



## Реакция семенных потомств разных экотипов сосны обыкновенной в географических лесных культурах на изменение климата

Мария И. Михайлова<sup>1</sup> ✉, [schaxina.mary@yandex.ru](mailto:schaxina.mary@yandex.ru), 0000-0003-4767-8233

Михаил П. Чернышов<sup>1</sup>, [lestaks53@mail.ru](mailto:lestaks53@mail.ru), 0000-0001-6360-1135

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация

Рассмотрены отклики деревьев и древостоев лесостепных и степных экотипов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на климатические изменения во взаимосвязи с их текущей сохранностью и санитарным состоянием. По радиальным кернам древесины, взятым в 62-летних семенных потомствах сосны разного географического происхождения у 96 модельных деревьев на 32 пробных площадях, установлены тренды изменения ширины годичных колец и их структура по календарным годам. На примере особо охраняемой природной территории (памятник природы «Ступинское поле» в Воронежской области), на которой не проводились активные хозяйственные мероприятия, влияющие на рост и санитарное состояние древостоев в течение их жизни, показаны величины и характер откликов радиального прироста деревьев разных экотипов сосны на изменения климата с дифференциацией трендов ширины колец по периодам роста. На основе статистической обработки экспериментальных данных измерений 96 кернов древесины выделено три возрастных периода изменения трендов роста по диаметру, а именно: увеличения ширины годичных колец, их уменьшения и стабилизации. От ширины годичных слоев древесины растущих деревьев по всей их высоте, а также от соотношения долей отложившейся ранней и поздней древесины зависят её физико-механические свойства (твёрдость, плотность, сопротивление на излом и др.). Ширина годичных слоев ранней древесины обусловлена как температурным режимом воздуха и почвы в целом за весенне-летний период вегетации, так и количеством выпадающих с разной интенсивностью и периодичностью осадков. Доказано, что тренды роста модельных деревьев в исследованных культурах лесостепных и степных экотипов сосны на 32 пробных площадях синхронно отражают потепление климата, но с различиями, обусловленными их внутривидовым и генетическим разнообразием.

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, географические культуры, лесостепные и степные экотипы, ширина годичных колец, слои ранней и поздней древесины, отклик радиального прироста на изменения климата

**Финансирование:** данное исследование не получало внешнего финансирования.

**Благодарности:** авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Михайлова, М. И. Реакция семенных потомств разных экотипов сосны обыкновенной в географических лесных культурах на изменение климата / М. И. Михайлова, М. П. Чернышов // Лесотехнический журнал. – 2025. . – Т. 15. – № 3 (59). – С. 55–67. – Библиогр.: с. 64–67 (20 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.3/4>

Поступила 02.04.2025. Пересмотрена 03.09.2025. Принята 15.09.2025. Опубликована онлайн 25.09.2025.

## Reaction of seed products of different scots pine ecotypes in geographical forest crops to climate change

Maria I. Mikhailova<sup>1</sup>, ✉, schaxina.mary@yandex.ru  <https://orcid.org/0000-0003-4767-8233>

Mikhail P. Chernyshov<sup>1</sup>, lestaks53@mail.ru  <https://orcid.org/0000-0001-6360-1135>

<sup>1</sup>Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation

### Abstract

The responses of trees and stands of forest-steppe and steppe ecotypes of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) to climatic changes in relation to their current conservation and sanitary condition are considered. According to radial wood cores taken in 62-year-old seed offspring of pines of different geographical origin from 96 model trees on 32 test areas, trends in the width of annual rings and their structure by calendar years have been established. Using the example of a specially protected natural territory (the Stupinskoye Field natural monument in the Voronezh Region), where no active economic measures were carried out that affect the growth and sanitary condition of stands during their lifetime, the magnitude and nature of the responses of radial growth of trees of different ecotypes of pine to climate changes with differentiation are shown. trends in ring widths by growth periods. Based on statistical processing of experimental data from measurements of 96 wood cores, three age periods of changes in growth trends in diameter have been identified, namely, an increase in the width of annual rings, their decrease and stabilization. Its physico-mechanical properties (hardness, density, fracture resistance, etc.) depend on the width of the annual wood layers of growing trees over their entire height, as well as on the ratio of the fractions of early and late wood that has broken off. The width of the annual layers of early wood is determined both by the temperature regime of the air and the soil as a whole during the spring and summer growing season, and by the amount of precipitation with varying intensity and frequency. It is proved that the growth trends of model trees in the studied cultures of forest-steppe and steppe ecotypes of pine on 32 test areas synchronously reflect climate warming, but with differences due to their intraspecific and genetic diversity.

**Keywords:** *Scots pine, geographical crops, forest-steppe and steppe ecotypes, the width of annual rings, layers of early and late wood, the response of radial growth to climate change*

**Funding:** This study did not receive external funding.

**Acknowledgments:** authors thank the reviewers for their contribution to the peer review.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Mikhailova M. I., Chernyshov M. P. (2025). The reaction of seed progeny of different ecotypes of Scots pine in geographical forest crops to climate change. Forestry Engineering journal, Vol. 15, No. 3 (59), pp. 55-67 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.3/4>

*Received* 02.04.2025. *Revised* 03.09.2025. *Accepted* 15.09.2025. *Published online* 25.09.2025.

### Введение

Конец XIX – начало XXI века совпали с эпохой повышения температур на нашей планете [1]. Долговременные отклонения климата в сторону повышения температуры и понижения влажности привели к смещению исторически сложившихся в ходе эволюционного процесса границ растительных зон и ландшафтов в северном направлении. Отдельные ученые [2] считают современный исторический период достаточно благоприятным для роста и развития лесной растительности.

