ТРУДЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ИНСТИТУТА ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

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

10.21178/2079-6080.2024.3.62
УДК 630*232.311.3: 630*11: 630*561

# Внутривидовая изменчивость радиального прироста дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в географических культурах (Центральная лесостепь)

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

**Intraspecific variation of the radial increment of English oak (*Quercus robur* L.) in geographical cultures (Central forest-steppe)**

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

In the geographical cultures of English oak in the Shipovyi forest (Voronezh region) established in 1976–1978, three contrasting geographical origins (climatypes) were selected according to morphological characteristics and studied by dendrochronological and dendroclimatic methods: "Kursk" (climatype No. 17), "Novgorod" (climatype No. 5) and "Bashkiria" (climatype No. 24), to assess their adaptive capabilities and prospects for reforestation in the Central forest-steppe. Analysis of the values of the synchronicity coefficient (GLK) for individual chronologies of tree rings with an average chronology for the studied climatypes showed mostly average and high values for climatype No. 17 "Kursk", a low level or absence of synchrony for climatype No. 5 "Novgorod", low and average values of synchrony for climatype No. 24 "Bashkiria". Lower values of synchrony, i. e. higher individual variation, were revealed in early wood as opposed to late wood, across all geographic origins. A correlation analysis of the relationship between the dynamics of the radial increment of English oak with climatic factors and an analysis of variance of the strength of influence showed that, while the influence of precipitation was significant, the main limiting factor for the English oak over the studied period was air temperature. The highest correlation coefficients ($r = 0.44$ with air temperature; $r = 0.32$ with precipitation) and the strength of influence ($\eta^2 = 0.65$ for air temperature; $\eta^2 = 0.45$ for precipitation) were found for the geographical origin of "Kursk" (climate type No. 17). According to the research results, forest seed materials of the geographical origin "Kursk" (late phenoform) are promising for the creation of stable, highly productive forest stands in the conditions of the Central forest-steppe forest stands of the geographical origin “Bashkiria” also showed good results.

**Keywords:** English oak, geographical cultures, climatypes, radial increment, prospective stands

**Внутривидовая изменчивость радиального прироста дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в географических культурах (Центральная лесостепь)**

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

В географических культурах дуба черешчатого в Шиповом лесу (Воронежская область) созданных в 1976–1978 гг., отобраны по морфологическим признакам и изучены дендрохронологическим и дендроклиматическим методами три контрастных географических происхождения (климатипа): «Курск» (климатип № 17), «Новгород» (климатип № 5), «Башкирия» (климатип № 24) с целью оценки их адаптационных возможностей и перспективности для лесовосстановления в Центральной лесостепи. Анализ значений коэффициента синхронности (GLK) хронологий годичных колец отдельных деревьев со средней хронологией по исследованным климатипам показал преимущественно средние и высокие значения по климатипу № 17 «Курск», низкий уровень или отсутствие синхронности – по климатипу № 5 «Новгород», низкие и средние значения синхронности по климатипу № 24 «Башкирия». Выявлены меньшие значения синхронности, то есть более высокая индивидуальная изменчивость, по ранней древесине в отличие от поздней – по всем географическим происхождениям. Корреляционный анализ связи динамики радиального прироста дуба черешчатого с климатическими факторами и дисперсионный анализ силы влияния показали, что при значимости влияния осадков, основным лимитирующим фактором за период исследований являются температуры воздуха. Наиболее высокие коэффициенты корреляции ($r = 0{,}44$ с температурой воздуха; $r = 0{,}32$ с осадками) и сила влияния ($\eta^2 = 0{,}65$ для температур воздуха; $\eta^2 = 0{,}45$ для осадков) выявлены для географического происхождения «Курск» (климатип № 17). По результатам исследований, перспективными для создания устойчивых, высокопродуктивных древостоев в условиях Центральной лесостепи являются лесосеменные материалы географического происхождения «Курск» (поздняя феноформа), хорошие результаты также показали древостои географического происхождения «Башкирия».

**Ключевые слова:** дуб черешчатый, географические культуры, климатипы, радиальный прирост, перспективные древостои

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

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

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

Крутовский Константин Валерьевич – профессор, главный научный сотрудник Научно-методического центра ВГЛТУ 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); канд. биол. наук
E-mail: konstantin.krutovsky@forst.uni-goettingen.de

Молчанов Владимир Владимирович – магистрант кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства
E-mail: vas_a1115@mail.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, Германия, г. Гёттинген, ул. Бюсгенвег, 2

**Введение**

Семенные плантации различных древесных пород, созданные из семян различного географического происхождения в однородных лесорастительных условиях (географические культуры) позволяют изучить и оценить адаптационную способность различных климатипов и отобрать наиболее перспективные для создания устойчивых древостоев.

Можно использовать различные методы исследования внутривидового разнообразия растений в географических культурах: анализ морфологических различий, исследование фенотипов и генотипов деревьев и др. Одним из наиболее информативных является метод дендрохронологического анализа – сравнительный анализ количественных параметров и динамики радиального прироста деревьев, а также дендроклиматический анализ связей динамики прироста с лимитирующими рост деревьев факторами климата. Перспективно новое комплексное направление исследований, объединяющее дендрохронологию, дендроэкологию, дендроклиматологию и геномику – дендрогеномика [6, 27].

Динамика радиального прироста климатипов в географических культурах в условиях лесостепи изучалась многими авторами, но в основном это касалось сосны [7, 17, 19] и лиственницы [2, 3, 5], по дубу черешчатому результаты подобных исследований практически не представлены в опубликованных работах.

Изучение особенностей прироста древесины основных лесообразующих пород является актуальным в настоящее время не только с точки зрения оценки биологической продуктивности лесных экосистем, но и как фактической основы для оценки эффектов популяционных взаимоотношений, в частности, выяснения причин индивидуальной изменчивости и устойчивости древесных видов под влиянием природных и антропогенных факторов.

Для деревьев, произрастающих в пределах небольшого, однородного в климатическом отношении района, характерна значительная синхронность колебаний годичного прироста древесины, однако различные географические происхождения (климатипы) сохраняют генетически закреплённую норму реакции, что позволяет оценить по вариативности радиального прироста их адаптационную способность к конкретным лесорастительным и климатическим условиям.

