обыкновенной на неумеренные выбросы в атмосферу загрязняющих ве-

ществ // Географический вестник. 2021. № 1(56). С. 31–41. DOI: 10.17072/2079-7877-2021-1-31-41

4. Ермакова М. В. Формирование структурно-функциональной организации молодых сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) смешанного искусственно-естественного происхождения в условиях сосняков ягодникового и разнотравного Среднего Урала // Лесотехнический журнал. 2023. Т. 13. № 2(50). С. 43–58. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/3>

5. Келько А. Ф., Дишук Н. Г., Торчик В. И. и др. Оценка фитопатологического состояния декоративных форм сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) селекции Центрального ботанического сада НАН Беларуси. Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. 2022. Т. 67. № 4. С. 351–358. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2022-67-4-351-358>

6. Коновалова А. Е., Коновалова М. Е., Пименов А. В. Особенности роста по диаметру красно- и желтопыльничковой форм сосны обыкновенной // Сибирский лесной журнал. 2020. № 3. С. 63–72. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42957489_98586556.pdf

7. Крайник В. В. суммарная антиоксидантная активность экстрактов хвои сосны сибирской и сосны обыкновенной // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия. 2024. № 1(55). С. 72–82. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_64609487_84449899.pdf

8. Мамсиров Н. И. Оценка экологической устойчивости агроландшафтов г. Майкопа и Майкопского района Республики Адыгея. Новые технологии. 2022. 18(1). С. 129–140. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-1-129-140>

9. Михайлова М. И., Чернышов М. П. Текущая сохранность, напряженность роста и санитарное состояние деревьев сосны обыкновенной в приспевающих географических лесных культурах Воронежской области. Лесотехнический журнал. 2021; Т. 12 № 1 (45): 56–67. <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/49807/view#article-text>

10. Николаева И. О., Соловьев В. М. Системный способ оценки структуры хвойных молодняков для образования высокопроизводительных насаждений на примере среднего Урала // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2019. № 4(57). С. 80–87. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_41648127_68717477.pdf

11. Сазонова Т. А., Болондинский В. К., Придача В. Б. Эколого-физиологическая характеристика сосны обыкновенной. Петрозаводск: Verso. 2011. 206 с. DOI:10.13140/RG.2.1.3057.6169

12. Семеняк Н. С., Соломина О. Н., Долгова Е. А., Мацковский В. В. Климатический сигнал в различных параметрах годичных колец сосны обыкновенной на Соловецком Архипелаге // Геоферные исследования. 2022. № 4. С. 149-164. <https://journals.tsu.ru/uploads/import/2284/files/4-149.pdf>
13. Стоноженко Л. В., Найденова Е. В., Роганова С. А. Исследование строения и формы насаждений // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2016. Т. 20. № 5. С. 205-214. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_26674966_82696206.pdf
14. Янбаев Р. Ю., Бахтина С. Ю., Садыков А. Х., Редькина Н. Н. Климатический сигнал в радиальном приросте молодняка и деревьев сосны обыкновенной // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2023. № 3(67). С. 24-29. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_54722846_64184243.pdf
15. Anchukaitis K. J., Wilson R., Briffa K. R., Büntgen U., Cook E. R., D'Arrigo R. Last millennium Northern Hemisphere summer temperatures from tree rings: Part II, spatially resolved reconstructions. *Quaternary Science Reviews*. 2017;163:1-22. <https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.quascirev.2017.02.020>
16. Hudson D. W., Hodgson D. J., Cant M. A., Thompson F. J., Delahay R., McDonald R. A., & McKinley T. J. Importance sampling and Bayesian model comparison in ecology and

- evolution. *Methods in Ecology and Evolution*. 2023;14:2994-3006. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.14237>
17. Leskinen P., Lindner M., Verkerk P. J., Nabuurs G. J., Van Brusselen J., Kulikova E., Hassegawa M., Lerink B. (eds.). Russian forests and climate change. What Science Can Tell Us. *European Forest Institute*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.36333/wscu11>
18. Liu Y., Zhongbao X., Li Z., Keyimu-Märdan Keyum M. Response of radial growth of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* to climate factors in Bashang area of Hebei province. *Acta Ecologica Sinica*. 2022;42:1830-1840. DOI:10.5846/stxb20201027 2750.
19. Pasternak V. Peculiarities of the taxation structure of alder stands of the left-bank forest-steppe of Ukraine / V. Pasternak, S. Bugayov // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2016. No. 238. pp. 39-48. EDN XINDHZ
20. Pyhäjärvi T., Kujala S., Savolainen O. 275 years of forestry meets genomics in *Pinus sylvestris*. *Evolutionary Applications*. 2020;13(1). DOI:10.1111/eva.12809
21. Venäläinen A., Lehtonen I., Mikko L., Ruosteenoja K., Tikkanen O.-P., Viiri H., Ikonen V.-P., Peltola H. Climate change induces multiple risks to boreal forests and forestry in Finland: A literature review. *Global Change Biology*. 2020;26(8):4178-4196. DOI:10.1111/gcb.15183

