ТРУДЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ИНСТИТУТА ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

www.journal.spb-niilh.ru
ISSN 2079-6080

DOI 10.21178/2079–6080.2024.4.42
УДК 630*561: 630*11

Индивидуальная (внутривидовая) изменчивость радиального прироста высокопродуктивных древостоев дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в Шиповом лесу Воронежской области

© С.М. Матвеев[1], Д.А. Литовченко[1], А.А. Попова[1], К.В. Крутовский[1,2,3,4], А.В. Мануковская[1]

Individual (intraspecific) variability of radial increment of highly productive stands of common oak (*Quercus robur* L.) in the Shipovyi forest of the Voronezh Region

S.M. Matveev, D.A. Litovchenko, A.A. Popova, K.V. Krutovsky, A.V. Manukovskaya (Voronezh State University of Forestry and Technologies Named after G.F. Morozov; Vavilov Institute of General Genetics; Siberian Federal University; Georg-August-Universität Göttingen)

The aim of this study is to analyze individual variability and response to the dynamics of the main climatic factors of radial increment of Pedunculate oak (*Quercus robur* L.) trees in a natural highly productive stand of the Shipovyi forest (Voronezh Region). The studied oak stand showed a wide range of trunk diameter variation – from 24 to 68 cm, with an average value of 48 cm. The average weighted category of the stand condition is 1.3 – the stand is healthy. As a result of the obtained correlations, similar samples (separate chronologies) by individual increment dynamics and individual response to main climatic factors were combined into three groups: 1) close to the average chronology by growth dynamics (15 samples), characterized by uniform amplitude of fluctuations with preservation of reference years, similar response to climatic conditions; 2) deviating from the average growth dynamics (6 samples); 3) significantly different from the average increment dynamics (anomalous) (4 samples). The main results of the study are as follows. The average synchronicity values for wood species vary from a low synchronicity level according to S.G. Shiyatov scale for the 2nd and 3rd groups, to high synchronicity in the 1st group. For all groups, the key limiting factor is air temperature. The correlation relationship and the strength of the influence of climatic factors on the radial increment of oak decrease in the order from the 1st to the 3rd group of samples. The radial annual increment of late oak wood demonstrates higher variability than early wood. High variability (individual variability) of the increment of individual trees allows this forest stand to be stable, healthy and highly productive. When collecting seeds, creating artificial plantations, it is necessary to preserve the entire spectrum of individual (intraspecific) biodiversity to create stable highly productive stands of common oak.

Key words: Pedunculate oak, highly productive forest stand, radial increment, individual variability

Индивидуальная (внутривидовая) изменчивость радиального прироста высокопродуктивных древостоев дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) В Шиповом лесу Воронежской области

С.М. Матвеев, Д.А. Литовченко, А.А. Попова, К.В. Крутовский, А.В. Мануковская

Целью данного исследования является анализ индивидуальной изменчивости и реакции на динамику ключевых факторов климата радиального прироста деревьев дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в естественном высокопродуктивном древостое Шипова леса (Воронежская область). Исследованный дубовый древостой показал широкий диапазон варьирования по диаметру ствола – от 24 до 68 см, при среднем значении 48 см. Средневзвешенная категория состояния древостоя – 1,3 – древостой здоровый. В результате полученных корреляций сходные образцы (отдельные хронологии) по индивидуальной динамике прироста и индивидуальной реакции на воздействие ключевых факторов климата объединены в три группы: 1) близкие к средней хронологии по динамике прироста (15 образцов), характеризуются равномерной амплитудой колебаний с сохранением реперных лет, сходной реакцией на климатические условия; 2) отклоняющиеся от средней динамикой прироста (6 образцов); 3) значительно отличающиеся динамикой прироста от средней (аномальные) (4 образца). Основные результаты исследования таковы. Осреднённые значения синхронности по видам радиального прироста варьируют от низкого уровня по шкале С.Г. Шиятова для 2-й и 3-й групп, до высокого – в 1-й группе. Для всех групп ключевым лимитирующим фактором является температура воздуха. Корреляционная связь и сила влияния климатических факторов на радиальный прирост дуба снижается от 1-й к 3-й группе образцов. Радиальный годичный прирост поздней древесины дуба проявляет более высокую изменчивость, чем ранняя древесина. Высокая вариативность (индивидуальная изменчивость) прироста отдельных деревьев позволяет данному древостою быть устойчивым, здоровым и высокопродуктивным. При сборе семян, создании искусственных насаждений необходимо сохранять весь спектр индивидуального (внутривидового) биоразнообразия для создания устойчивых высокопродуктивных древостоев дуба черешчатого.

Ключевые слова: дуб черешчатый, высокопродуктивный древостой, радиальный прирост, индивидуальная изменчивость

Матвеев Сергей Михайлович – заведующий каф. лесоводства, лесной таксации и лесоустройства, д-р биол. наук, профессор
E-mail: lisovod@bk.ru

Литовченко Дарья Андреевна – доцент каф. лесоводства, лесной таксации и лесоустройства, канд. биол. наук
E-mail: timashchuk90@mail.ru

Попова Анна Александровна – профессор каф. ботаники и физиологии растений, д-р с.-х. наук
E-mail: logachevaaa@rambler.ru

Крутовский Константин Валерьевич – канд. биол. наук, профессор, главный научный сотрудник Научно-методического центра Воронежского государственного лесотехниче-

ского университета им. Г.Ф. Морозова; ведущий научный сотрудник лаборатории популяционной генетики Института общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, (Москва); профессор кафедры геномики и биоинформатики, руководитель Научно-образовательного центра геномных исследований, зав. лабораторией лесной геномики Института фундаментальной биологии и биотехнологии Сибирского федерального университета (Красноярск); профессор отделения лесной генетики и селекции Гёттингенского университета (Германия)
E-mail: konstantin.krutovsky@forst.uni-goettingen.de

Мануковская Алина Владимировна – преподаватель кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения
E-mail: manykovskayaav@yandex.ru

[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»
394087 г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8

[2]Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН
119991, Москва, ул. Губкина, 3

[3]Сибирский федеральный университет
660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

[4]Гёттингенский университет им. Георга-Августа
37077, Гёттинген, ул. Бюсгенвег, 2, Германия

Введение

В Центральном Черноземье расположены крупные дубравные массивы (Шипов лес, Теллермановская роща), в которых произрастают высокопродуктивные насаждения обладающие богатым внутривидовым разнообразием [1].

Дубовые леса степных и лесостепных районов выполняют средообразующие и защитные функции. Однако, несмотря на общепризнанные и многогранные полезные свойства, дубравы на протяжении многовековой истории интенсивно эксплуатировались, их площади сократились, а генофонд истощен [15, 21].

Дуб черешчатый – это экономически значимый вид в Европе, Центральной России. Южная граница распространения ограничена лесостепью, в степных регионах дуб приурочен к поймам рек. В этих условиях формируются особые генетические резерваты данного вида.

