

<https://doi.org/10.25686/foreco.2023.90.64.005>

УДК 630\*56

## КЛИМАТИЧЕСКИЙ ОТКЛИК В РАДИАЛЬНОМ ПРИРОСТЕ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В НАСАЖДЕНИЯХ ЮЖНОГО УРАЛА

Р. Ю. Янбаев, С. Ю. Бахтина, А. Х. Садыков  
Башкирский государственный аграрный университет

*Целью исследования являлось изучение климатического отклика в радиальном приросте в насаждениях дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) из Южного Урала, региона с уникальными климатическими условиями, расположение месяцев в порядке их значимости для роста деревьев. На основе информации из четырех метеорологических станций выявлены четкие различия между Башкирским Предуральем и горнолесной зоной Республики Башкортостан (включая ее западное и восточное предгорья) по количеству осадков и температуре воздуха 240 исследованных месяцев 2001-2021 гг. Значения радиального прироста выше в первой части изученной территории. Реакция на месячные температуры была более выраженной в горном насаждении (5 случаев статистически значимых корреляций с годовым радиальным приростом, в то время как в Башкирском Предуралье они отсутствовали). Напротив, древостой из второй изученной части региона был более чувствителен к динамике осадков (12 против 7 случаев). В некоторых случаях рассмотренные климатические факторы оказывали противоположное воздействие на разные насаждения. В то же время были выявлены относительно высокие различия между деревьями в пределах древостоев в реакции на динамику климатических факторов. При учете лишь статически значимых корреляций выявлено, что осадки зимы (декабрь и январь), мая и лета (июнь и июль) были особенно важными для радиального прироста вида. В горном насаждении наблюдались значительные отрицательные корреляции между этим параметром и температурой воздуха октября предыдущего года, марта, апреля, мая и июля текущего года.*

**Ключевые слова:** климатические факторы, прирост, дуб черешчатый

## CLIMATIC RESPONSE IN RADIAL INCREMENT OF PEDUNCULATE OAK STANDS IN THE SOUTHERN URALS

R. Y. Ianbaev, S. Y. Bakhtina, A. K. Sadykov  
Bashkir State Agrarian University

*The aim of the study was to investigate the climate response in tree radial increment and arrange the months in order of their importance in pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stands in the Southern Urals, a region with unique climate conditions. Based on information of 4 meteorological stations, we revealed clear differences between the Bashkir Cis-Urals and the mountain-forest zone of the Republic of Bashkortostan, (including the western and eastern foothills), in precipitation and air temperature of 240 months in 2001-2021. The radial increment values were higher in the first region. The response to monthly temperatures was more pronounced in the mountain stand studied (5 cases of statistically significant correlations with annual radial growth, but such cases were absent in the Bashkir Cis-Urals). On the contrary, the stand from the second region was more sensitive to the dynamics of precipitation (12 versus 7 cases). Occasionally, the climatic factors studied had an opposite effect in the two different stands. At the same time, relatively high differences between trees within stands were revealed in the response to the dynamics of the climatic factors. Considering only statically significant correlations, we revealed that precipitation of winters (December and January), May and summers (June and July) was especially important for the species' radial increment. In the mountain stand, significant negative correlations were observed between the parameter and air temperature of previous October and current March, April, May and July.*