Известно, что естественные экосистемы по сравнению с культивируемыми и чистыми по составу фитоценозами более пластичны и обладают более высоким уровнем видового, генетического, биологического и экологического разнообразия [3]. Кроме того, простые по форме моновидовые и культивируемые фитоценозы менее устойчивы к вредным организмам и резким изменениям условий внешней среды. Каждая экосистема и каждый входящий в неё биологический вид, равно как и семенные потомства их географических экотипов, перемещенные на разновеликие расстояния от материнских популяций, и произрастающие в иных и новых для них лесорастительных условиях, реагируют на повышение или температуры и понижение влажности в том или ином регионе по-разному. Однако реакция семенных потомств регионально и климатически разных экотипов сосны обыкновенной в географических лесных культурах на изменение климата до сих пор остается не изученной.

### Обзор состояния проблемы

Известно, что все растущие деревья ежегодно формируют в течение вегетационного периода разновеликое по ширине годовое кольцо древесины, откладывающееся от камбия поверх поздней древесины годового кольца предыдущего календарного года [5]. Годовые кольца древесины у хвойных и кольцесосудистых древесных пород состоят из двух отличающихся по плотности, цвету, структуре, анатомическому строению и, как правило, неравновеликих по ширине их составных частей – слоев ранней и поздней древесины [5, 6]. Ширина и структура древесины годовых колец во многом зависят от биологического возраста дерева, его

жизненного состояния, богатства условий местопрорастания, занимаемого им положения в пологом древостое и напряженности роста, площади питания, полноты и погодных условий в течение сезонов (весна, лето, осень) вегетационного периода того или иного календарного года и других факторов. Таким образом, именно годовые кольца древесных пород и их анатомическая структура являются надежным хранителем ценнейшей биоинформации о влиянии климата на рост деревьев и насаждений в течение минувших столетий [1, 4]. Реакция отдельных деревьев и древостоев семенных потомств сосны обыкновенной разных географических экотипов, собранных на одном полигоне географических лесных культур, созданном под руководством проф. М.М. Вересина в 1959 г., на изменения климата до сих пор остается не изученной. В связи с этим её выявление и оценка являлись целью исследований.

В ходе анализа литературы установлено, что проведенные ранее дендрохронологические исследования были посвящены вопросам поглощения лесами углекислого газа из атмосферы, депонированию углерода в древесине, эмиссии углекислого газа при лесных пожарах [1, 7]. Ряд научных статей посвящены изучению послепожарных сукцессий естественных лесов хвойных пород [8] и их восстановлению в разных регионах, а также динамике роста сохранившихся сильно-, средне- и слабоповрежденных лесных насаждений в изменившихся после ликвидации лесных пожаров лесорастительных условиях [9, 10]. Отдельные работы освещают организацию экологического мониторинга лесных экосистем, популяций, лесных насаждений и древостоев отдельных лесообразующих пород и полученные разными методами результаты [11]. Ряд публикаций посвящен ухудшению санитарного состояния лесных насаждений, влиянию на их рост техногенного загрязнения окружающей среды и нерегулируемой лесной рекреации [12]. В некоторых работах [13, 14] рассмотрены вопросы эволюционного развития лесов, биоиндикации и фиксации происходящих в них пространственных, структурных, качественных и количественных изменений с использованием методов дендрохронологии и статистического анализа ширины и структуры годовых колец. Окружающая среда и сомкнутый полог насаждений сглаживают

влияние кратковременных изменений погодных условий, и наоборот, продолжительные и обильные осадки, либо повышенные температуры оказывают прямое влияние на усиление или замедление роста лишь в последующие недели. Таким образом, явное проявление отклика слоев древесины наблюдается только при длительных и устойчивых изменениях погодных условий. Реже и в меньшей степени оказывают влияние на прирост климатические условия предыдущих лет [15]. Иногда кратковременная засуха в первой половине вегетационного периода вызывает формирование ложных слоев поздней древесины внутри слоя ранней древесины. Следует помнить, что по лесорастительному эффекту 10-15 мм осадков, разово выпавших в мае на влажную почву, не одно и то же, что 10-15 мм осадков, выпадающих в августе на сухую почву. То есть при равном количестве выпавших атмосферных осадков их лесорастительный эффект бывает разным. Поэтому количество выпадающих осадков играет первостепенную роль только в первой половине вегетационного периода, когда формируется слой ранней древесины, а не во второй его половине. Следовательно, важно учитывать не только количество выпадения осадков, но и фактор времени. Дело в том, что корневая система у сосны поверхностная и простирается преимущественно в верхнем 40-сантиметровом слое почвы, за исключением трех-пяти якорных и главного стрежневого корня, простирающихся вглубь до 1,0-1,5 м. Именно они снабжают деревья необходимой влагой для продолжения роста (рисунок 1).



Рисунок 1 – Поверхностная корневая система сосны обыкновенной на супесчаных почвах в типе леса свежая суборь (B<sub>2</sub>), приводящая к ветровалу

Figure 1 – The surface root system of Scots pine on sandy loamy soils in the forest type fresh subor (B<sub>2</sub>), leading to a windblow.