Таким резерватом в Центральной России на территории Восточно-Европейской равнины является Шипов лес. За превосходное качество строевой древесины Петр Великий в 1709 году объявил лесной массив государевым корабельным лесом. В последующем там проводили исследования такие мастера лесного дела, как Д.М. Кравчинский, Г.Ф. Морозов и Н.К. Генко.

Для лесообразующих и экономически важных видов деревьев с целью их сохранения проведены многочисленные исследования по изучению их реакции, генетической основы устойчивости, роста и продуктивности [8, 23, 27]. Проведена оценка происхождения старовозрастных дубовых древостоев в Шиповом лесу [6, 7] и проанализированы их состояние, рост и биологическая продуктивность [4].

Резервом повышения биологической устойчивости, продуктивности и качества дубрав является высокая степень внутривидового разнообразия дуба черешчатого, требующая изучения с применением современных методов исследований.

Дендрохронологические и дендроклиматичекие методы являются эффективным инструментом исследования как индивидуальной изменчивости в динамике роста древесных растений, так и их реакции на текущие и прошлые изменения климатических факторов, позволяющие выявить отклик на разных временных отрезках. Спектр методов дендроклиматического анализа расширяется, появляются работы, объединяющие дендрохронологическое фенотипирование и генотипирование деревьев [26]. Дендрохронологическое фенотипирование позволяет более эффективно проводить мониторинг лесных экосистем и прогнозировать их состояние под действием климатических факторов.

Изучением динамики радиального прироста дуба черешчатого занимались многие исследователи [10, 26], однако они не всегда учитывали внутривидовую изменчивость дуба черешчатого, влияние возраста и устойчивость.

Накопленные к настоящему времени данные, содержащиеся в годичных кольцах, свидетельствуют о непостоянстве частот погодных аномалий во времени [30]. Однако достоверный и основательный анализ изменений повторяемости погодных экстремумов за длительный период возможен только на основе дополнения рядов инструментальных метеорологических наблюдений косвенными данными. Эта цель достигается, с одной стороны, с помощью историко-климатологических исследований летописных свидетельств и иных документов [23], с другой – посредством изучения особенностей динамики годичных колец деревьев, формирующихся как ответ на аномальные климатические события [14].

Целью данного исследования является анализ индивидуальной изменчивости и реакции на динамику ключевых факторов климата радиального прироста деревьев дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в естественном высокопродуктивном древостое Шипова леса.

Объекты и методы исследования

Исследование проводилось в крупнейшем лесном массиве Центральной лесостепи Восточно-Европейской равнины – Шиповом лесу (Воронежская область) – наиболее типичной дубраве подзоны южной лесостепи.

Наиболее распространёнными типами леса в данном насаждении являются снытьево-осоковая дубрава (41,2 %) и снытьевая дубрава (31,8 %). Снытьевые дубравы располагаются на высокоплодородных почвах плато или очень пологих склонах всех экспозиций. Снытьево-осоковые дубравы занимают среднеплодородные почвы на пологих склонах разных экспозиций. Преобладают мощные черноземы, темно-серые и темно-коричневые суглинки на глубоких (до 20 м) лёссовидных отложениях.

Пробная площадь для анализа индивидуальной изменчивости радиального прироста заложена в высокопродуктивном семенном дубовом древостое Шипова леса (50°46′00″ с. ш., 40°20′00″ в. д.), находящемся на территории Красного участкового лесничества Воронцовского лесничества, в квартале 41, выделе 8 (рис. 1).

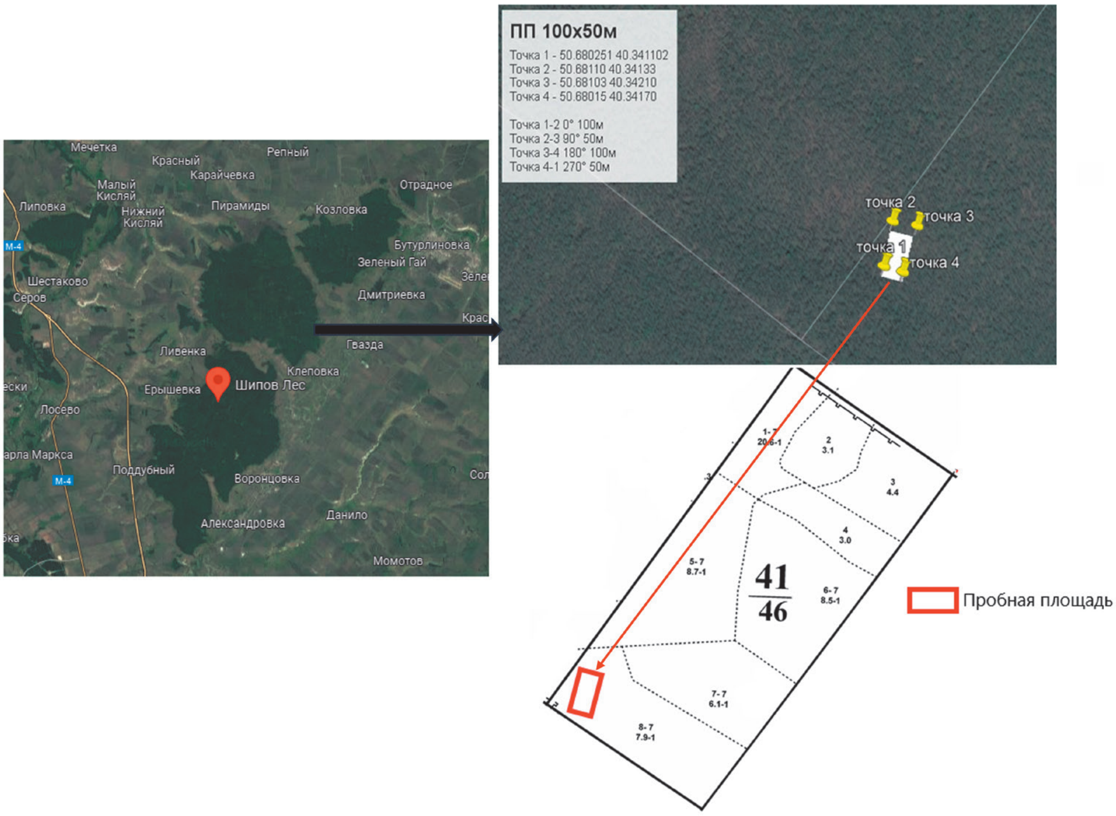

Рис. 1. Схема расположения объекта исследования

Размер пробной площади (далее – ПП) – 0,5 га (50 м × 100 м). Исследуемый древостой – естественного происхождения, произрастает на черноземах, в типе лесорастительных условий (ТЛУ) свежая дубрава ($Д_2$), тип леса – дубняк снытьевый (ДСН). Условный возраст (по кернам древесины) древостоя дуба черешчатого – 145 лет (табл. 1).