Древесные виды обладают внутривидовым разнообразием, которое может быть обусловлено не только генотипической, но и фенотипической изменчивостью, а также формированием особей во взаимодействии генотипа со средой под действием различных лесорастительных условий [8, 15].

При изучении изменчивости радиального прироста дуба черешчатого в отдельных регионах Западной и Центральной Европы выявлена значительная вариативность у отдельных деревьев, зависящая от многих факторов, включая происхождение и географическое расположение популяций [22, 25, 26].

Вклад отдельных параметров климата в динамику радиального прироста деревьев, а также внутривидовая изменчивость в формировании годичного кольца за длительный период представляют значительный научный интерес и перспективны при отборе устойчивых климатипов для региона исследований.

Целью данного исследования является выявление и анализ внутривидовой изменчивости годичного прироста по диаметру деревьев дуба черешчатого различного географического происхождения, произрастающих в условиях Центральной лесостепи (Восточно-Европейской лесостепи Русской равнины).

**Объекты исследования**

Исследования проведены в географических культурах дуба черешчатого разного происхождения в Шиповом лесу Воронежской области (50°46′00″ с. ш., 40°20′00″ в. д.), расположенных на территории Красного участкового лесничества Воронцовского лесничества, в квартале 42, выделах 21 и 24 (рис. 1). Культуры произрастают на черноземах, в типе лесорастительных условий (ТЛУ) свежая дубрава ($Д_2$), тип леса – дубняк снытьевый (ДСН). Условный возраст насаждений – 42 года (табл. 1).

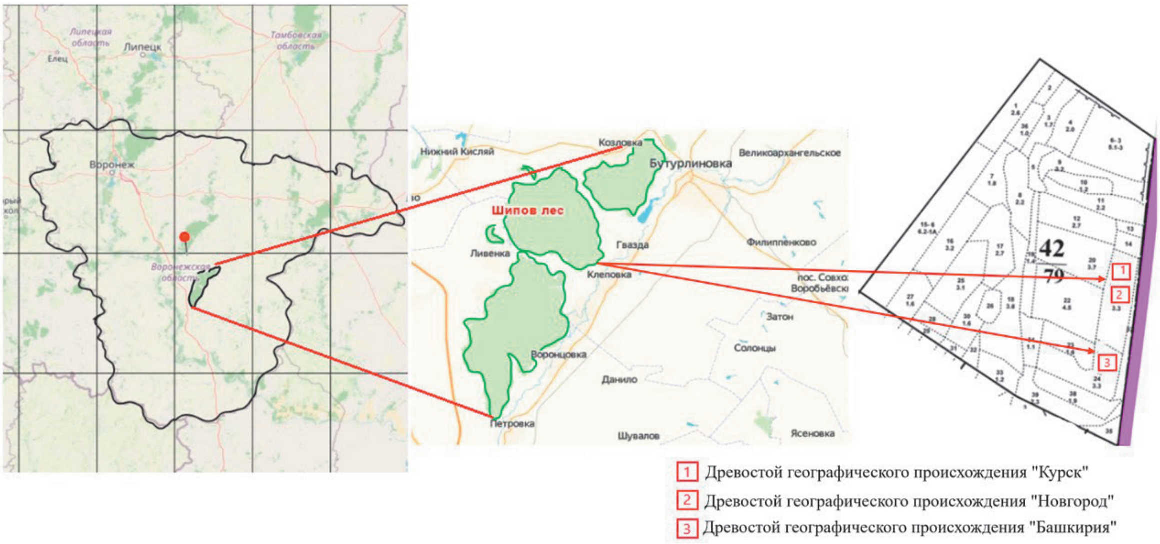


Рис. 1. Схема расположения объектов исследования

Таблица 1

Таксационная характеристика
климатипов географических культур дуба черешчатого

| Название и номер климатипа | ТЛУ / тип леса | Состав | Условный возраст, лет | Средние | | Полнота | Класс бонитета | Запас, м³/га |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Высота, м | Диаметр, см | | | |
| «Курск» № 17 | $Д_2$ / ДСН | 9Д1Яов | 42 | 18 | 20 | 0,72 | Ia | 210 |
| «Новгород» № 5 | | 10Д | | 15 | 18 | 0,66 | I | 175 |
| «Башкирия» № 24 | | 9Д1Яов | | 15 | 19 | 0,69 | I | 183 |

Примечание. Яов – ясень обыкновенный высокоствольный

Понятие условного возраста введено в дендрохронологических исследованиях для отражения возраста по кернам древесины, отличающегося от абсолютного возраста. Так как даже при прохождении бурава точно через центр дерева, мы определяем возраст на высоте отбора керна. Абсолютный возраст соответствует дате прорастания семени и всегда отличается в большую сторону. При отборе керна на высоте 1 м от шейки корня, условный возраст в данных (благоприятных) лесорастительных условиях отличается от абсолютного примерно на 4–5 лет [9, 16].

В 1976–1978 гг. под методическим руководством А.М. Шутяева заложены географические культуры дуба черешчатого различного происхождения (более 40 климатипов, большинство – в трёхкратной повторности) с целью выделения климатипов, которые в условиях Воронежского региона вне ареала их распространения, дадут хороший рост, состояние, устойчивость к неблагоприятным факторам. В 1976 г. географические культуры создавались ручной посадкой желудей в борозды (в том числе – климатипы № 17 «Курск» и № 5 «Новгород»). Климатип № 24 «Башкирия» высажен в 1978 г. двухлетними сеянцами лесопосадочной машиной [11, 14].

К настоящему времени в ряде климатипов наблюдается значительный отпад (например, до 50 % в климатипе «Крым»). Однако и полностью сохранившиеся климатипы имеют различные морфологические характеристики и санитарное состояние.

Для данного исследования в сентябре 2022 года отобраны керны древесины дуба черешчатого трёх контрастных по происхождению климатипов: «Курск» (климатип № 17), «Новгород» (климатип № 5) и «Башкирия» (климатип № 24), показавших хорошую сохранность, морфологические характеристики, санитарное состояние к моменту исследований. Климатип «Курск» представлен поздней фенологической формой, климатипы «Новгород» и «Башкирия» – ранней фенологической формой. Отобрано по 20 кернов древесины с 20 деревьев каждого географического происхождения на высоте 1 м от уровня земли.