Источник: собственная композиция авторов  
Source: author's composition

Подача влаги по трахеидам заболони ствола в крону дерева осуществляется путем смены горизонтов почвы с доступной влагой. Поэтому даже в засушливые 1-2-недельные периоды деревья хвойных пород не увядают и хвою не сбрасывают, но режим транспирации влаги заметно замедляется и тургор в клетках хвоинок снижается. Начало функционирования клеток ксилемы и ход формирования паренхимы, смоляных ходов, волокон либриформа и проводящих элементов трахеид в годичном кольце очередного года по всей высоте ствола дерева происходит последовательно с внутренней стороны камбия, сначала в слое ранней древесины, а в августе-сентябре и поздней древесины. Ход роста дерева в высоту опережает его утолщение по диаметру и происходит весной-начале лета в ходе фотосинтеза охвоенных побегов в кроне дерева, интенсивность которого зависит состояния и структуры его ассимиляционного аппарата. Ежегодно с наступлением теплой погоды на побегах сначала раскрываются ростовые почки, затем из них растут новые пучки из двух хвоинок, а из апикальных почек – новые побеги текущего года (рисунки 2-5).



Рисунок 2 – Рост новых побегов у деревьев сосны

Figure 2 – Growth of new shoots in pine trees

Источник: собственная композиция авторов  
Source: author's composition



Рисунок 3 – Цветение у деревьев сосны

Figure 3 – Flowering in pine trees

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition



Рисунок 4 – Развитие на побегах деревьев сосны генеративных органов текущего (1) и прошлого года (2)

Figure 4 – Development of generative organs on pine tree shoots of the current (1) and last year (2)

Источник: собственная композиция авторов  
Source: author's composition



Рисунок 5 – Рост и развитие на побегах деревьев сосны генеративных органов текущего (1), прошлого (2) и позапрошлого (3) года

Figure 5 – Growth and development on the shoots of pine trees of the generative organs of the current (1), last (2) and the year before (3) last

Источник: собственная композиция авторов  
Source: author's composition

При этом с началом активного роста новых побегов интенсивно расходуются запасы питательных веществ, накопленные в тканях прошлого года, а новые их запасы только начинают формироваться и откладываться в очередном годичном кольце.

#### Материалы и методы

Объект исследований – 59-61-летние деревья и древостои, являющиеся семенным потомством разных географических лесостепных и степных экотипов сосны обыкновенной на полигоне «Ступинское поле» в Рамонском участковом лесничестве Воронежского лесничества.

Полигон географических культур был заложен на землях из-под сельскохозяйственного пользования путем посадки под меч Колосова в 1959 г. 2-летних сеянцев сосны, выращенных на местном питомнике из семян урожая 1956 г., заготовленных в разных лесничествах бывшего СССР. Всего на полигоне площадью 24,5 га представлено 245 экотипов

сосны, размешенных рядами в равновеликих по размеру блоках (0,05 га). Размещение семян в рядах через 0,5 м, а рядов – через 1,5 м. Начальная густота посадки семян всех экотипов одинаковая  $\approx 13,0$  тыс. шт. на 1 га.

В течение 2018-2020 гг. в географических лесных культурах были заложены 32 пробные площади, в том числе 18 шт. – в лесостепных экотипах и 14 шт. – степных экотипах [17]. На каждой пробной площади (ПП) осуществляли сплошной перебор деревьев с измерением диаметра их стволов на высоте 1,3 м мерной вилкой с точностью 0,1 см и с одновременной оценкой санитарного состояния по соответствующим диагностическим признакам шкалы действующих «Правил санитарной безопасности в лесах»<sup>1</sup>. Текущую сохранность деревьев на ПП определяли в процентах путем деления числа растущих деревьев на начальную густоту посадки семян (13,0 тыс. шт./га). Другие лесоводственно-таксационные показатели деревьев и древостоев (средний диаметр и высота, полнота, запас) определяли по общепринятым в лесной таксации методикам. Название географическим экотипам дано по наименованию лесничеств, в которых были заготовлены семена в 1956 г.

Весной 2021 г. на каждой ПП у трех средних по диаметру и высоте модельных деревьев с западной стороны были взяты радиальные керны древесины при помощи возрастного бурава марки «Haglof-60» на высоте 1,3 м, относящихся к категории «без признаков ослабления» (рисунок 6).



Рисунок 6 – Керны древесины, извлеченные на высоте 1,3 м у средних по диаметру и высоте 62-летних модельных деревьев лесостепных (вверху) и степных (внизу) экотипов

Figure 6 – Wood cores extracted at a height of 1.3 m from 62-year-old medium-diameter and height model forest-steppe (above) and steppe (below) trees ecotypes

Источник: собственная композиция авторов  
Source: author's composition

Извлеченные у 96 модельных деревьев керны древесины датировали от периферии к сердцевине ствола дерева, начиная с последнего полного кольца 2020 г. На комплексе «Линтаб-6» и с помощью программы TsapWin<sup>2</sup> измеряли ширину каждого годичного кольца, а также ширину слоев ранней и поздней древесины. Всего измерено более 5,0 тыс. годичных колец с разделением их на раннюю и позднюю древесину. Полученные данные обработали с помощью известных программ Statistica-8, Excel-10 и Excel-16.

Ниже приводятся полученные результаты, относящиеся к оценке влияния изменений климата на ширину и структуру годичных колец в 62-летних семенных потомствах лесостепных и степных географических экотипов сосны обыкновенной, перемещенных на полигон «Ступинское поле» на разное расстояние из разных регионов СССР.

### Результаты

Установлено, что в теплые и влажные годы ширина слоев ранней и поздней древесины заметно больше, чем в засушливые или сухие годы. Кроме того, на изменение ширины и структуры (доли слоев ранней и поздней древесины в %) годичных колец, на тренды их динамики по календарным годам и конкретным этапам роста (молодняки, средневозрастные, приспевающие, спелые и перестойные) и большое влияние оказывают меняющиеся во времени условия климата региона (температура, осадки, влажность, ГТК) предыдущего года [1, 3, 4].