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоя дуба черешчатого на пробной площади

Состав	ТЛУ / тип леса	K_{sr}	Условный возраст, лет	Средние		Полнота	Класс бонитета	Запас, м^3/га
				Высота, м	Диаметр, см			
7Днп2Яо1Лп+Кло	Д$_2$/ДСН	1,3	145	31	48	0,7	I	340

Примечания. K_{sr} – средневзвешенная величина категории санитарного состояния; Днп – дуб нагорный порослевой; Яо – ясень обыкновенный; Лп – липа мелколистная; Кло – клен остролистный

Для дендрохронологического анализа по существующим методикам [9, 20] в мае 2024 года на пробной площади отобрано 25 кернов древесины с 25 деревьев дуба черешчатого, что позволило достоверно определить среднюю ширину годичного кольца и статистические характеристики в исследуемом древостое. Керны отбирались на высоте 1 м от уровня земли.

На пробной площади проводился сплошной перечет с определением древесной породы и диаметров ствола, высоты и санитарного состояния деревьев. Определялись и фиксировались характеристики напочвенного покрова, подроста, подлеска. Высоту дерева измеряли с точностью до 0,5 м, диаметр ствола на высоте 1,3 м – с точностью до 1 см.

Распределение деревьев по категориям санитарного состояния осуществлялось в соответствии с действующей 5-балльной шкалой: 1 – без признаков ослабления, 2 – ослабленные, 3 – сильно ослабленные, 4 – усыхающие, 5 – (погибшие) [12]. Степень ослабления (состояние) насаждения на ПП определялась как средневзвешенная величина распределения запаса деревьев разных категорий состояния по формуле (1):

$$K_{sr} = (P_1 \times K_1 + P_2 \times K_2 + P_3 \times K_3 + P_4 \times K_4 + P_5 \times K_5) \div 100, \quad (1)$$

где K_{sr} – средневзвешенная величина категории состояния;

P_i – доля деревьев каждой категории состояния в процентах от запаса;

K_i – индекс категории состояния дерева.

С использованием установки LINTAB-6 и пакета программ TSAP-Win [28, 29] проведены измерения ширины годичных колец (ранней, поздней древесины и общей ширины годичного кольца) на подготовленных кернах дуба черешчатого.

Для удаления возрастного тренда и обеспечения возможности сопоставления погодичной динамики радиального прироста дуба черешчатого с климатическими параметрами рассчитаны относительные индексы прироста в программе TREND [5] по общепринятой методике [20].

В аналитическом пакете STATISTICA 13.0 [3, 18] рассчитаны статистические параметры дендрохронологических рядов: средние значения ширины годичных колец по видам древесины, вероятная ошибка, значение соотношения сигнал-шум (SNR), а также выраженный сигнал популяции (EPS).

В пакете программ TSAP-Win (версия профессиональная) [28, 29] рассчитаны статистические коэффициенты, характеризующие сходство и различие индивидуальных хронологий ширины годичных колец с осредненной хронологией по всем образцам: коэффициент синхронности (GLK), уровень синхронности (GSL), коэффициент чувствительности (K_s), коэффициент корреляции (CC), а также индекс перекрестного датирования индивидуальных хронологий со средней (CDI) [20, 29].

При значении коэффициента синхронности (GLK), равном 56 % и меньше, – синхронность отсутствует, 57–67 % – означает низкую синхронность индивидуальных рядов со средним по шкале С.Г. Шиятова [20], то есть наблюдаются значительные индивидуальные особенности и различия динамики прироста исследуемых образцов, 68–78 % –

средняя синхронность, высокие (79–89 %) и очень высокие (90–100 %) значения коэффициента синхронности означают наличие сильного климатического сигнала в исследуемом древостое.

Уровень синхронности (GSL) ниже 56 % означает отсутствие синхронности (–), синхронность от 57 до 60 % помечается одной звездочкой (*), от 61 до 64 % — двумя, более 68 % – тремя звездочками.

Под коэффициентом чувствительности понимается относительная величина межгодичной изменчивости прироста в сериях годичных колец индивидуальных хронологий.

CC% – коэффициент корреляции Пирсона – численная мера силы и направления линейной зависимости (выраженная в %) между двумя хронологиями.

В соответствии со шкалой Чеддока [3, 18], связь считается слабой при значениях от 0 до 30 %, умеренной – от 31 до 50 %, значительной – от 51 до 70 %, высокой (тесной) – от 71 до 90 %, очень высокой (очень тесной) – от 91 до 100 %.

Рассчитан индекс перекрестного датирования индивидуальных хронологий со средней (CDI) – комбинированный показатель, объединяющий значения коэффициента корреляции (CC), критерия вероятности Стьюдента (t_{st}), а также коэффициента синхронности (GLK) [29]. Индекс выражается в процентах и считается достоверным при значениях > 10 %.

Связи между отдельными хронологиями со средней хронологией дубового древостоя определялись с помощью коэффициентов ранговой корреляции Спирмена [18] по формуле (2):

$$r_s = 1 - \frac{\sum d^2}{n(n^2-1)}, \tag{2}$$

где d – разность между рангами сопряженных значений признака;

n – число парных наблюдений.

Качественную характеристику тесноты связи коэффициента ранговой корреляции Спирмена, как и коэффициента корреляции Пирсона, оценивали по шкале Чеддока (представлена выше).

Для оценки отклика прироста деревьев дуба на ключевые лимитирующие факторы климата, температуры воздуха и суммы атмосферных осадков использовались данные совмещённого ряда метеостанций «Красный кордон» (по 2004 г.) и № 34237 «Павловск» [11]. Коэффициент корреляции (r) между данными наблюдений на этих метеостанциях достаточно высокий и достоверный (r = 0,6; $P \leq 0{,}01$).

Количественные характеристики связи относительных индексов радиального прироста дуба и лимитирующих факторов климата (сумм атмосферных осадков и средних температур воздуха) определены с помощью линейной корреляции Пирсона, как описано выше.

Для оценки силы влияния лимитирующих климатических факторов на прирост дуба черешчатого применен метод анализа дисперсионного комплекса, достоверность рассчитанного показателя проверена критерием Фишера [18].

Результаты и их обсуждение

В исследованном древостое (140 деревьев дуба на ПП площадью 0,5 га) выявлен широкий диапазон варьирования по диаметру ствола – от 24 до 68 см, при среднем значении 48 см. Средневзвешенная категория санитарного состояния равна 1,3 – древостой здоровый, но отмечено несколько сильно ослабленных деревьев. Кроме дуба черешчатого на ПП произрастают деревья клена остролистного (*Acer platanoides* L.), ясеня высокоствольного (*Fraxinus excelsior* L.), липы мелколистной (*Tilia cordata* L.) и вяза гладкого (*Ulmus laevis* L.). Подрост представлен кленом остролистным. Подлесочные породы – клен полевой (*Acer campestre* L.), лещина обыкновенная (*Corylus avellana* L.) и вяз мелколистный (*Ulmus pumila* L.). В напочвенном покрове преобладают сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria* L.), копытень европейский (*Asarum europaeum* L.), ландыш майский (*Convallaria majalis* L.) и подмаренник мареновидный (*Galium rubioides* L.).

При оценке достоверности результатов измерений общей ширины годичных колец, ранней и поздней древесины за каждый календарный год по критерию Стьюдента (t_{st}) выявили, что для древостоя дуба черешчатого статистические характеристики выборочного исследования радиального прироста достоверны.