Географическое происхождение климатипа «Курск» – Центральный климатический округ, юго-восточная лесостепь, «Новгород» – Северо-Западный климатический округ, смешанные леса, «Башкирия» – восточная часть Центрального климатического округа, северная подзона лесостепи.

**Материалы и методы исследования**

С использованием установки LINTAB-6 и пакета программ TSAP-Win [28, 30] проведены измерения ширины годичных колец (ранней, поздней и общей древесины) на подготовленных кернах дуба черешчатого каждого географического происхождения.

Для удаления возрастного тренда и обеспечения возможности сопоставления погодичной динамики радиального прироста климатипов с климатическими параметрами рассчитаны относительные индексы прироста в программе TREND [10], по общепринятой методике [9].

В аналитическом пакете STATISTICA 13.0 [4, 20] определены 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, 30] рассчитаны статистические коэффициенты, характеризующие сходство и различие индивидуальных хронологий ширины годичных колец с осредненной хронологией по всем образцам в каждом исследуемом климатипе: коэффициент синхронности (GLK), уровень синхронности (GSL), коэффициент чувствительности ($K_s$), коэффициент корреляции (CC), а также индекс перекрестного датирования индивидуальных хронологий со средней (CDI) [9, 30].

При значении GLK 56 % и меньше – синхронность отсутствует, при 57–67 % – синхронность индивидуальных рядов со средним низкая по шкале С.Г. Шиятова [9], то есть существуют значительные индивидуальные особенности и различия динамики прироста исследуемых образцов, при 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 % обозначается 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 – численная мера силы и направления линейной зависимости (выраженная в %) между двумя хронологиями.

В соответствии со шкалой Чеддока [4, 20], связь считается слабой 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) [30]. Индекс выражается в процентах и считается достоверным при значениях > 10 %.

Для оценки отклика прироста деревьев дуба различного географического происхождения на ключевые лимитирующие факторы климата – температуры воздуха и суммы атмосферных осадков – использовались данные метеостанций «Красный кордон» и «Павловск». Метеостанция «Красный кордон» просуществовала в Шиповом лесу с начала 20-го века до 2006 года. Сведения об атмосферных осадках сохранились по 2000-й год, о температуре воздуха – по 2004-й год. На ближайшей к объекту исследований метеостанции № 34237 «Павловск» (50°43'51" с. ш., 40°10'55" в. д.) [13], в открытом доступе имеются данные о температуре воздуха с 1896 г., а по суммам атмосферных осадков – с 2001 г.

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

Для оценки силы влияния лимитирующих климатических факторов на прирост дуба черешчатого различного географического происхождения применен метод анализа дисперсионного комплекса. Рассчитан показатель силы влияния лимитирующих климатических факторов на радиальный прирост древесины [20], достоверность которого проверена критерием Фишера (F) [20].

**Результаты и их обсуждение**

Анализ основных статистических характеристик радиального прироста исследуемых древостоев дуба черешчатого различного географического происхождения показал достаточность выборок и достоверность расчета среднеарифметических значений ширины годичных колец (табл. 2). Точность исследования соответствует принятой для биологических объектов (вероятная ошибка 4,5–5,1 %).

Таблица 2

Статистические показатели хронологий радиального прироста дуба в зависимости от географического происхождения

| Показатель | Климатип | | |
|---|---|---|---|
| | № 17 «Курск» | № 5 «Новгород» | № 24 «Башкирия» |
| Период, годы | 1981–2022 | 1981–2022 | 1981–2022 |
| Коэффициент чувствительности | 0,26 | 0,25 | 0,29 |
| Среднеарифметическое значение ширины годичного кольца, мм | 2,6 ± 0,05 | 1,8 ± 0,08 | 2,2 ± 0,07 |
| EPS | 0,99 | 0,97 | 0,98 |
| SNR | 81 | 65 | 79 |

Примечание. EPS – выраженный сигнал популяции, SNR – отношение сигнал–шум.

Радиальный прирост древостоев статистически достоверно различался между географическими происхождениями по критерию Стьюдента ($P \leq 0{,}01$).

Значение соотношения сигнал–шум (SNR) варьирует по отдельным географическим происхождениям от 65 (климатип № 5) до 81 (климатип № 17), что говорит о высокой изменчивости в каждой обобщенной хронологии, составленной по индивидуальным хронологиям выборки. Данная изменчивость в значительной степени обусловлена влиянием климатических факторов, то есть исследуемые деревья обладают высокой дифференцированной чувствительностью к изменениям климата.

Достаточность выборки подтверждает также выраженный сигнал популяции (EPS). В исследуемых обобщенных древесно-кольцевых хронологиях EPS составил от 0,97 до 0,99, что выше принятого порогового значения 0,85, то есть хронологии являются представительными.

При анализе таксационных характеристик древостоев дуба выявлено небольшое варьирование по среднему диаметру, однако по средней высоте климатип № 17 отличается на 17 %.

Значения коэффициентов синхронности (GLK) отдельных хронологий годичных колец климатипа № 17 со средней хронологией показали преимущественно средние и высокие значения по шкале С.Г. Шиятова [9] и довольно большой диапазон колебаний: от 47 % (образец № 2) до 92 % (образец № 18) по общей ширине годичного кольца (табл. 3).

Таблица 3

Значения статистических коэффициентов контрастных индивидуальных хронологий радиального прироста деревьев дуба климатипа № 17 и средние значения по всем образцам (общей ширины годичного кольца, ранней древесины, поздней древесины)

| № образца (керна) | GLK, % | GSL (*) | CC, % | CDI, % |
|---|---|---|---|---|
| Общая ширина годичного кольца | | | | |
| 2 | 47 | – | 60 | 7 |
| 18 | 92 | *** | 92 | 67 |
| Среднее значение | 72 | ** | 78 | 40 |
| Ранняя древесина | | | | |
| 5 | 54 | * | 41 | 11 |
| 12 | 68 | *** | 89 | 69 |
| Среднее значение | 62 | ** | 67 | 41 |
| Поздняя древесина | | | | |
| 1 | 60 | ** | 64 | 21 |
| 15 | 94 | *** | 98 | 70 |
| Среднее значение | 79 | *** | 83 | 42 |

Значение GLK менее 57 % характеризующее отсутствие синхронности, наблюдается лишь по общей и ранней древесине. Самое низкое значение – 47 %, наблюдается у образца № 2 по общей ширине годичного кольца.