Одним из объективных критериев выявления наличия и оценки степени влияния изменения климата на рост семенных потомств разных географических экотипов и является сравнительная оценка текущей сохранности деревьев в них на дату закладки ПП. По мере увеличения возраста деревьев

<sup>1</sup> Правила санитарной безопасности в лесах. /Утверждены Постановлением Правительства РФ от 20 мая 2017 г. № 607. URL: <http://rosleshoz.gov.ru> (дата обращения 10.09.2022)

<sup>2</sup> Rinn, F. TSAPWin Time series analysis and presentation: dendrochronology and related applications. Version 4.64 – Heidelberg, Germany. – 2011 – 92 p.

конкуренция между высаженными в 1959 г. растениями обострялась как внутри рядов, так и между смежными рядами. При этом в ходе естественного отбора, внутривидовой и индивидуальной изменчивости роста и развития деревьев, а также их реакции на изменения климата по вегетационным периодам и календарным годам происходила их дифференциация на лидирующие, средние и отстающие, обуславливающая внутреннюю структуру микропопуляций того или иного экотипа сосны и их текущую сохранность, а также соответствующее текущее санитарное состояние в том или ином возрасте, обусловленное наличием либо отсутствием вредных организмов, и величину естественного отпада в разные возрастные периоды.

Сведения о текущей сохранности деревьев на ПП в лесостепных и степных экотипах сосны приведены в работах [4, 12, 13, 17, 19, 20, 21].

Текущая (на даты закладки ПП) сохранность 59-61-летних деревьев варьирует в достаточно широких пределах. Так, максимальная сохранность для лесостепных экотипов характерна для ПП 9-18 (Б. Сталинский экотип Курской области – 10,15 %), а минимальная – для ПП 1-18 (Хреновской экотип Воронежской области – 3,54 %). Максимальная сохранность деревьев в древостоях степных экотипов характерна для ПП 26-20 – 7,54% (Б. Михайловский экотип Днепропетровский области), а минимальная (2,46%) – для ПП 21-20 (Рахинский экотип Волгоградской области). Какой-либо закономерности в размещении и чередовании мест отпада деревьев на ПП в рядах культур лесостепных и степных экотипов сосны нами не было установлено. Различия текущей сохранности деревьев между двумя группами экотипов показаны на Boxplot-диаграмме (рисунок 7).

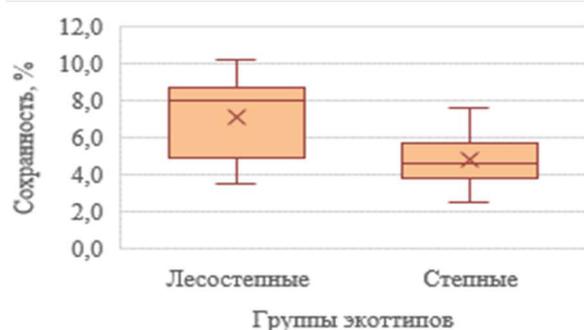


Рисунок 7 – Boxplot-диаграмма различий текущей сохранности деревьев на ПП в древостоях лесостепных и степных экотипов

Figure 7 – Boxplot-diagram of differences in the current preservation of trees on the SP in forest-steppe and steppe ecotype forest stands

Источник: собственные вычисления авторов.  
Source: own calculations

Установлено, что текущая сохранность деревьев в степных экотипах сосны отличается от лесостепных и варьирует от 2,5 до 7,5%. Средняя её величина в потомствах лесостепных экотипов равна 7,1 %, а у степных она меньше – 4,8 %. Полученные результаты статистически достоверны и подтверждают различия адаптационного потенциала степных экотипов в лесостепных условиях, а также их разную реакцию на изменение климата ( $t_{0,95}=3,69 > 1,98$ ).

Подробная таксационная характеристика модельных деревьев, у которых были взяты радиальные керны древесины на высоте 1,3 м, на ПП в древостоях лесостепных и степных экотипов, приведена в монографии авторов [20].

Текущее распределение деревьев в древостоях лесостепных и степных экотипов сосны по категориям санитарного состояния показано на рисунке 8.

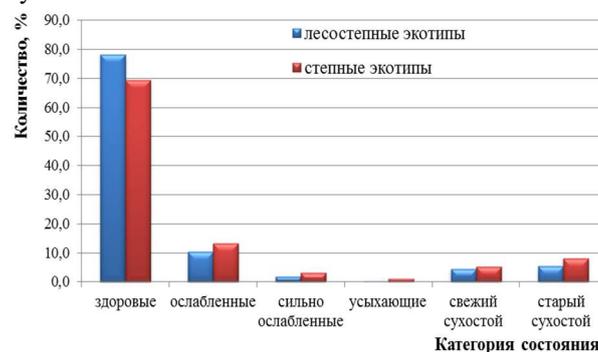


Рисунок 8 – Распределение числа деревьев по категориям санитарного состояния в древостоях лесостепных и степных экотипов

Figure 8 – Distribution of the number of trees by categories of sanitary condition in the stands of forest-steppe and steppe ecotypes

Источник: собственные вычисления авторов.  
Source: own calculations

В ходе анализа величин средних диаметров на высоте 1,3 м ( $D_{1,3}$ ) и у поверхности почвы ( $D_{0,0}$ ) у модельных деревьев с извлеченными кернами древесины установлено, что их различия у двух исследуемых групп экотипов статистически не достоверны.

Коэффициент достоверности различий  $t_{0,95} = 0,78 < 1,98$ .

Результаты анализа не существенности выявленных различий наглядно отражает статистическая **Boxplot**-диаграмма (рисунок 9).