DOI: 10.34736/FNC.2024.125.2.002.16-21

Reduction numbers and diameter increase of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the Maykop city conditions

Svetlana G. Biganova, Cand. Sci. (Agr.), Associate Professor, ORCID: 0000-0002-0581-3612

Yuri I. Sukhorukikh , e-mail: drsuchor@rambler.ru, Dr. Sci. (Agr.), Professor, ORCID: 0000-0001-5073-6102

Lyubov A. Kolesova, Master Student

Ekaterina O. Kiyashkina, Post-Graduate

Maykop State Technological University, e-mail: info@mkgtu.ru,
385000, Pervomajskaya st., build. 191, Maykop city, Russia

Abstract. The study of the reduction numbers changes regularity of trunk diameters and the width of annual rings in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) makes it possible to solve economic and scientific problems. The aim of the research was to establish the values of reduction numbers and the width of annual rings during the growth period of Scots pine in an artificial forest on the Maikop city outskirts in the Republic of Adygea. Such studies for that species are being carried out for the first time in the region. 100 individuals of the species were studied. Taxation indicators were determined by generally accepted methods. Statistical data processing was performed using the Stadia 8.0 software for Windows, graphical data processing was performed using the Excel software. The reduction numbers were determined using the Schiffel method and newly calculated models. The reduction numbers determined by the Schiffel method had no statistical difference from the classical ones ($F = 0.0119$, significance = 0.989) and varied in parallel (T -parallelism = 0.504, significance = 0.6255). There was also a high statistical relationship between them ($r = 0.9882$, significance = $4.558E-6$). For individual ranks, the differences were significant (rank 0 – 22.66, rank 20 – 6.49, rank 30 – 5.34, rank 100 – 5.64 %). Based on

the calculated models, new reduction numbers values of diameters in the studied conditions are determined. The size of pine trees annual rings in the Maykop city conditions tended to decrease with age. It was adequately approximated by an exponential function ($R^2 = 0.83$). The results obtained can be used to develop recommendations for the pine plantings formation and to assess the impact of external conditions on woody vegetation.

Keywords: forest plantations, annual rings, tree height, bonitet, statistical distribution, correlation

Funding. The work was carried out within the framework of the Maykop State Technological University «Monitoring of the engineering and biological structures condition and development to prevent environmental degradation» topic. Reg. no. AAAAA-A20-120122590046-8.

Citation. Biganova S. G., Sukhorukikh Yu. I., Kolesova L. A., Kiyashkina E. O. Reduction Numbers and Diameter Increase of Scots Pine (*Pinus Sylvestris* L.) in the Maykop City Conditions. *Scientific Agronomy Journal*. 2024;2(125):16-21.

DOI: 10.34736/FNC.2024.125.2.002.16-21

Received: 29.04.2024

Accepted: 07.06.2024

References:

1. Vysotskij A. A., Isakov Yu. N., Komarova O. V. Resin productivity of scots pine offspring of different breeding categories. *Lesovedenie = Russian Journal of Forest Science*. 2022;5:540-548. (In Russ.). Access mode: <https://sciencejournals.ru/cgi/getPDF.pl?jid=lesved&year=2022&vol=2022&iss=5&file=LesVed2204010Vysotskii.pdf>
2. Galako V. A., Shavnin S. A., Vlasenko V. E. [et al.] Features of the pine stands morphological structure in Yekaterinburg city suburban plantations. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2017;5(67):88-90. (In Russ.). EDN ZSMKDL
3. Davydova N. D. The reaction of Scots pine to pollutants excessive emissions into the atmosphere. *Geograficheskij vestnik = Geographical Bulletin*. 2021;1(56):31-41. (In Russ.). DOI: 10.17072/2079-7877-2021-1-31-41
4. Ermakova M. V. The structural and functional organization formation in young scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantations of mixed artificial and natural origin in the berry and mixed-grass pine forests of the Middle Urals conditions. *Lesotekhnicheskij zhurnal = Forestry Engineering Journal*. 2023;13-2(50):43-58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/3>
5. Kel'ko A. F., Dishuk N. G., Torchik V. I. [et al.]. Assessment of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) decorative forms selected by the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus phytopathological state. *Vesci Nacyânaŭnaj akademii navuk Belarusi. Seryâ biâlagiŭčnyh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Biological Series*. 2022;67(4):351-358. (In Russ.). Access mode: <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2022-67-4-351-358>
6. Konovalova A. E., Konovalova M. E., Pimenov A. V. Features of growth in diameter of the red- and yellow-anther forms of Scots pine. *Sibirskij lesnoj zhurnal = Siberian Journal of Forest Science*. 2020;3:63-72. (In Russ.). Access mode: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42957489_98586556.pdf
7. Krajnik V. V. Total antioxidant activity of Siberian pine and Scots pine needles extracts. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya = Vestnic TVGU. Series «Khimiya»*. 2024;1(55):72-82. (In Russ.). Access mode: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_64609487_84449899.pdf
8. Mamsirov N. I. Assessment of the environmental sustainability of the Maykop citu and the Maykop district (Republic of Adygea) agro-landscapes. *Novye tekhnologii = New technologies*. 2022;18(1):129-140. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-1-129-140>
9. Mikhajlova M. I., Chernyshov M. P. Current preservation, growth intensity and sanitary condition of Scots pine trees in the growing geographical forest crops of the Voronezh Region. *Lesotekhnicheskij zhurnal = Forestry Engineering Journal*. 2021;12-1(45):56-67. (In Russ.). Access mode: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/49807/view#article-text>
10. Nikolaeva I. O., Solov'ev V. M. A systematic way to assess the structure of coniferous young trees with aim to form high-productive plantations on the example of the Middle Urals. *Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj sel'skokhozyajstvennoj akademii im. V.R. Filippova = Bulletin of the BSSA named after V. R. Filippov*. 2019;4(57):80-87. (In Russ.). Access mode: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_41648127_68717477.pdf
11. Sazonova T. A., Bolondinskij V. K., Pridacha V. B. Ecological and physiological characteristics of Scots pine. Petrozavodsk. "Verso" Publ. house. 2011. 206 p. (In Russ.). DOI:10.13140/RG.2.1.3057.6169
12. Semenyak N. S., Solomina O. N., Dolgova E. A., Matskovskij V. V. The climatic signal in various parameters of the Scots pine annual rings in the Solovetsky Archipelago. *Geosfernye issledovaniya = Geosphere Research*. 2022;4:149-164. (In Russ.). Access mode: <https://journals.tsu.ru/uploads/import/2284/files/4-149.pdf>
13. Stonozhenko L. V., Najdenova E. V., Roganova S.A. Investigation of the structure and shape of plantings. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa. Lesnoj vestnik*. 2016;20(5):205-214. (In Russ.). Access mode: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_26674966_82696206.pdf
14. Yanbaev R. Yu., Bakhtina S. Yu., Sadykov A. Kh., Red'kina N. N. The climatic signal in the radial growth of young and adult common pine trees. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023;3(67):24-29. (In Russ.). Access mode: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_54722846_64184243.pdf
15. Anchukaitis K. J., Wilson R., Briffa K. R., Büntgen U., Cook E. R., D'Arrigo R. Last millennium Northern Hemisphere summer temperatures from tree rings: Part II, spatially resolved reconstructions. *Quaternary Science Reviews*. 2017;163:1-22. Access mode: <https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.quascirev.2017.02.020>
16. Hudson D. W., Hodgson D. J., Cant M. A., Thompson F. J., Delahay R., McDonald R. A., & McKinley T. J. Importance sampling and Bayesian model comparison in ecology and evolution. *Methods in Ecology and Evolution*. 2023;14:2994-3006. DOI:<https://doi.org/10.1111/2041-210X.14237>
17. Leskinen P., Lindner M., Verkerk P. J., Nabuurs G. J., Van Brusselen J., Kulikova E., Hassegawa M., Lerink B. (eds.). Russian forests and climate change. What Science Can Tell Us. *European Forest Institute*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.36333/wsctu11>
18. Liu Y., Zhongbao X., Li Z., Keyimu-Märdan Keyum M. Response of radial growth of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* to climate factors in Bashang area of Hebei province. *Acta Ecologica Sinica*. 2022;42:1830-1840. DOI:10.5846/stxb20201027 2750
19. Pasternak V., Bugayov S. Peculiarities of the taxation structure of alder stands of the left-bank forest-steppe of Ukraine. *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво*. 2016; 238:39-48.
20. Pyhäjärvi T., Kujala S., Savolainen O. 275 years of forestry meets genomics in *Pinus sylvestris*. *Evolutionary Applications*. 2020;13(1). DOI:10.1111/eva.12809
21. Venäläinen A., Lehtonen I., Mikko L., Ruosteenoja K., Tikkanen O.-P., Viiri H., Ikonen V.-P., Peltola H. Climate change induces multiple risks to boreal forests and forestry in Finland: A literature review. *Global Change Biology*. 2020;26(8):4178-4196. DOI:10.1111/gcb.15183

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.