Осреднённые значения GLK по видам древесины варьируют от низкого уровня по ранней древесине – 62 % до высокого по поздней древесине – 79 %.

Уровень синхронности (GSL) практически для всех образцов по климатипу № 17 равен 3 (***) за исключением образца № 2, у которого уровень синхронности отсутствует (–).

Образцы № 2 и № 7 по общей ширине годичного кольца показывают низкие значения индекса перекрестного датирования (CDI): 7 и 10 % соответственно.

По ранней древесине наблюдаются более низкие значения коэффициентов корреляции по сравнению с поздней древесиной и общей шириной годичного кольца. Диапазон колебаний – от значительной связи (образец № 2) до очень тесной связи (образец № 18); по ранней древесине – от умеренной связи (образец № 5) до тесной связи (образец № 12); по поздней древесине – от значительной связи (образец № 1) до очень тесной связи (образец № 15). Среднее значение коэффициента корреляции по общей ширине годичного кольца определяет тесную связь, по ранней древесине – значительную связь, по поздней древесине – тесную связь. Величина абсолютных значений и погодичная динамика радиального прироста (общей ширины годичных колец) отдельных образцов (кернов) древесины климатипа № 17 отражает интервал индивидуальной изменчивости экстремумов прироста. Наиболее контрастны значения образцов № 2 и 18.

Коэффициенты синхронности (GLK) отдельных хронологий годичных колец со средней хронологией климатипа № 5 («Новгород») варьируют в меньшем диапазоне по всем видам древесины, чем климатипа № 17 («Курск»), но соответствуют преимущественно низкому уровню или отсутствию синхронности по шкале С.Г. Шиятова (меньше 67 %) [9]. По ранней древесине синхронность со средней отсутствует у всех образцов (табл. 4).

Таблица 4

Значения статистических коэффициентов контрастных индивидуальных хронологий радиального прироста деревьев дуба климатипа № 5 и средние значения по всем образцам (общей ширины годичного кольца, ранней древесины, поздней древесины)

| № образца (керна) | GLK, % | GSL (*) | CC, % | CDI, % |
|---|---|---|---|---|
| Общая ширина годичного кольца | | | | |
| 20 | 33 | - | 11 | 3 |
| 1 | 69 | ** | 66 | 28 |
| Среднее значение | 52 | ** | 47 | 18 |
| Ранняя древесина | | | | |
| 6 | 30 | – | 17 | 6 |
| 13 | 55 | *** | 57 | 22 |
| Среднее значение | 44 | ** | 41 | 16 |
| Поздняя древесина | | | | |
| 2 | 47 | * | 45 | 12 |
| 19 | 66 | ** | 71 | 29 |
| Среднее значение | 58 | ** | 59 | 21 |

Средний уровень синхронности (GSL) 7 образцов имеет значение 1 (*), что соответствует низкому уровню синхронности. Три образца показали отсутствие синхронности со средней хронологией по общей ширине годичного кольца. Низкая синхронность отдельных хронологий указывает на высокую индивидуальную изменчивость радиального прироста деревьев дуба в климатипе № 5.

Коэффициент корреляции (CC, %) оказался также слабо вариативным с низкими значениями. По отдельным образцам наблюдается в основном слабая связь со средним по общей ширине годичного кольца и по ранней древесине (наиболее низкие значения показали образцы № 20, № 14 и № 6). У образца № 19 проявилась высокая (тесная) связь коэффициента корреляции по поздней древесине.

Осреднённые значения индекса перекрестного датирования наиболее низкие у климатипа № 5 в сравнении с климатипом № 17 – как по общей ширине годичного кольца (18 %), так и по ранней (16 %) и поздней древесине (21 %).

Наиболее значительное падение прироста контрастных образцов выявлено нами у образца № 20 климатипа № 5 отмечено в 1992 и 2009 гг. При этом образец № 20 имеет очень низкие абсолютные значения ширины годичных колец. Анализ значений коэффициента синхронности (GLK) отдельных хронологий годичных колец климатипа № 24 со средней хронологией показал, что значения синхронности здесь ниже, чем в климатипе № 17 и выше, чем в климатипе № 5. Преобладают низкие и средние значения синхронности по шкале С.Г. Шиятова. По ранней древесине синхронность со средней низкая или отсутствует у всех образцов. Наиболее низкое значение синхронности (41 %) относится к образцу № 8 по ранней древесине. Максимальное значение коэффициента синхронности наблюдается по общей ширине годичного кольца у образца № 17.

Среднее значение коэффициента синхронности по общей ширине годичного кольца соответствует среднему уровню по С.Г. Шиятову; по ранней древесине – синхронность отсутствует; по поздней древесине наблюдается средний уровень. В целом можно отметить меньшие значения синхронности, то есть более высокую вариативность по ранней древесине в отличие от поздней – по всем географическим происхождениям.

Уровень синхронности (GSL) по общей ширине годичного кольца по климатипу № 24 варьирует от отсутствия (–) до максимального (***) (табл. 5). Образец № 17 показал значительную связь со средним значением. Общая ширина годичного кольца в образцах № 24 и № 5 демонстрирует низкие значения, то есть умеренную корреляцию со средним.

Таблица 5

Значения статистических коэффициентов контрастных индивидуальных хронологий радиального прироста деревьев дуба климатипа № 24 и средние значения по всем образцам (общей ширины годичного кольца, ранней древесины, поздней древесины)

| № образца (керна) | GLK, % | GSL (*) | CC, % | CDI, % |
|---|---|---|---|---|
| Общая ширина годичного кольца | | | | |
| 24 | 44 | * | 38 | 16 |
| 17 | 89 | *** | 79 | 49 |
| Средние | 68 | ** | 63 | 32 |
| Ранняя древесина | | | | |
| 8 | 41 | * | 45 | 10 |
| 20 | 62 | *** | 78 | 36 |
| Средние | 52 | *** | 60 | 39 |
| Поздняя древесина | | | | |
| 2 | 48 | * | 59 | 7 |
| 18 | 78 | *** | 84 | 31 |
| Средние | 60 | ** | 68 | 22 |

Значения индекса перекрестного датирования (CDI) в климатипе № 24 варьируют от недостоверного (образец № 5) до 49 % (образец № 17). Также низкие значения индекса перекрестного датирования отмечаются по поздней древесине: от 7 % (образец № 2) до 31 % (образец № 31).