**Keywords:** climatic factors, radial increment, pedunculate oak

## **Введение**

Республика Башкортостан расположена на юге Урала, где геоморфологическая неоднородность этой меридионально расположенной горной системы, встреча здесь влажных и теплых атлантических воздушных масс с суровым резко континентальным климатом Арктики и Сибири формируют существенную внутри- и межгодовую изменчивость температуры и осадков (Попов, 1980). Это обстоятельство определяет особое разнообразие растительности региона (Пришнинская и др., 2016), что дает возможность успешного исследования влияния климатических факторов на рост и развитие древесных растений. Актуальность этому придает бесспорность результатов исследований о том, что леса играют важнейшую роль в смягчении последствий изменения климата, хотя именно они сильно подвержены влиянию этого глобального процесса (Доклад..., 2020). Наиболее опасным последствием этого противоречия является разрушение ранее сформированного адаптивного потенциала древесных растений, что может вызвать затруднения в их приспособлении к быстро меняющимся условиям среды (Исаев, 2001). По этой причине исследование реакции деревьев на изменение климата является крайне важной задачей. Особенно это утверждение важно в отношении дуба черешчатого (*Quercus robur* L.). Во второй половине прошлого века в российских дубравах наблюдалось сильное усыхание из-за комплекса экстремальных климатических и биотических событий (Царалунга и др., 2015), особенно в Башкортостане (Попов, 1980), где проходит восточная граница ареала вида. С другой стороны, данное засухоустойчивое растение может получить преимущество в условиях изменения климата и возможность сдвига границ местообитаний на север за счет более влаголюбивых конкурентов (Albert et al., 2018). Использование арсенала дендрохронологических методов привело к эффективному изучению влияния динамики климата на рост дуба (Cedro, 2007; Matveev et al., 2018). К сожалению, эти результаты трудно экстраполировать на насаждения таких регионов, как Южный Урал, из-за выраженного своеобразия как климатических условий, так и особенностей истории формирования дубрав, повлиявшей на их специфику, в том числе на генетическом уровне (Degen et al., 2021). Поиск, осуществленный нами в базе данных e-library.ru по ключевым словам «дуб черешчатый, Южный Урал, климат, прирост», не позволил выявить исследования, проведенные на восточной границе ареала вида в аспекте нашей работы, и период времени, чаще связываемый с ускорением изменения климата (Доклад..., 2020).

**Цель работы** – изучение в насаждениях дуба черешчатого Башкортостана влияния на годичный радиальный прирост динамики количества осадков и температур в разрезе отдельных месяцев последних двух десятилетий.

### **Задачи:**

- 1) анализ различий районов Башкортостана в динамике изучаемых климатических факторов;
- 2) изучение годичного радиального прироста в дубравах горнолесной зоны и Башкирского Предуралья;
- 3) выявление климатической обусловленности годичного радиального прироста в частях Южного Урала, в наибольшей степени различающихся по количеству осадков и температуре воздуха, выявление индивидуальной изменчивости деревьев по реакции на динамику этих факторов, а также месяцев, критически важных для обеспечения прироста.

### **Материалы и методика исследований**

Метеорологические данные были получены в Башкирском управлении по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды для метеостанций с. Архангельское, с. Дуван, г. Стерлитамак и г. Туймазы (приобретены за счет гранта Российского научного фонда 19-16-00084). Перед проведением сравнения данных метеостанций месячное количество осадков и температура 2001-2021 гг. были расставлены в определенном порядке: сентябрь-декабрь года, предшествующего вегетационному сезону, и январь-август года прироста. Помесячные значения климатических показателей в 2005-2021 гг. были

сопоставлены с радиальным приростом деревьев дуба черешчатого их двух насаждений горнолесной зоны Башкортостана и Башкирского Предуралья, в наибольшей степени отличающихся друг от друга по условиям климата. Все растения относятся к спелой группе возраста, близки по высоте и имеют диаметр одной и той же ступени толщины.

Особое внимание обращено на минимизацию эффекта бокового затенения, также могущего влиять на интенсивность роста растений, за счет отбора экземпляров в низкополнотных частях древостоев. Выборки, по 10 деревьев в каждой, принадлежат к насаждениям вблизи с. Архангельское (выборка условно обозначена ARC) и г. Туймазы (TMZ). Для проведения дендрохронологического анализа использованы методы, описанные в работе (Тишин, Чижикова, 2018)). При помощи возрастного бурава шведской фирмы Haglof в двух перпендикулярных направлениях ствола каждого дерева высверливались керны. Они приклеивались к деревянным брускам, поверхность кернов обрабатывалась угловой шлифовальной машинкой с кругами с минимальным зернением. Ширина годичных колец измерена с использованием бинокулярного микроскопа МБС. Возраст каждого дерева определялся обратным отсчетом, начиная с 2021 г.

Для описательного и корреляционного анализов использовалась программа STATISTICA 13.3. После проверки распределений всех вариационных рядов по критерию Шапиро-Уилка и подтверждения факта их большей частью не биномиального характера нами использованы параметры и процедуры непараметрической статистики. Для сравнения значений климатических параметров и годового прироста деревьев был выбран рекомендуемый в этих случаях коэффициент корреляции Спирмена R. Кроме корреляционного анализа, вычислялись параметры описательной статистики – средняя, ее ошибка, медиана, пределы изменения признаков, коэффициент вариации, проведен многомерный (кластерный) анализ.