Результаты статистического анализа осреднённых хронологий радиального прироста древостоев дуба черешчатого представлены в таблице 2.

Таблица 2

Статистические характеристики радиального прироста дуба черешчатого по видам древесины

Вид древесины	$M \pm m_м$, мм	C, %	M_c	$t_м$	P_M, %
Общая ширина годичного кольца	2,1 ± 0,01	51,6	0,02	6,5	5,2
Ранняя древесина	0,7 ± 0,02	33,5	0,01	9,2	4,3
Поздняя древесина	1,4 ± 0,02	56,9	0,04	12,4	6,4

Примечание. M – среднеарифметическая величина; $m_м$ – основная ошибка среднего значения; C – коэффициент вариации; M_c – ошибка коэффициента вариации; $t_м$ – показатель достоверности среднего значения; P_M – показатель точности исследования (вероятная ошибка)

Ранняя древесина значительно менее вариативна, чем поздняя (56,9 и 33,5 % соответственно) и общая ширина годичного кольца. Однако отметим, что погодичная изменчивость прироста ранней древесины по отдельным исследуемым хронологиям довольно высока.

Zhang, et al. [31], считают, что оценка хронологии ширины годичных колец для конкретного участка и вариаций роста деревьев имеет большой потенциал для изучения реакции деревьев на климатические факторы.

Рассчитанное отношение сигнал–шум (SNR) равно 91, то есть обобщенная хронология содержит высокую изменчивость, объясняющуюся влиянием климатических факторов (деревья чутко реагируют на изменение климатических условий).

Значение рассчитанного выраженного сигнала популяции (EPS) исследуемой обобщенной древесно-кольцевой хронологии составило 0,99, то есть, в соответствии с принятым пороговым значением, равным 0,85, хронология может считаться достаточно представительной (ширина годичных колец за каждый год достоверно отражает прирост всей совокупности).

При сравнительном анализе рассчитанной нами корреляционной связи динамики радиального прироста каждого образца (отдельные хронологии) со средней хронологией для всего обследованного древостоя выявлено следующее: 16 % образцов абсолютно асимметричны ($r = 0,1 \pm 0,01$), 60 % – имеют высокую сходную динамику приростов относительно средней ($r = 0,8 \pm 0,05$), для 25 % характерна умеренная динамика приростов ($r = 0,5 \pm 0,03$).

В результате полученных корреляций сходные образцы (отдельные хронологии) по индивидуальной динамике прироста и индивидуальной реакции на климат объединены в три группы:

1-я группа – близкие к средней хронологии по динамике прироста (15 образцов: №№ 1–9, 12–15, 18, 20, 25);

2-я группа – отклоняющиеся от средней динамики прироста (6 образцов: №№ 8, 11, 17, 19, 21, 23);

3-я группа – значительно отличающиеся динамикой прироста от средней – аномальные (4 образца: №№ 10, 16, 22, 24).

Выделенные группы образцов по динамике прироста статистически достоверно различаются между собой по критерию Стьюдента при уровне значимости $P \leq 0,01$.

Графический анализ динамики радиального прироста в выделенных группах со средней хронологией позволил оценить вариативность амплитуды колебаний и экстремумов радиального прироста отдельных образцов. На рисунках 2 и 3 представлена динамика прироста двух контрастных образцов 1-й и 3-й групп, соответственно, на фоне средней хронологии для древостоя.

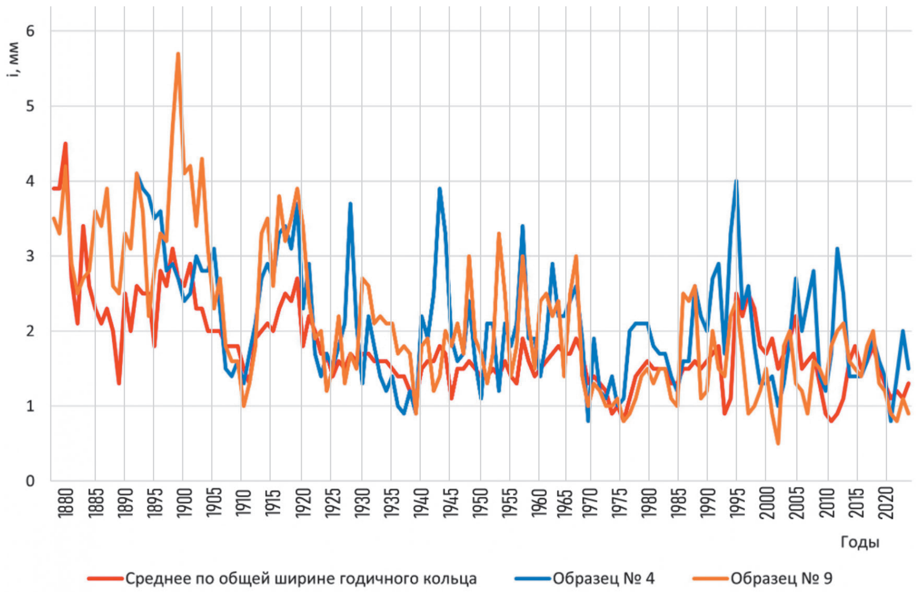

Рис. 2. Динамика радиального прироста образцов из 1-й группы, с близкой к средней динамикой прироста

Образцы 1-й группы показывают значительное сходство по амплитуде колебаний со средней. На графике чётко выделяются реперные годы с аномально большим приростом (1900, 1920, 1958, 1994 и др.), а также с аномально малым приростом (1911, 1940, 1973, 1975, 1992, 2001, 2010 и др.).

На примере образца № 9 видно, что засуха приводит к замедлению радиального прироста в течение года после нее; следовательно, минимальное значение наблюдается после фактического климатического события. На примере образца № 4 можно наблюдать спады прироста в период до засухи, что может быть связано с понижением сумм атмосферных осадков в течение ряда лет перед ее наступлением, микроклиматическими лесорастительными условиями произрастания данного дерева и окружающих деревьев или генетической особенностью реакции отдельных деревьев на засушливые условия.