Динамика радиального прироста контрастных образцов наглядно демонстрирует вариативность цикличности колебаний. У образца № 17 наблюдается значительная синхронность со средним приростом климатипа № 24 при более высокой амплитуде колебаний и больших абсолютных значениях. У образца № 24 отмечается противоположная тенденция – более низкая амплитуда колебаний при меньших абсолютных значениях, но синхронность со средним приростом примерно с 20-летнего возраста довольно высока. Средний радиальный прирост по общей ширине годичного кольца по исследуемым климатипам варьирует незначительно (рис. 2), однако примерно с 18-летнего возраста однозначно превалирует «местный» (Центральная лесостепь) климатип № 17 «Курск».

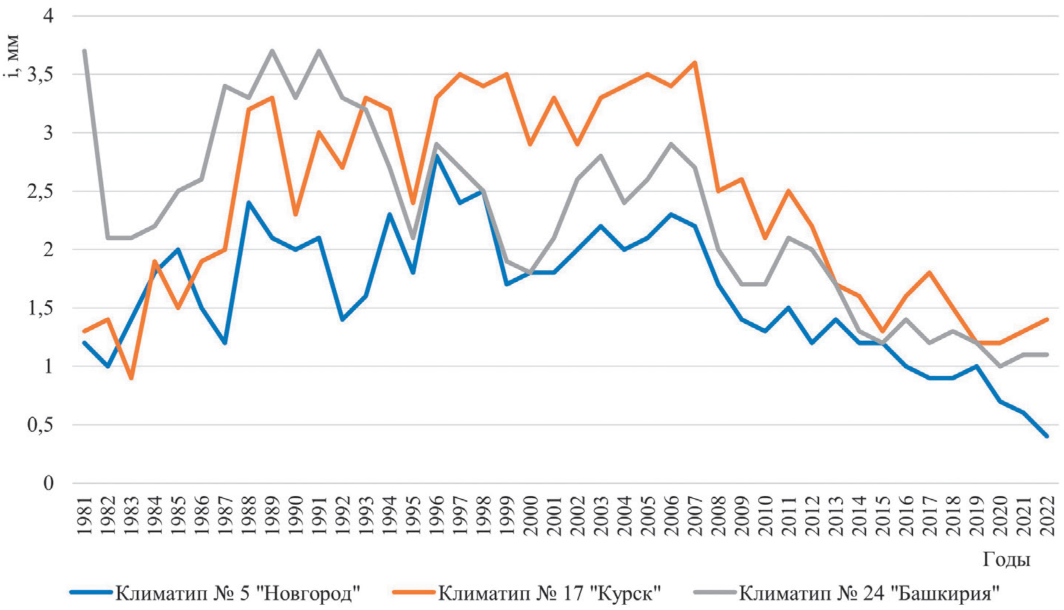


Рис. 2. Динамика средних абсолютных значений ширины годичного кольца по географическим происхождениям

И.Н. Патлай и Ю.И. Гайда [12] уже в трёхлетних географических культурах (второго поколения) дуба в украинской лесостепи, в ТЛУ $Д_2$, отмечали изменчивость роста дубков разного географического происхождения с амплитудой 42 %, причём лучшими характеристиками отличались растения из ЦЧО.

Анализ климатического отклика радиального прироста дуба черешчатого различного географического происхождения на колебания сумм атмосферных осадков и средней температуры воздуха выполнен по совмещенным рядам данных наблюдений метеостанций «Красный кордон» и «Павловск», коэффициент корреляции между ними достаточно высокий и достоверный ($r = 0,6$; $P \leq 0,01$).

Корреляционный анализ связи динамики радиального прироста дуба черешчатого с климатическими факторами показал, что при значимости влияния осадков основным лимитирующим фактором за период исследований для дуба черешчатого оказалась температура воздуха. Значения коэффициентов корреляции (*r*) индексов радиального прироста с температурой воздуха выше для всех исследованных климатипов (табл. 6). Умеренная связь, по шкале Чеддока, выявлена между индексами радиального прироста и климатическими параметрами для климатипов № 17 и № 24.

Таблица 6

Коэффициенты корреляции между индексами радиального прироста дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) по географическим происхождениям и климатическими показателями за календарный год

| Климатип | Климатические показатели | |
|---|---|---|
| | Pгод | t |
| № 17 «Курск» | 0,32 | 0,44 |
| № 5 «Новгород» | 0,26 | 0,29 |
| № 24 «Башкирия» | 0,31 | 0,42 |

Примечание. $P_{год}$ – сумма атмосферных осадков, мм; *t* – температура воздуха, °С

Снижению радиального прироста дуба способствует как избыток, так и недостаток атмосферных осадков, что могло привести к снижению корреляционной связи. В то же время отметим, что повышение температуры воздуха весной в Центральной лесостепи создает условия для более раннего начала вегетации, что, в свою очередь, положительно сказывается на формировании радиального прироста дуба, а рост летней температуры приводит к усилению засушливости и неблагоприятен для дуба, что в целом усиливает влияние температурного режима на формирование радиального прироста.

P. Debabrata и др. [23] отметили, что в различных климатипах дуба черешчатого можно выделить отдельные деревья, отличающиеся друг от друга реакцией на климатические параметры в периоды до, во время и после засухи и чувствительностью к климатическим факторам в целом, что подтверждается направлением и силой корреляционных связей древесно-кольцевых хронологий с климатическими факторами. Фенотипическая и генотипическая изменчивость отдельных деревьев определяют адаптивную реакцию на воздействие климатических факторов, в частности, засухи, и могут являться основой отбора стрессоустойчивых генотипов как среди сельскохозяйственных травянистых культур, так и деревьев [24].

Р.Ю. Янбаев и др. [21] показали, что в разных частях Южного Урала, с высокой изменчивостью климатических условий, корреляционные связи с динамикой радиального прироста дуба выражены в разной степени, а также могут носить разнонаправленный характер, что в существенной степени определяется индивидуальной изменчивостью деревьев в пределах местообитаний.