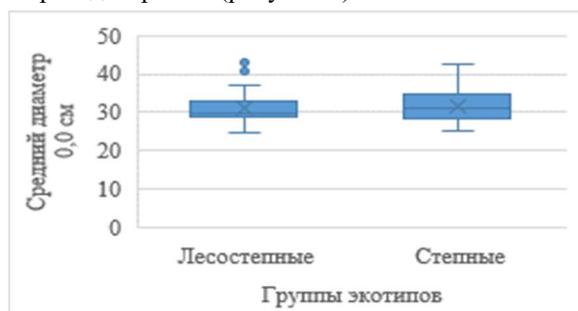


Рисунок 9 – **Boxplot**-диаграмма, отражающая несущественность различий величин средних диаметров на высоте 0,0 м у модельных деревьев на ПП в группах лесостепных и степных экотипов

Figure 9 is a **Boxplot** diagram reflecting the insignificance of differences in the values of average diameters at a height of 0.0 m in model trees on PP in groups of forest-steppe and steppe ecotypes

Источник: собственные вычисления авторов.  
Source: own calculations

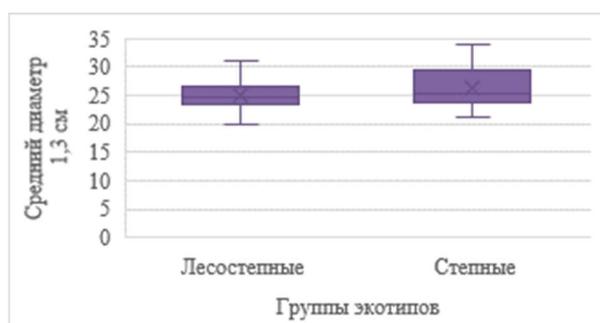


Рисунок 10 – **Boxplot**-диаграмма, отражающая несущественность различий величин средних диаметров на высоте 1,3 м у модельных деревьев на ПП в группах лесостепных и степных экотипов

Figure 10 is a **Boxplot** diagram reflecting the insignificance of differences in the values of average diameters at a height of 1.3 m in model trees on PP in groups of forest-steppe and steppe ecotypes

Источник: собственные вычисления авторов.  
Source: own calculations

Примеры изменения трендов радиального прироста средних модельных деревьев по календарным годам на ПП лесостепных и степных экотипов

для наглядности и сравнимости представлены соответственно на рисунках 11 и 12.

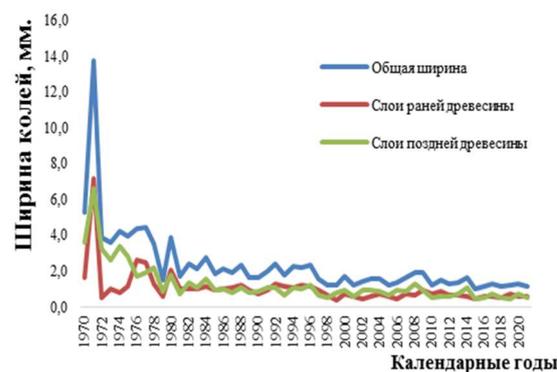


Рисунок 11 – Тренды изменения общей ширины годичных колец, слоев ранней и поздней древесины по календарным годам у средних модельных деревьев на ПП-22-20 (Арчединский экотип Волгоградской области)

Figure 11 – Trends of changes in the total width of annual rings, layers of early and late trees by calendar years in average model trees on PP-22-20 (Archedinsky ecotype of the Volgogradsky region)

Источник: собственные вычисления авторов.  
Source: own calculations



Рисунок 12 – Тренды изменения общей ширины годичных колец, слоев ранней и поздней древесины по календарным годам у средних модельных деревьев на ПП-16-20 (Совиевский экотип Черкасской области)

Figure 12 – Trends of changes in the total width of annual rings, layers of early and late wood by calendar years in medium-sized model trees on PP-16-20 (Sovievsky ecotype of Cherkassy region)

Источник: собственные вычисления авторов.  
Source: own calculations

По характеру выявленных направлений трендов радиального прироста нами выделено три возрастных этапа их изменения:

- этап увеличения ширины годовых колец после начала активного роста сеянцев в высоту и по диаметру и до полного смыкания молодняков, наступающего в 10 летнем возрасте;

- этап снижения ширины годовых колец с 10 лет до 18 лет (для лесостепных экотипов) и до 20 лет (у степных экотипов);

- этап стабилизации радиального прироста с 18-20 летнего возраста и до настоящего времени

В связи с тем, что керны древесины у модельных деревьев извлекались в конце апреля 2021 г., то годовое кольцо за этот календарный год еще не сформировалось. Поэтому датировка годовых колец на кернах велась с 2020 календарного года. Ложные и выпавшие кольца не выявлены. У всех моделей отсутствует начальный период депрессии радиального прироста. При анализе данных о ширине и структуре годовых колец по календарным годам на 32 ПП установлено, что увеличение общей ширины колец у лесостепных и степных экотипов наблюдалось синхронно в одни и те же календарные годы: 1967, 1978, 1990 и 2004 гг., характеризующиеся температурой ниже её среднемноголетних величин и влажностью, превышающей среднемноголетние их параметры [19].

В первой половине сезона (май-июль) колебания влажности и температуры отражаются в текущем годовом кольце, а во второй (август-сентябрь) – в кольце следующего года. Причем увеличение прироста наблюдалось преимущественно за счет слоев ранней древесины, формирование которой по времени происходит в основном в первой половине вегетационного периода. Уменьшение общей ширины годовых колец и соответственно слоев ранней и поздней древесины у всех экотипов наблюдалось в следующие годы - 1972, 1975, 1992, 2003 и 2010 гг. Однако ответная реакция на потепление или похолодание климата в отдельные календарные годы у лесостепных и степных экотипов различается как по абсолютной величине годового прироста, так и по относительной (%). Так, динамика ширины слоев поздней древесины, из-за более короткого периода их формирования (более теплая и засушливая

половина вегетационного периода по сравнению с весенним) по календарным годам более стабильная и мало изменчивая по сравнению со слоями ранней древесины. Установлено, что семенные потомства лесостепных и степных экотипов по-разному откликаются на изменения (потепление) климата.