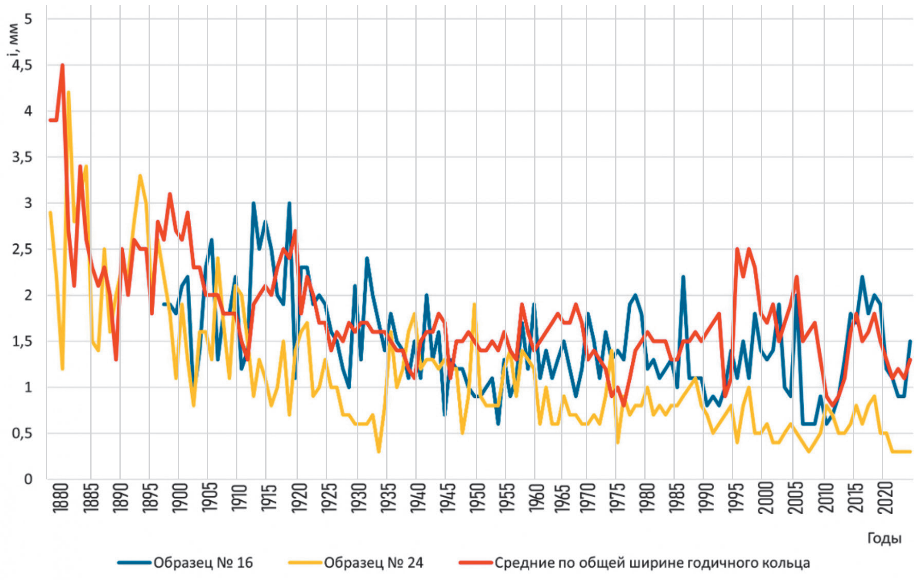

Рис. 3. Динамика радиального прироста двух «аномальных» образцов из 3-й группы

На графике радиального прироста дуба черешчатого по отдельным образцам, отнесенным к 3-й группе (аномальные), наблюдается расхождение в амплитуде колебаний как между образцами, так и со средней хронологией. Выявлены значительные различия по реперным годам. Отмечены годы, когда прирост очень разнообразен у всех образцов и для разных деревьев варьирует от очень маленьких до очень высоких значений (1919 год: образец № 24–0,7 мм; образец № 16–3 мм; 2015 год: образец № 24–0,6 мм; образец № 16–2,2 мм). Образец № 24 показал наибольшее отличие колебаний амплитуды прироста от средней.

У отдельных деревьев (образцы №№ 1, 2, 7, 12, 14, 15) отмечен небольшой всплеск активности прироста на 2-й год после аномально низкого значения 2010 года. Стабильно низкий прирост зафиксирован у деревьев 1-й группы в 1972 г. и в 2010 г. В эти годы наблюдались рекордные максимальные температуры июля-августа.

Значения коэффициента синхронности (GLK) отдельных хронологий по группам годичных колец со средней хронологией обследованного дубового древостоя показали широкий диапазон колебаний по всем видам древесины – от 44 % (синхронность отсутствует) до 87 % (высокая синхронность). Осреднённые значения синхронности по видам древесины (табл. 3) варьируют от низкого уровня синхронности для 2-й и 3-й групп, до высокой синхронности в 1-й группе. Синхронность по ранней древесине в 3-й группе отсутствует – составляет 55 %. В целом GLK отдельных хронологий годичных колец со средней хронологией обследованного древостоя соответствуют преимущественно низкому и среднему уровню синхронности по шкале С.Г. Шиятова [20].

Таблица 3

Статистические показатели средних хронологий радиального прироста деревьев дуба по объединенным группам

Вид древесины	GLK, %	GSL (*)	CC, %	CDI, %
Средние по обследованному древостою дуба черешчатого				
Общая ширина годичного кольца	66	***	65	37
Ранняя древесина	61	**	63	33
Поздняя древесина	71	***	69	41
Близкие к средней динамике прироста (1-я группа образцов)				
Общая ширина годичного кольца	78	***	81	54
Ранняя древесина	73	***	78	48
Поздняя древесина	85	***	83	59
Отклоняющиеся от средней по динамике прироста (2-я группа образцов)				
Общая ширина годичного кольца	62	**	59	31
Ранняя древесина	58	**	46	28
Поздняя древесина	65	**	68	36
Значительно отличающиеся от средней (3-я группа образцов)				
Общая ширина годичного кольца	60	*	47	19
Ранняя древесина	55	**	51	17
Поздняя древесина	61	–	41	23

Примечание. GLK – коэффициент синхронности, %, CC – коэффициент корреляции, %, GSL – уровень синхронности (*), CDI – индекс перекрестного датирования, %

Выявлено отсутствие синхронности (–) по поздней древесине в группе аномальных образцов (3-я группа); 1-я группа характеризуется высоким уровнем синхронности (***).

Диапазон колебаний коэффициента корреляции по общей ширине годичного кольца составляет: в 1-й группе – 81 % (тесная связь), во 2-й группе – 59 % (значительная связь), в 3-й группе – 56 % (умеренная связь). В 1-й и 2-й группах значения коэффициента корреляции по ранней древесине меньше, чем по поздней. В 3-й группе иная картина – значения коэффициента корреляции по ранней древесине больше, чем по поздней.

Значения индекса перекрестного датирования (CDI) выше по поздней древесине и снижаются от 1-й к 3-й группе. Во всех группах образцы показали достоверные значения (> 10 %). Самые низкие показатели относятся к 3-й группе – у аномальных образцов, по ранней древесине (17 %).

Ю.П. Демаков в своей работе [2] привел данные по динамике радиального прироста деревьев дуба черешчатого *Quercus robur* L. в пойменных лесах заповедника «Большая Кокшага». Им доказано, что по характеру роста все исследуемые деревья разделяются на ряд групп, колебания прироста у которых происходят асинхронно, что обусловлено специфичностью реакций деревьев на изменения условий среды.

Анализ климатического отклика радиального прироста дуба черешчатого различных объединенных групп на колебания сумм атмосферных осадков и средней температуры воздуха выполнен по совмещенным рядам данных наблюдений метеостанций «Красный кордон» и «Павловск». Анализ выявил значительные отличия в отражении климатического сигнала, вероятно, связанные с генетическим разнообразием древостоя дуба (табл. 4).

Таблица 4

Коэффициенты корреляции ($P < 0,05$) между индексами радиального прироста дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) по объединенным группам и климатическими показателями за календарный год

Группы образцов по динамике прироста	Климатические показатели	
	$P_{год}$	t
Близкие к средней динамике прироста (1-я группа)	0,38	0,51
Отклоняющиеся от средней по динамике прироста (2-я группа)	0,27	0,32
Значительно отличающиеся от средней (3-я группа)	0,22	0,21

Примечание. $P_{год}$ – сумма атмосферных осадков за календарный год, мм; t – температура воздуха, °C

Корреляционная связь климатических факторов с радиальным приростом дуба черешчатого снижается от 1-й к 3-й группе образцов. Ключевым лимитирующим фактором прироста в 1-й и 2-й группах является температура воздуха. Причём в 1-й группе проявилась значительная связь ($r = 0,51$) с температурой воздуха. В 3-й группе связь с осадками и температурой воздуха слабая и коэффициент корреляции практически одинаков (0,22 и 0,21, соответственно).

В целом для дуба, произрастающего на всей территории Центральной лесостепи, характерно значительное сходство связи радиального прироста древостоев с температурой воздуха.

B. Degen с соавторами [24] в своей работе отметили, что климатический отклик в радиальном приросте может определяться генетическими и / или экологическими причинами – микрогетерогенностью местообитаний, усиливающей или ослабляющей влияние температуры воздуха и количества осадков на уровне отдельных деревьев. Б.Ф. Хасанов, изучая влияние климатических факторов на годичный радиальный прирост дуба черешчатого средней полосы Европейской части России, пришёл к выводу, что «и температура, и количество осадков по отдельности играют роль факторов, лимитирующих рост» изученных им деревьев [16].