В работе V.B. Rozas [29] показана положительная зависимость радиального прироста молодых экземпляров *Q. robur* от температуры воздуха в период его формирования и отсутствие таковой у зрелых и старых деревьев.

Как показал дисперсионный анализ, сила влияния температуры воздуха на формирование годичного прироста дуба черешчатого больше, чем сумма атмосферных осадков (табл. 7).

Таблица 7

Значения силы влияния климатических факторов на прирост дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) по географическим происхождениям

| Климатип | Климатические факторы | |
|---|---|---|
| | $t$ | $P_{год}$ |
| № 17 «Курск» | 0,65 | 0,45 |
| № 5 «Новгород» | 0,33 | 0,31 |
| № 24 «Башкирия» | 0,62 | 0,42 |

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

Максимальная величина силы влияния температуры наблюдается для деревьев дуба в климатипе № 17, самый низкий показатель – у деревьев климатипа № 5. По критерию Фишера влияние температур воздуха и сумм атмосферных осадков на прирост дуба различного географического происхождения существенно и статистически достоверно ($F_f$ = 37,4; $P \leq 0{,}01$).

Радиальный прирост является биологической характеристикой, реакцией на воздействие внешних климатических факторов, которая отражает как обусловленный географическим происхождением, так и индивидуальный генетический адаптивный потенциал и особенности роста деревьев. Следует также отметить, что многие исследователи [1, 8, 19] рекомендуют для создания более устойчивых к неблагоприятным внешним факторам дуба черешчатого в лесостепи растения поздней фенологической формы. Из трёх отобранных по морфологическим характеристикам и изученных нами климатипов, только № 17 «Курск» представлен поздней фенологической формой.

**Выводы**

1. Высокие значения коэффициента синхронности (климатип № 17 «Курск») означают наличие сильного климатического сигнала в исследуемом древостое. Низкая синхронность изменения величины радиального прироста (климатип № 5 «Новгород») указывает на наличие интенсивного разделения деревьев в пределах отдельных рангов доминирования, то есть значительные индивидуальные особенности и различия динамики прироста деревьев в данном климатипе.

2. Выявлены меньшие значения синхронности, то есть более высокая вариативность по ранней древесине в отличие от поздней по всем географическим происхождениям.

3. Корреляционный анализ связи радиального прироста дуба черешчатого с климатическими факторами и дисперсионный анализ силы их влияния показал, что при значимости влияния осадков основным лимитирующим фактором за период исследований для дуба черешчатого является температура воздуха.

4. Значения коэффициентов корреляции и силы влияния климатических факторов на прирост дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) наиболее высоки для деревьев географического происхождения (климатип № 17 «Курск»), немного ниже – для деревьев географического происхождения климатип № 24 («Башкирия») и сравнительно низки для деревьев географического происхождения (климатип № 5 «Новгород»).

5. Из исследованных климатипов наиболее перспективным для создания устойчивых, высокопродуктивных древостоев в условиях Центральной лесостепи, является климатип «Курск» (поздняя фенологическая форма). Хорошие результаты показали также древостои географического происхождения «Башкирия».

6. В рамках каждого климатипа возможен отбор наиболее перспективных особей для клонального размножения и культивирования, однако это потребует дополнительных исследований генотипов деревьев и наследуемости их свойств в последующих поколениях.

*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. Ащеулов, Д.И. Внутривидовая изменчивость дуба черешчатого в Центральной лесостепи и на Кавказе / Д.И. Ащеулов, А.И. Миленин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал.– 2008.– № 6. – С. 22–26.
2. Барченков, А.П. Климатический отклик радиального прироста видов лиственницы (*Larix* sp.) в географических культурах на территории Красноярской лесостепи / А.П. Барченков, И.А. Петров, А.С. Шушпанов, А.С. Голюков // Сибирский экологический журнал.– 2023. – Т. 30, № 5. – С. 661–674. – DOI: 10.15372/SEJ20230508.
3. Демаков, Ю.П. Особенности радиального прироста деревьев в культурах лиственницы сибирской / Ю.П. Демаков // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование.– 2023.– № 1 (57). – С. 43–57. – DOI: https://doi.org/10.25686/2306–2827.2023.1.43.
4. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки: учебник / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 2011.– 547 с.
5. Ермолаева, М.В. Особенности роста и сохранности географических культур лиственницы в Удмуртской Республике / М.В. Ермолаева // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии.– 2010.– № 4 (25). – С. 11–14.
6. Крутовский, К.В. Дендрогеномика – новая междисциплинарная область исследований адаптивного генетического потенциала лесных древесных популяций, интегрирующая дендрохронологию, дендроэкологию, дендроклиматологию и геномику / К.В. Крутовский // Генетика.– 2022. – Т. 58, № 11. – С. 1225–1239. – DOI: https://doi.org/10.31857/S0016675822110054.