### Обсуждение

На основании анализа всей совокупности данных, полученных на 32 ПП в древостоях двух групп семенных потомств экотипов сосны, можно сделать общее заключение о том, что лучшее жизненное состояние имеют её лесостепные экотипы: 1,2 балла Колодезский из Липецкой, 1,3 балла Уразовский из Белгородской и 1,3 балла Б. Сталинский из Орловской областей, у которых признаки пластичности к изменяющимся климатическим условиям закреплены генетически. Худшим санитарным состоянием характеризуются степные экотипы сосны из Саратовской области (2,6 балла).

Оценка жизненного состояния древостоев 59-61-летних географических культур сосны обыкновенной в новых условиях произрастания показывает, что более высокий (лучший) средний балл имеют экотипы, семена которых были завезены из прилегающих к Воронежу районов с аналогичными или близкими природно-климатическими условиями. В целом для всей совокупности древостоев на ПП в лесостепных экотипах средневзвешенный балл состояния равен  $1,6 \pm 0,06$  балла, а на ПП в степных экотипах он чуть меньше –  $1,8 \pm 0,13$  балла.

Среди группы лесостепных экотипов лучшую текущую сохранный показал Б. Сталинский экотип из Курской области (10,5 %), а худшую – Хреновской (3,54 %) из Воронежской области и Платоновский (3,65 %) из Тамбовской области.

Среднестатистические величины общей ширины годовых колец у модельных деревьев степных экотипов достоверно выше, чем у лесостепных ( $2,346 \pm 0,210$  и  $2,065 \pm 0,197$  мм). Аналогичная ситуация выявлена у этих двух групп экотипов по ширине слоев ранней ( $1,360 \pm 0,148$  и  $1,182 \pm 0,130$  мм) и поздней древесины ( $0,986 \pm 0,072$  и  $0,882 \pm 0,071$  мм соответственно).

Исследования по направленности трендов роста (увеличение ширины, уменьшение ширины и её

стабилизация), показали, что множественные параметры ширины годичных колец лесостепных и степных экотипов сосны в географических лесных культурах и её изменчивость обеспечивают четкое понимание реакции роста растений на изменение климата и могут рассматриваться как их положительные или отрицательные отклики для изучения климатических изменений в прошлые исторические периоды, в том числе и сезонных. При этом колебания зимних температур на прирост не влияют. Реакция деревьев на осадки в сравнении с температурой выражена более четко с мая по июнь. Дальнейшие более глубокие генетические исследования анатомической структуры годичных колец необходимо провести с использованием микрофотографий окрашенных тонких срезов древесины и ДНК-маркеров.

### Выводы

Из всего изложенного выше можно сделать вывод о том, что семенные потомства степных эко-

типов более адаптивны и активно реагируют на изменившиеся климатические и лесорастительные условия, выражающиеся в увеличенных величинах радиального прироста по сравнению с лесостепными экотипами по календарным годам и этапам роста (до 10 лет, 11-20 лет и 41-60 лет), предопределяющих меньшую хозяйственно-техническую ценность и качество их стволовой древесины на протяжении всех этапов роста. Следовательно, с целью повышения хозяйственно-технической ценности стволовой древесины более целесообразно создавать новые сосновые леса в лесостепной лесорастительной зоне европейской части РФ из перспективных по комплексу признаков местных лесостепных экотипов.

Таким образом, при воспроизводстве сосновых лесов будущего в том или ином регионе необходимо использовать семена и посадочный материал только от местных и устойчивых к изменению климата популяций.

### Список литературы

1. Тараканов, В. В. Лесная селекция в России: достижения, проблемы, приоритеты (обзор) / В. В. Тараканов, М. М. Паленова, О. В. Паркина, Р. В. Роговцев, Р. А. Третьякова // Лесохозяйственная информация. — 2021. — № 1. — С. 100–143. — DOI: 10.24419/LNI2304-3083.2021.1.19.
2. Мерзленко, М. Д. Лесоводственные особенности деревьев лиственницы европейской разных классов Крафта в лесных культурах / М. Д. Мерзленко, В. А. Брынцев, П. Г. Мельник, А. А. Коженкова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. — 2025. — № 4. — С. 9–19. — DOI: 10.37482/0536-1036-2025-4-9-19.
3. Мельник, П. Г. Рост, продуктивность и сохранность климатипов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Мещёрской низменности / П. Г. Мельник // Лесной вестник / Forestry Bulletin. — 2024. — Т. 28, № 5. — С. 68–82. — DOI: 10.18698/2542-1468-2024-5-68-82.
4. Михайлова, М. И. Текущая сохранность, напряженность роста и санитарное состояние деревьев сосны обыкновенной в приспевающих географических лесных культурах Воронежской области / М. И. Михайлова, М. П. Чернышов // Лесотехнический журнал. — 2022. — Т. 12, № 1 (45). — С. 56–67. — DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2022.1/5.
5. Мерзленко, М. Д. Интродукция климатипов лиственницы европейской в зоне смешанных лесов / М. Д. Мерзленко, П. Г. Мельник, А. А. Коженкова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. — 2022. — № 5. — С. 37–46. — DOI: 10.37482/0536-1036-2022-5-37-46.
6. Rabko, S., Kozel, A., Kimeichuk, I., & Yukhnovsky, V. (2021). Comparative assessment of some physical and mechanical properties of wood of different Scots pine climatypes. *Scientific Horizons*, 24(2), 27–36. [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(2\).2021.27-36](https://doi.org/10.48077/scihor.24(2).2021.27-36).
7. Галдина, Т. Е. Внутривидовое разнообразие *Pinus sylvestris* L. в географических культурах Центральной лесостепи / Т. Е. Галдина, А. И. Чернодубов, М. И. Михайлова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. — 2023. — № 3. — С. 84–98. — DOI: 10.37482/0536-1036-2023-3-84-98.
8. Stavrova, N., Gorshkov V., Katjutin P., Bakkal I. The structure of northern siberian spruce–scots pine forests at different stages of post-fire succession. *Forests*. 2020; 1(5): 558. DOI:org/10.3390/fl1050558