Как показал дисперсионный анализ, по силе влияния на формирование годичного прироста дуба черешчатого температура воздуха превышает сумму атмосферных осадков во всех трёх выделенных группах (табл. 5). Так же, как и корреляционная связь, сила влияния климатических факторов на радиальный прирост дуба черешчатого снижается от 1-й к 3-й группе образцов.

Таблица 5

Значения силы влияния климатических факторов на прирост дуба черешчатого

Группы образцов по динамике прироста	Климатические показатели	
	t	$P_{год}$
Близкие к средней динамике прироста (1-я группа)	0,78	0,57
Отклоняющиеся от средней по динамике прироста (2-я группа)	0,69	0,50
Значительно отличающиеся от средней (3-я группа)	0,33	0,30

Примечание. Обозначения те же, что и в таблице 4

Анализ силы влияния между индексами прироста дуба черешчатого в 1-й группе образцов и климатическими показателями выявил высокую тесноту связи с температурой воздуха (0,78), а также умеренную связь с осадками за календарный год (0,48). Фактические значения критерия Фишера для всех рассмотренных факторов больше стандартного (критического): F_f (33,8) > F_{st} (3,9), это означает, что влияние климатических факторов (температуры воздуха, атмосферных осадков) на результативный признак (прирост дуба) существенно.

А.И. Милениным доказано влияние летней температуры (подтвержденное дисперсионным анализом) на радиальный прирост дуба черешчатого в Шиповом лесу [10].

Радиальный годичный прирост поздней древесины дуба проявляет более высокую изменчивость, чем ранней [13, 21]. В.К. Ширнин отнес ширину годичного слоя и долю поздней древесины (%) к признакам со слабой генетической обусловленностью [19]. По мнению Н.Е. Косиченко [8], изменчивость ширины ранней древесины в течение онтогенеза у кольцесосудистых растений выражена в меньшей степени, так как находится под более жестким генетическим контролем, чем поздняя древесина. В эволюционном отношении ранняя древесина (сосуды) является более прогрессивной частью годичного кольца.

Нами рассчитана доля поздней древесины в общей ширине годичного кольца в обследованном древостое дуба черешчатого. Она составила в среднем 38 %, с диапазоном варьирования от 20 до 78 % для средней хронологии. Доля поздней древесины по отдельным образцам варьирует от 12 % (образец № 10) до 80 % (образец № 13). Также наблюдаются значительные колебания в отдельные годы (1981 год: 8 % – образец № 10). Наименьшее значение доли поздней древесины наблюдалось по общей хронологии в 1881 году (20 %), наибольшее значение – в 1992 году (78 %).

Высокая вариативность (индивидуальная изменчивость) прироста отдельных деревьев в древостое (иначе – высокое внутривидовое биоразнообразие) позволяет данному древостою быть устойчивым, здоровым и высокопродуктивным. При сборе семян, создании искусственных насаждений необходимо сохранять весь спектр индивидуального (внутривидового) биоразнообразия для создания устойчивых высокопродуктивных древостоев дуба черешчатого.

Выводы

1. В обследованном древостое дуба черешчатого хорошо выделяются три группы деревьев, различающихся по динамике радиального прироста. Первая, наиболее многочисленная группа (15 образцов), характеризуется равномерной амплитудой колебаний с сохранением реперных лет, сходной реакцией на климатические условия, 2-я группа (6 образцов) проявляет отличия в динамике прироста от средней для древостоя величины, 3-я группа – «аномальные» (4 образца) – с резко отличающейся динамикой прироста.

2. Осреднённые значения синхронности по видам древесины варьируют от низкого уровня синхронности по шкале С.Г. Шиятова [20] для 2-й и 3-й групп, до высокой синхронности в 1-й группе. По поздней древесине в группе аномальных образцов (3-я группа) синхронность отсутствует.

3. Корреляционный анализ связей климатических факторов с радиальным приростом дуба черешчатого выявил, что для всех групп ключевым лимитирующим фактором является температура воздуха.

4. Корреляционная связь и сила влияния климатических факторов на радиальный прирост дуба черешчатого снижается от 1-й к 3-й группе образцов.

5. Дисперсионный анализ силы влияния выявил высокую и умеренную тесноту связи температур воздуха и формирования годичных колец дуба черешчатого в 1-й и 2-й группах. Радиальный годичный прирост поздней древесины дуба проявляет более высокую изменчивость, чем ранняя древесина.

6. Доля поздней древесины в общей ширине годичного кольца составила в среднем 38 %, с диапазоном варьирования от 20 % (1881 год) до 78 % (1992 год).

7. При сборе семян, создании искусственных насаждений необходимо сохранять весь спектр индивидуального (внутривидового) биоразнообразия для создания устойчивых высокопродуктивных древостоев дуба черешчатого.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 24–16–20047 «Структура популяций и внутривидовая изменчивость дендрофенотипов сосны обыкновенной и дуба черешчатого как основа адаптационной устойчивости к изменениям климата и иным внешним воздействиям».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бугаев, В.А. Дубравы лесостепи : монография / В.А. Бугаев, А.Л. Мусиевский, В.В. Царалунга. – Воронеж : ВГЛТА, 2013. – 247 с.
2. Демаков, Ю.П. Закономерности динамики радиального прироста деревьев дуба в пойменных лесах заповедника / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». – 2015. – № 7. – С. 139–156.
3. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки : учеб. / Б.А. Доспехов. – М. : Колос. 2011. – 547 с.
4. Есипов, Н.В. Состояние, рост и биологическая продуктивность эталонных дубовых насаждений степной зоны : автореферат дисс. … канд. с.-х. наук : 06.03.03 / Есипов Николай Викторович; [Место защиты : Брян. гос. инженер.-технол. акад.]. – Брянск, 2009. – 21 с.
5. Заявка № 2023615502 Российская Федерация. Программа для обработки временных рядов методами скользящего среднего и математического моделирования // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: № 2023614622: заяв. 20.02.2023 : опуб. 15.03.2023 ; приоритет 20.02.2023; заявитель ФГБОУ ВО «ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова» ; пат. поверенный Мироненко А.В., Матвеев С.М., Литовченко Д.А. – 10 с.
6. Калиниченко, Н.П. Дубравы России : монография / Н.П. Калиниченко. – М. : ВНИИЦлесресурс, 2000. – 536 с.
7. Каплина, Н.Ф. Текущее и долговременное состояние дуба черешчатого в трех контрастных типах леса южной лесостепи / Н.Ф. Каплина, Н.Н. Селочник // Лесоведение. – 2015. – № 3. – С. 191–201.
8. Косиченко, Н.Е. Влияние генотипа – среды на формирование микроструктуры стебля и диагностика технических свойств, роста и устойчивости древесных растений : автореф. дисс. … д-ра биол. наук / Косиченко Николай Ефимович; [Место защиты: Воронеж. госуд. университет]. – Воронеж, 1999. – 40 с.