7. Кузьмин, С.Р. Динамика радиального роста сосны обыкновенной в географических культурах на дерново-подзолистой песчаной почве / С.Р. Кузьмин // Хвойные бореальной зоны.– 2012. – Т. 30, № 1/2. – С. 106–110.
8. Лукьянец, В.Б. Внутривидовая изменчивость дуба черешчатого в Центральной лесостепи / В.Б. Лукьянец. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1979.– 216 с.
9. Методы дендрохронологии: Учеб.-метод. пособие / С.Г. Шиятов, Е.А. Ваганов, А.В. Кирдянов [и др.]; отв. ред.: Е.А. Ваганов, С.Г. Шиятов; Рос. акад. наук. Сиб. отд-ние. Ин-т леса им. В.Н. Сукачёва [и др.]. – Красноярск: Издат. центр Краснояр. гос. ун-та, 2000.– 80 с.
10. 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.
11. Объекты селекционного семеноводства дуба в ЦЧР: монография / В.К. Ширнин, В.А. Кострикин, Л.В. Ширнина, Т.А. Благодарова, С.А. Крюкова, М.Е. Целиков. – Воронеж: Издат-Черноземье, 2018.– 196 с.
12. Патлай, И.Н. Географические культуры дуба черешчатого второго поколения / И.Н. Патлай, Ю.И. Гайда // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал.– 1992.– № 3. – С. 109–112.
13. Погода и климат. Климат Павловска [Электронный ресурс], 2024 – URL: http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=34237 (дата обращения: 01.08.2024).
14. Попова, А.А. Результаты исследования географических культур дуба черешчатого в Воронежской области / А.А. Попова, П.М. Евлаков, В.В. Молчанов, К.А. Шестибратов // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства.– 2022.– № 4. – С. 76–84. – DOI: 10.21178/2079–6080.2022.4.76.
15. Попов, А.В. Лесная генетика и селекция: Учебно-методическое пособие / А.В. Попов, О.И. Полякова. – Томск: Издательство Томского государственного университета, 2020.– 96 с.
16. Румянцев, Д.Е. Методические подходы для определения возраста деревьев / Д.Е. Румянцев, А.В. Черакшев // Принципы экологии.– 2020.– № 4 (38). – С. 104–117.
17. Тарасова, В.В. Радиальный рост климатипов сосны обыкновенной в географических культурах (Красноярская лесостепь) / В.В. Тарасова, Л.И. Милютин, В.Е. Бенькова // Лесное хозяйство.– 2008.– № 2. – С. 40–41.
18. Уткина, И.А. Устойчивость фенологических форм дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) к неблагоприятным внешним факторам / И.А. Уткина, В.В. Рубцов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии.– 2017. – Вып. 220. – С. 200–211.
19. Чернышов, М.П. Особенности радиального прироста деревьев сосны обыкновенной в географических лесных культурах / М.П. Чернышов, М.И. Михайлова // Лесные экосистемы как глобальный ресурс биосферы: вызовы, угрозы, решения в контексте изменения климата: Материалы Международного лесного форума. Воронеж.– 2022. – С. 120–127.
20. Шевелина, И.В. Статистическая обработка лесоводственно-таксационной информации в среде StATIStICA / И.В. Шевелина, Д.Н. Нуриев. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2022.– 112 с.
21. Янбаев, Р.Ю. Климатический отклик в радиальном приросте дуба черешчатого в насаждениях южного Урала / Р.Ю. Янбаев, С.Ю. Бахтина, А.Х. Садыков // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг.– 2023.– № 9. – С. 42–52.
22. Bednarz, Z. The influence of temperature and precipitation on ring widths of oak (*Quercus robur* L) in the Niepołomice Forest near Cracow, southern Poland / Z. Bednarz, J. Ptak // Tree-Ring Bulletin.– 1990. – Vol. 50. – P. 1–10.
23. Debabrata, P. Genotypic variability of drought tolerance in underutilized indigenous finger millet gen-otypes / P. Debabrata, P. Aloukika, B. Barsarani, L. Kartik // Plant Physiol. Rep.– 2023. – Vol. 28. – P. 362–377. – DOI: https://doi.org/10.1007/s40502–023–00742–8.
24. Gazol, A. Contributions of Intraspecific Variation to Drought Tolerance in Trees / A. Gazol, A. Fajardo, J. Camarero // Current Forestry Reports.– 2023. – Vol. 9. – P. 461–472. – DOI: https://doi.org/10.1007/s40725–023–00199-w.
25. 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.

26. Nechita, V.I. Inflammatory Ratios as Predictors for Tumor Invasiveness / V.I. Nechita, N. Alhajjar, E. Moiş, L. Furcea, M.A. Nechita, F. Graur // Metastasis, Resectability and Early Postoperative Evolution in Gastric Cancer. Curr. Oncol. 29.– 2022. – P. 9242–9254. – DOI: 10.3390/curroncol29120724.
27. Novikova, S.V. Study of the genetic adaptation mechanisms of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) regarding climatic stresses based on dendrogenomic analysis / S.V. Novikova, N.V. Oreshkova, V.V. Sharov, D.F. Zhirnova, L.V. Belokopytova, E.A. Babushkina, K.V. Krutovsky // Forests.– 2023. – Vol. 14.– № 12. – Art. 2358. – DOI: https://doi.org/10.3390/f14122358.
28. Rinn, F. TSAP. Version 3.0. Reference manual. Computer program for time series analysis and presentation / F. Rinn. – Heidelberg, 1996.– 262 p.
29. Rozas, V. Dendrochronology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in an old-growth pollarded woodland in northern Spain: tree-ring growth responses to climate / V. Rozas // Ann. For. Sci.– 2005.– № 62. – P. 209–218.
30. 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.

REFERENCES

1. Ashcheulov D.I., Milenin A.I. Intraspecific variability of pedunculate oak in the Central forest-steppe and the Caucasus. *News of higher educational institutions. Forest Journal [Lesnoj Zhurnal],* 2008, no. 6. pp. 22–26. (In Russian).
2. Barchenkov, A.P., Petrov I.A., Barchenkov A.S., Golyukov A.S. Climatic response of radial growth of larch species (Larix sp.) in geographical crops on the territory of the Krasnoyarsk forest-steppe. *Siberian ecological journal [Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal],* 2023, vol. 16, no. 5. pp. 620–630. DOI: https://doi.org/10.1134/S1995425523050025. (In Russian).
3. Demakov, Yu.P. Features of radial growth of trees in Siberian larch plantations. *Bulletin of Volga State University of Technology. Ser.: Forest Ecology. Nature Management [Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovaniye],* 2023, no. 1 (57), pp. 43–57. DOI: https://doi.org/10.25686/2306-2827.2023.1.43. (In Russian).
4. Dospekhov B.A. Methodology of field experience with the basics of statistical processing. Textbook. Moskow, “Ear”. 2011, 547 p. (In Russian).
5. Ermolaeva M.V. Peculiarities of growth and preservation of geographical larch crops in the Udmurt Republic. *Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy [Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skokhozyajstvennoj akademii],* 2010. no. 4 (25), pp. 11–14. (In Russian).
6. Krutovsky K.V. Dendrogenomics is a new interdisciplinary field of research of the adaptive genetic potential of forest tree populations integrating dendrochronology, dendroecology, dendroclimatology and genomics. *Russian Journal of Genetics [Genetika],* 2022, vol. 58, no. 11, pp. 1273–1286. DOI: https://doi.org/10.1134/S1022795422110059. (In Russian).
7. Kuzmin S.R. Dynamics of radial growth of Scots pine in geographical crops on sod-podzolic sandy soil. *Conifers of the boreal area [Khvoynyye boreal'noy zony],* 2012, vol. 30, no. 1-2, pp. 106–110. (In Russian).
8. Lukyanets V.B. Intraspecific variability of English oak in the Central forest-steppe. Voronezh, Izd-vo VGU. 1979, 216 p. (In Russian).
9. Methods of dendrochronology: educational method. Allowance. S.G. Shiyatov, E.A. Vaganov, A.V. Kirdyanov [et al.]; resp. ed.: E.A. Vaganov, S.G. Shiyatov. Ross. acad. Sci. Sib. department Institute of Forests named after. V.N. Sukacheva [and others]. Krasnoyarsk, Publishing house center of Krasnoyar. state university, 2000. 80 p. (In Russian).
10. 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. Morozov"; Pat. attorney Mironenko A.V., Matveev S.M., Litovchenko D.A. 10 p. (In Russian).
11. Objects of selective oak seed production in the Central Chernobyl Region: monograph. V.K. Shirnin, V.A. Kostrikin, L.V. Shirnina, T.A. Blagodarova, S.A. Kryukova, M.E. Tselikov. Voronezh, Publishing House-Chernozemye, 2018, 196 p. (In Russian).
12. Patlay I.N., Gaida Yu.I. Geographical cultures of English oak of the second generation. *News of higher educational institutions. Forest Journal [Lesnoj zhurnal],* 1992, no. 3, pp. 109–112. (In Russian).