9. Yurttimaa, T., Saarinen N, Kankare V., et. all. Performing ground-based laser scanning to characterize stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) grown under growing conditions depends on structural changes. *Forest Journal of Photogrammetry Isprs and Remote. 2020; Sensing* 168. p. 277-287.
10. Parfenova E.I., Kuzmina N.A., Kuzmin S.R., Tchebakova N.M. Climate Warming Impacts on Distributions of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Seed Zones and Seed Mass across Russia in the 21st Century. *Forests*, 2021; v. 12, p. 1097. DOI.org/ 10.3390/f12081097
11. Matisons, R., Jansone, D., Bāders, E., Dubra, S., Zeltiņš, P., Schneck, V., & Jansons, Ā. Weather–growth responses show differing adaptability of scots pine provenances in the south-eastern parts of baltic sea region. *Forests*.2021; 12(12). DOI:10.3390/f12121641
12. Chernyshov, M. P. The structure in diameter and sanitary condition of geographical cultures of Scots pine / М. П. Чернышов, М. И. Михайлова // International Forestry Forum «Forest ecosystems as global resource of the biosphere: calls, threats, solutions» (FORESTRY-2021), 9-10 September, 2021, Voronezh. –VOLUME 875. 875 p. 1-11 012054. DOI:10.1088/1755-1315/875/1/012054.
13. Михайлова, М. И. О лучших геоэкотипах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) для искусственного лесовосстановления / М. И. Михайлова, М. П. Чернышов, С. В. Ребко // Лесотехнический журнал. — 2023. — Т. 13, № 4 (52), ч. 1. — С. 58–71. — DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2023.4/4.
14. Prietzel, J., Falk W., Pretzsch G., et. all. Half a century of monitoring the ecosystem of the common pine forest reveals the long-term consequences of atmospheric deposition and climate chang. *Glob. Chan. Biol.* 2020; 26 (10): 5796. DOI:10.1111/gcb.15265
15. Wen, T., Qu, Y., Lu, K., Guan, C., & Zhao, C. Combining tree-ring width and carbon isotope data to investigate stem carbon allocation in an evergreen coniferous species. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2022; 316. DOI:10.1016/j.agrformet.2022.108845
16. Nakvasina E.N., Prozherina N.A. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) reaction to climate change in the provenance tests in the north of the Russian plain // *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*. 2021; v. 63 (2). pp. 138-149. DOI.org/ 10.2478/ffp-2021-0015
17. Михайлова, М. И. Особенности строения географических лесных культур сосны обыкновенной по диаметру / М. И. Михайлова, М. П. Чернышов // Лесотехнический журнал. — 2021. — Т. 11, № 1 (41). — С. 46–55. — DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.1/4.
18. Esper J., Riechelmann D.F.C., Holzkämper S. Circumferential and Longitudinal  $\delta^{13}C$  Variability in a Laridacidua Trunk from the Swiss Alps. *Forests*. 2020; vol. 11, no. 1, art. no. 117. DOI.org/10.3390/f11010117
19. Чернышов, М. П. Географические лесные культуры сосны обыкновенной в Центральном Черноземье: монография / М. П. Чернышов, М. И. Михайлова ; ФГБОУ ВО «ВГЛУ». — Воронеж, 2024. — 196 с.
20. Yurttimaa T., Multisensorial close-range sensing generates benefits for characterization of managed Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands. *ISPRS Int. J. Geo-Information*. 2020; 9. pp. 1-14. DOI:10.3390/ijgi9050309.

### References

1. Tarakanov, V. V., Palenova, M. M., Parkina, O. V., Rogovtsev, R. V., & Tretyakova, R. A. (2021). Forest selection in Russia: achievements, problems, priorities [Лесная селекция в России: достижения, проблемы, приоритеты (обзор)]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry Information], (1), 100–143. <https://doi.org/10.24419/LHI2304-3083.2021.1.19> (in Russ.)
2. Merzlenko, M. D., Bryntsev, V. A., Melnik, P. G., & Kozhenkova, A. A. (2025). Silvicultural features of European larch trees of different Kraft classes in forest plantations [Лесоводственные особенности деревьев лиственницы европейской разных классов Крафта в лесных культурах]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Forest Journal], (4), 9–19. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-4-9-19> (in Russ.)
3. Melnik, P. G. (2024). Growth, productivity and survival of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) climatypes in the conditions of the Meshchera Lowland [Рост, продуктивность и сохранность климатипов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Мещёрской низменности]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 28(5), 68–82. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2024-5-68-82> (in Russ.)