9. Матвеев, С.М. Дендрохронология : учебное пособие / С.М. Матвеев ; Воронежская государственная лесотехническая академия. – Воронеж, 2001. – 88 с.
10. Миленин, А.И. Влияние температуры воздуха на радиальный прирост дуба черешчатого в Шиповом лесу / А.И. Миленин // Лесотехнический журнал. – 2012. – № 2. – С. 65–69.
11. Погода и климат. Климат Павловска. [Электронный ресурс], 2024. – URL: http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=34237 (дата обращения: 01.09.2024).
12. Правила санитарной безопасности в лесах : Постановление Правительства Российской Федерации от 9 декабря 2020 г. № 2047 «О правилах санитарной безопасности в лесах» / Собрание законодательства. – 2020. – URL: http://docs.cntd.ru/document/436736467 (дата обращения: 25.08.2024).
13. Русаленко, А.И. Годичный прирост деревьев и влагообеспеченность / А.И. Русаленко. – АН БССР, Ин-т эксперим. ботаники им. В.Ф. Купревича. – Минск : Наука и техника, 1986. – 236 с.
14. Хантемиров, Р.М. Экстремальные климатические события на Ямале за последние 4100 лет по дендрохронологическим данным / Р.М. Хантемиров, Л.А. Горланова, С.Г. Шиятов // Известия РАН. Серия географическая. – 2011. – № 2. – С. 89–102.
15. Харченко, Н.А. Деградация дубрав Центрального Черноземья : монография / Н.А. Харченко [и др.] ; [под общ. ред. Н.А. Харченко] ; Федеральная агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Воронежская гос. лесотехническая акад.". – Воронеж : Воронежская гос. лесотехническая акад., 2010. – 604 с. – ISBN 978-5-7994-0402-4.
16. Хасанов, Б.Ф. Структура древесины дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) как показатель аномальных климатических явлений (на примере средней полосы европейской части России): автореф. дисс. … канд. биол. наук / Хасанов Булат Фаридович ; [Место защиты : Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН]. – М., 2008. – 27 с.
17. Царалунга, В.В. Внешние признаки патологии дуба черешчатого : монография / В.В. Царалунга, Е.С. Фурменкова, А.А. Крюкова / М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж, 2015. – 231 с.
18. Шевелина, И.В. Статистическая обработка лесоводственно-таксационной информации в среде StATIStICA / И.В. Шевелина, Д.Н. Нуриев. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2022. – 112 с.
19. Ширнин, В.К. Селекция дуба черешчатого на качество древесины / В.К. Ширнин // Селекция и семеноводство дуба черешчатого : сб. науч. тр. ЦНИИЛГИС. – Воронеж, 1986. – С. 40–52.
20. Шиятов, С.Г. Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации : Учебно-методич. пособие / Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазепа В.С, Наурзбаев М.М., Хантемиров Р.М.; отв. ред.: Е.А. Ваганов, С.Г. Шиятов; Рос. акад. наук. Сиб. отд-ние. Ин-т леса им. В.Н. Сукачёва. – Красноярск : Издат. центр Краснояр. гос. ун-та, 2000. – 80 с. – ISBN 5-7638-0295-0. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18801379.
21. Яковлев, Ф.С. Фитоценологическое и эколого-анатомическое изучение сухостоя дуба / Ф.С. Яковлев // Тр. Воронежского заповедника. Вып. 3. – М., 1949. – С. 34–69.
22. Arts, B. Community Forest Management: Weak States or Strong Communities? / B. Arts, J. Behagel, J. de Koning, M. van der Zon // Politics and Governance. – 2023. – No. 11 (2). – P. 336–345. – DOI: https://doi.org/10.17645/pag.v11i2.6325.
23. Brazdil, R. Historical climatology in Europe – the state of the art / R. Brazdil, C. Pster, H. Wanner, H. von Storch, J. Luterbacher // Climatic Change. – 2005. – No. 70. – P. 363–430.
24. Degen, B. Impact of gene flow and introgression on the range wide genetic structure of *Quercus robur* (L.) in Europe / B. Degen, Y. Yanbaev, M. Mader [et al.] // Forests. – 2021. – Vol. 12 (10). – DOI: https://doi.org/10.3390/f12101425.
25. Housset, J.M. Tree rings provide a new class of phenotypes for genetic associations that foster insights into adaptation of conifers to climate change / J.M. Housset, S. Nadeau, N. Isabel [et al.] // The New Phytologist. – 2018. – Vol. 2 – P. 630–645.
26. Losseau, J. Pedunculate oak decline in southern Belgium: a long-term process highlighting the complex interplay among drought, winter frost, biotic attacks, and masting / J. Losseau, M. Jonard, C. Vincke // Canadien Journal of Forest Research. – 2020. – Vol. 50, № 4. – P. 380–389.
27. Petritan, A.M. Climate warming predispose sessile oak forests to drought-induced tree mortality regardless of management legacies / A.M. Petritan, I.C. Petritan, A. Hevia [et al.] // Forest Ecology and Management. – 2021. – V. 491. – P. 119097. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119097.
28. Rinn, F. TSAP. Version 3.0. Reference manual. Computer program for time series analysis and presentation / F. Rinn. – Heidelberg, 1996. – 262 p.

29. TSAP-Win Professional. Анализ временных последовательностей и их представление в дендрохронологии и в других родственных областях применения. Руководство пользователя (технический перевод). Редакция 19.12.2005. – 44 с.
30. Xoplakii, E. European spring and autumn temperature variability and change of extremes over the last half millennium / E. Xoplakii, J. Luterbacher, H. Paeth [et al.] // Geophysical Research Leyyers. – 2005. – N 32 (15). – P. 15713.
31. Zhang, T. Reconstruction of hydrological changes based on tree-ring data of the Haba River, northwestern China / T. Zhang, Y. Yuan, F. Chen [et al.] // J. Arid Land. – 2018. – N 10. – P. 53–67. – DOI: 10.1007/s40333-017-0034-2.