13. Weather and climate. Climate of Pavlovsk [Electronic resource], 2024 – URL: http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=34237 (access date: 08/01/2024). (In Russian).
14. Popova A.A., Evlakov P.M., Molchanov V.V., Shestibratov K.A. The results of the study of geographical cultures of pedunculate oak in the Voronezh region. *Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute [Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo hozjajstva],* 2022, no. 4. pp. 76–84. DOI: 10.21178/2079-6080.2022.4.76. (In Russian).
15. Popov A.V., Polyakova O.I. Forest genetics and selection: Educational manual. Tomsk State University Publishing House, 2020, 96 p. (In Russian).
16. Rumyantsev D.E., Cherakshev A.V. Methodological approaches for determining the age of trees. *Principles of ecology [Printsipy ehkologii],* 2020, no. 4 (38), pp. 104–117. (In Russian).
17. Tarasova, V.V., Milyutin L.I., Benkova V.E. Radial growth of Scots pine climatypes in geographical cultures (Krasnoyarsk forest-steppe). *Forestry [Lesnoe khozyajstvo],* 2008, no. 2, pp. 40–41. (In Russian).
18. Utkina I.A., Rubtsov V.V. The resistance of the phenological forms of the common oak (*Quercus robur* L.) to unfavorable external factors. *News of the St. Petersburg Forestry Academy [Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoj akademii],* 2017, iss. 220, pp. 200–211. (In Russian).
19. Chernyshov M.P., Mikhailova V.I. Features of radial growth of Scots pine trees in geographical forest crops. *Forest ecosystems as a global resource of the biosphere: challenges, threats, solutions in the context of climate change: Materials of the International Forestry Forum [Materialy Mezhdunarodnogo lesnogo foruma "Lesnye ehkosistemy kak global'nyj resurs biosfery: vyzovy, ugrozy, resheniya v kontekste izmeneniya klimata"].* Voronezh, 2022, pp. 120–127. (In Russian)
20. Shevelina I.V., Nuriev D.N. Statistical processing of silvicultural and taxation information in the StATIStICA environment. Ekaterinburg, UGLTU, 2022, 112 p.
21. Yanbaev R.Y., Bakhtina S.Yu., Sadykov A.Kh. Climatic response in radial increment of pedunculate oak stands in the southern Urals. *Forest ecosystems under climate change: biological productivity and remote monitoring [Lesnye ehkosistemy v usloviyakh izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distantsionnyj monitoring],* 2023, no. 9, pp. 42–52. (In Russian).
22. Bednarz Z., Ptak J. The influence of temperature and precipitation on ring widths of oak *(Quercus robur* L.) in the Niepołomice Forest near Cracow, southern Poland. *Tree-Ring Bulletin,* 1990, no. 50, pp. 1–10.
23. Debabrata P., Aloukika P., Barsarani B., Kartik L. Genotypic variability of drought tolerance in underutilized indigenous finger millet gen-otypes. *Plant Physiol. Rep.,* 2023, no. 28, pp. 362–377. DOI: https://doi.org/10.1007/s40502-023-00742-8.
24. Gazol A., Fajardo A., Camarero J. Contributions of Intraspecific Variation to Drought Tolerance in Trees. *Current Forestry Reports*, 2023, no. 9, pp. 461–472. DOI: https://doi.org/10.1007/s40725-023-00199-w.
25. 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.
26. Nechita V.I., Alhajjar N., Moiş E., Furcea L., Nechita M.A., Graur F. Inflammatory Ratios as Predictors for Tumor Invasiveness. *Metastasis, Resectability and Early Postoperative Evolution in Gastric Cancer. Curr On col 29,* 2022, pp. 9242–9254. DOI: 10.3390/curroncol29120724.
27. Novikova S.V., Oreshkova N.V., Sharov V.V., Zhirnova D.F., Belokopytova L.V., Babushkina E.A., Krutovsky K.V. Study of the genetic adaptation mechanisms of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) regarding climatic stresses based on dendrogenomic analysis. *Forests,* 2023, vol. 14, no. 12, Art. 2358. DOI: https://doi.org/10.3390/f14122358.
28. Rinn F. TSAP. Version 3.0. Reference manual. Computer program for time series analysis and presentation. Heidelberg, 1996, 262 p.
29. Rozas V. Dendrochronology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in an old-growth pollarded woodland in northern Spain: tree-ring growth responses to climate. *Ann. For. Sci.* 2005. no. 62, pp. 209–218.
30. TSAP-Win™. Time Series Analysis and Presentation for Dendrochronology and related applications. Rinntech. V.0.53, 2005, 44 p.

Статья поступила в редакцию 13.08.2024