4. Mikhailova, M. I., & Chernyshov, M. P. (2022). Current preservation, growth intensity and sanitary condition of Scots pine trees in maturing geographical forest cultures of the Voronezh region [Текущая сохранность, напряженность роста и санитарное состояние деревьев сосны обыкновенной в приспевающих географических лесных культурах Воронежской области]. *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 12(1(45)), 56–67. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.1/5> (in Russ.)
5. Merzlenko, M. D., Melnik, P. G., & Kozhenkova, A. A. (2022). Introduction of European larch climatotypes in the mixed forests zone [Интродукция климатипов лиственницы европейской в зоне смешанных лесов]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Forest Journal], (5), 37–46. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-5-37-46> (in Russ.)
6. Rabko, S., Kozel, A., Kimeichuk, I., & Yukhnovsky, V. (2021). Comparative assessment of some physical and mechanical properties of wood of different Scots pine climatotypes. *Scientific Horizons*, 24(2), 27–36. [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(2\).2021.27-36](https://doi.org/10.48077/scihor.24(2).2021.27-36)
7. Galdina, T. E., Chernodubov, A. I., & Mikhailova, M. I. (2023). Intraspecific diversity of *Pinus sylvestris* L. in geographical cultures of the Central forest-steppe [Внутривидовое разнообразие *Pinus sylvestris* L. в географических культурах Центральной лесостепи]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Forest Journal], (3), 84–98. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-3-84-98> (in Russ.)
8. Stavrova, N., Gorshkov V., Katjutin P., & Bakal, I. (2020). The structure of northern siberian spruce–scots pine forests at different stages of post-fire succession. *Forests*, 11(5), 558. <https://doi.org/10.3390/f11050558>
9. Yurttima, T., Saarinen, N., Kankare, V., et al. (2020). Performing ground-based laser scanning to characterize stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) grown under growing conditions depends on structural changes. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 168, 277–287. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.08.015>
10. Parfenova, E. I., Kuzmina, N. A., Kuzmin, S. R., & Tchebakova, N. M. (2021). Climate Warming Impacts on Distributions of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Seed Zones and Seed Mass across Russia in the 21st Century. *Forests*, 12(8), 1097. <https://doi.org/10.3390/f12081097>
11. Matisons, R., Jansone, D., Bādērs, E., Dubra, S., Zeltiņš, P., Schneck, V., & Jansons, Ā. (2021). Weather–growth responses show differing adaptability of scots pine provenances in the south-eastern parts of baltic sea region. *Forests*, 12(12), 1641. <https://doi.org/10.3390/f12121641>
12. Chernyshov, M. P., & Mikhailova, M. I. (2021). The structure in diameter and sanitary condition of geographical cultures of Scots pine. In \*International Forestry Forum «Forest ecosystems as global resource of the biosphere: calls, threats, solutions» (FORESTRY-2021)\* (Vol. 875, p. 012054). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/875/1/012054>
13. Mikhailova, M. I., Chernyshov, M. P., & Rabko, S. V. (2023). On the best geocotypes of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) for artificial reforestation [О лучших геоэкотипах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) для искусственного лесовосстановления]. *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 13(4(52), part 1), 58–71. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.4/4> (in Russ.)
14. Prietzel, J., Falk, W., Pretzsch, G., et al. (2020). Half a century of monitoring the ecosystem of the common pine forest reveals the long-term consequences of atmospheric deposition and climate change. *Global Change Biology*, 26(10), 5796–5815. <https://doi.org/10.1111/gcb.15265>
15. Wen, T., Qu, Y., Lu, K., Guan, C., & Zhao, C. (2022). Combining tree-ring width and carbon isotope data to investigate stem carbon allocation in an evergreen coniferous species. *Agricultural and Forest Meteorology*, 316, 108845. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.108845>
16. Nakvasina, E. N., & Prozherina, N. A. (2021). Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) reaction to climate change in the provenance tests in the north of the Russian plain. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 63(2), 138–149. <https://doi.org/10.2478/ffp-2021-0015>

17. Mikhailova, M. I., & Chernyshov, M. P. (2021). Features of the structure by diameter of geographical forest cultures of Scots pine [Особенности строения географических лесных культур сосны обыкновенной по диаметру]. *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 11(1(41)), 46–55. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.1/4> (in Russ.)
18. Esper, J., Riechelmann, D. F. C., & Holzkämper, S. (2020). Circumferential and Longitudinal  $\delta^{13}\text{C}$  Variability in a *Larix-decidua* Trunk from the Swiss Alps. *Forests*, 11(1), 117. <https://doi.org/10.3390/f11010117>
19. Chernyshov, M. P., & Mikhailova, M. I. (2024). *Geographical forest cultures of Scots pine in the Central Chernozem Region* [Географические лесные культуры сосны обыкновенной в Центральном Черноземье: монография]. VGLTU. (in Russ.)
20. Yrttimaa, T. (2020). Multisensorial close-range sensing generates benefits for characterization of managed Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(5), 309. <https://doi.org/10.3390/ijgi9050309>

### Сведения об авторах

✉ *Михайлова Мария Игоревна* – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры ботаники и физиологии растений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: 0000-0003-4767-8233, e-mail: schaxina.mary@yandex.ru.

*Чернышов Михаил Павлович* – доктор с.-х. наук, профессор кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: 0000-0001-6360-1135, e-mail: lestaks53@mail.ru.

### Information about the authors

✉ *Maria I. Mikhailova* – Lecturer of the Department of Botany and Plant Physiology of the Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, RCID: 0000-0003-4767-8233, e-mail: schaxina.mary@yandex.ru.

*Mikhail P. Chernyshov* – Professor of the Department of forestry, forest taxation and forest management, Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: 0000-0001-6360-1135 e-mail: lestaks53@mail.ru.

✉ Для контактов | Corresponding author