REFERENCES

1. Bugaev V.A., Musievsky A.L., Tsaralunga V.V. Oak forests of the forest-steppe. Monograph. Voronezh, VGLTA, 2013, 247 p. (In Russian).
2. Demakov Yu.P., Isaev A.V. Patterns of dynamics of radial growth of oak trees in floodplain forests of the reserve. *Scientific works of the State Nature Reserve "Bolshaya Kokshaga" [Nauchnye trudy Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika "Bol'shaya Kokshaga"]*, 2015, no. 7, pp. 139–156. (In Russian).
3. Dospekhov B.A. Methodology of field experience with the basics of statistical processing. Textbook. Moscow, "Ear", 2011, 547 p. (In Russian).
4. Esipov N.V. Condition, growth and biological productivity of standard oak plantations in the steppe zone. Extended abstract of candidate's thesis. Bryansk, 2009, 21 p. (In Russian).
5. Application No. 2023615502 Russian Federation. Program for processing time series using moving average and mathematical modeling methods. Certificate of state registration of a computer program, No. 2023614622, application 02/20/2023, pub. 03/15/2023; priority 02/20/2023; applicant FSBEI HE "VSFLTU named after. G.F. Morozova"; Pat. attorney Mironenko A.V., Matveev S.M., Litovchenko D.A. 10 p. (In Russian).
6. Kalinichenko, N.P. Oak forests of Russia. Monograph. Moscow, VNIITSlesresurs, 2000. 536 p. (In Russian).
7. Kaplina, N.F., Selochnik N.N. Current and long-term state of pedunculate oak in three contrasting forest types of the southern forest-steppe. *Forestry [Lesovedenie]*, 2015, no. 3, pp. 191–201. (In Russian).
8. Kosichenko N.E. The influence of genotype – environment on the formation of stem microstructure and diagnostics of technical properties, growth and stability of woody plants. Extended abstract of Doctor's thesis. Voronezh, 1999, 40 p. (In Russian).
9. Matveev S.M. Dendrochronology. Textbook. Voronezh State Forestry Academy. Voronezh, 2001. 88 p. (In Russian).
10. Milenin, A.I. The influence of air temperature on the radial growth of pedunculate oak in the Shipovy Les. *Forestry Journal [Lesotekhnicheskij zhurnal]*, 2012. no. 2. pp. 65–69. (In Russian).
11. Weather and climate. Climate of Pavlovsk [Electronic resource], 2024. URL: http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=34237 (access date: 09/01/2024). (In Russian).
12. Sanitary safety rules in forests. Decree of the Government of the Russian Federation of December 9, 2020 No. 2047 "On sanitary safety rules in forests". *Collection of legislation [Sobraniye zakonodatel'stva].* URL: http://docs.cntd.ru/document/436736467 (date of access 25/08/2024). (In Russian).
13. Rusalenko A.I. Annual growth of trees and moisture supply. Academy of Sciences of the BSSR, Institute of Experimental Sciences. Botany named after V.F. Kuprevich. Minsk, Science and technology, 1986, 236 p. (In Russian).
14. Khantemirov R.M., Gorlanova L.A., Shiyatov S.G. Extreme climatic events in Yamal over the last 4100 years according to dendrochronological data. *News of the Russian Academy of Sciences. Geographical series [Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya]*, 2011, no. 2, pp. 89–102. (In Russian).
15. Kharchenko N.A. [et al.]. Degradation of oak forests in the Central Black Earth Region. Monograph [under general ed. N.A. Kharchenko], Federal Agency for Education, State. higher educational institution prof. education "Voronezh State Forestry Academy." Voronezh, Voronezh State. forestry acad., 2010, 604 p. ISBN 978-5-7994-0402-4. (In Russian).
16. Khasanov B.F. Wood structure of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) as an indicator of anomalous climatic phenomena (using the example of the central zone of the European part of Russia). Extended abstract of candidate's thesis. [Place of protection : Institute of Ecology and Evolution named after. A.N. Severtsov RAS]. Moscow, 2008. 27 p. (In Russian).

17. Tsaralunga V.V., Furmenkova E.S., Kryukova A.A. External signs of pedunculate oak pathology. Monograph. Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "VSLTU". Voronezh, 2015, 231 p. (In Russian).
18. Shevelina I.V., Nuriev D.N. Statistical processing of forestry and taxation information in the StATIStICA environment. Ekaterinburg, UGLTU, 2022, 112 p. (In Russian).
19. Shirnin V.K. Selection of English oak for wood quality. *Selection and seed production of pedunculate oak : collection of articles scientific tr. TsNIILGIS [Selektsiya i semenovodstvo duba chereshchatogo. Sb. nauch. tr. TSNIILGIS]*. Voronezh, 1986. pp. 40–52. (In Russian).
20. Shiyatov S.G., Vaganov E.A., Kirdyanov A.V., Kruglov V.B., Mazepa V.S., Naurzbaev M.M., Khantemirov R.M. Methods of dendrochronology. Part I. Fundamentals of dendrochronology. Collection and receipt of tree-ring information. Educational and methodological allowance. Resp. ed. E.A. Vaganov, S.G. Shiyatov; Ros. akad. nauk. Sib. otd-nie. In-t lesa im. V.N. Sukachyova. Krasnoyarsk, Izdat. tsentr Krasnoyar. gos. un-ta, 2000, 80 p. (In Russian).
21. Yakovlev F.S. Phytocenological and ecological-anatomical study of dead oak wood. *Tr. Voronezh Nature Reserve [Tr. Voronezhskogo zapovednika],* vol. 3. Moscow, 1949, pp. 34–69. (In Russian).
22. Arts B., Behagel J., de Koning J., van der Zon M. Community Forest Management: Weak States or Strong Communities? *Politics and Governance*, 2023, no. 11no. (2), pp. 336–345. DOI: https://doi.org/10.17645/pag.v11i2.6325
23. Brazdil R., Pster C., Wanner H., von Storch H., Luterbacher J. Historical climatology in Europe – the state of the art. *Climatic Change*, 2005, no. 70, pp. 363–430.
24. Degen B., Yanbaev Y., Mader M., Yanbaev R., Bakhtina S., Schroeder H., Blanc-Jolivet C. Impact of gene flow and introgression on the range wide genetic structure of *Quercus robur* (L.) in Europe. *Forests*, 2021, vol. 12 (10). DOI: https://doi.org/10.3390/f12101425.
25. Housset J.M., Nadeau S., Isabel N., Depardieu C., Duchesne I., Lenz P., Girardin M.P. Tree rings provide a new class of phenotypes for genetic associations that foster insights into adaptation of conifers to climate changeю *The New Phytologist*, 2018, vol. 2, pp. 630–645.
26. Losseau J., Jonard M., Vincke C. Pedunculate oak decline in southern Belgium: a long-term process highlighting the complex interplay among drought, winter frost, biotic attacks, and masting. *Canadien Journal of Forest Research*, 2020, vol. 50, no. 4, pp. 380–389.
27. Petritan A.M., Petritan I.C., Hevia A., Walentowski H., Bouriaud O., Sánchez-Salguero R. Climate warming predispose sessile oak forests to drought-induced tree mortality regardless of management legacies. *Forest Ecology and Management*, 2021, v. 491, pp. 119097. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119097.
28. Rinn F. TSAP. Version 3.0. Reference manual. Computer program for time series analysis and presentation. Heidelberg, 1996. 262 p.
29. TSAP-Win™. Time Series Analysis and Presentation for Dendrochronology and related applications. Rinntech. V.0.53. 2005, 44 p.
30. Xoplakii E., Luterbacher J., Paeth H., Dietrich D., Steiner N., Grosjean M., Wanner H. European spring and autumn temperature variability and change of extremes over the last half millennium. *Geophysical Research Leyyers*, 2005, no. 32 (15), pp. 15713.
31. Zhang T., Yuan Y., Chen F., Yu S., Zhang R., Qin L., Jiang S. Reconstruction of hydrological changes based on tree-ring data of the Haba River, northwestern China. *J. Arid Land*, 2018, no. 10, pp. 53-67. DOI:10.1007/s40333-017-0034-2.

Статья поступила в редакцию 09.09.2024