### Результаты

Попарное сравнение климатических данных отдельных месяцев 2001-2021 гг. показало, что различия метеостанций по количеству осадков более выражены, по сравнению с температурой воздуха. Корреляционный анализ выявил, что по первому из этих климатических показателей наблюдается как сравнительное сходство данных станций в с. Архангельское, с. Дуван и г. Стерлитамак, так и относительно высокие отличия климата запада Башкирского Предуралья (метеостанция г. Туймазы). Подтверждение этой закономерности количественно наглядно показано при многомерном (кластерном) анализе (рис. 1). Если по климатическим показателям первые три насаждения на дендрограмме образовали близкий кластер ARC/STR и примыкающую к ним выборку DVN, то дубрава TMZ от них существенно отделена. Аналогичная картина выявлена при сравнении четырех групп деревьев по величине радиального годичного прироста (табл. 1). Корреляции радиального прироста разных пар выборок контрастно отличаются. Коэффициенты Спирмена были близки к нулю (пара DVN/STR) или недостоверными (DVN/TMZ,  $R=0,22$ ; DVN/ ARC,  $R=0,28$ ; ARC/TMZ,  $R=0,39$ ). В то же время в парах ARC/STR ( $R=0,60$ ) и STR/TMZ ( $R=0,69$ ) связь статистически достоверна на уровнях  $p<0,01$  и  $p<0,001$ , соответственно. На рисунке 1 показано, что в первой половине исследованного периода прирост в Туймазинской выборке (TMZ) был существенно выше, чем в остальных трех дубравах. За счет этого явления в ней выше были как медиана, так и среднее значение многолетнего радиального прироста. Начиная с 2010 года радиальный прирост в группе TMZ стал варьироваться в пределах общего размаха всех четырех насаждений. Указанные закономерности явились основанием для детального изучения климатического сигнала в росте растений на примере двух насаждений ARC и TMZ, которые при разной изменчивости количества осадков (рис. 2) и при относительном сходстве температуры

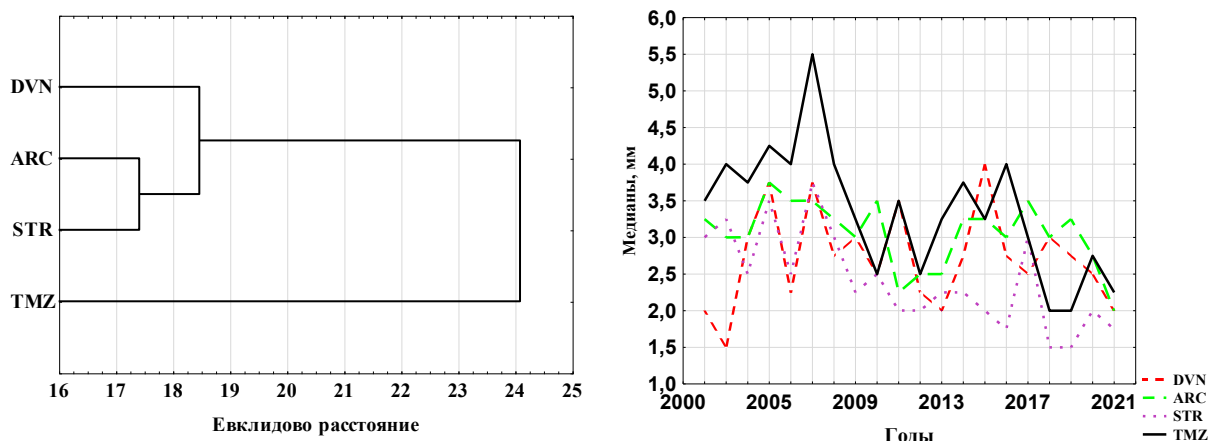


Рис. 1. Результаты многомерного (кластерного) анализа различий метеостанций по количеству осадков в 2001-2021 гг и динамика медиан радиального прироста (слева)

Таблица 1

Статистические показатели радиального прироста

| Выборки | Средняя | Медиана | Минимум | Максимум | Коэффициент вариации, % |
|---------|---------|---------|---------|----------|-------------------------|
| DVN     | 2,7±0,1 | 2,8     | 1,5     | 4,0      | 24,2                    |
| ARC     | 3,1±0,1 | 3,1     | 2,0     | 3,8      | 14,9                    |
| STR     | 2,4±0,1 | 2,3     | 1,5     | 3,8      | 27,0                    |
| TMZ     | 3,4±0,2 | 3,4     | 2,0     | 5,5      | 25,9                    |

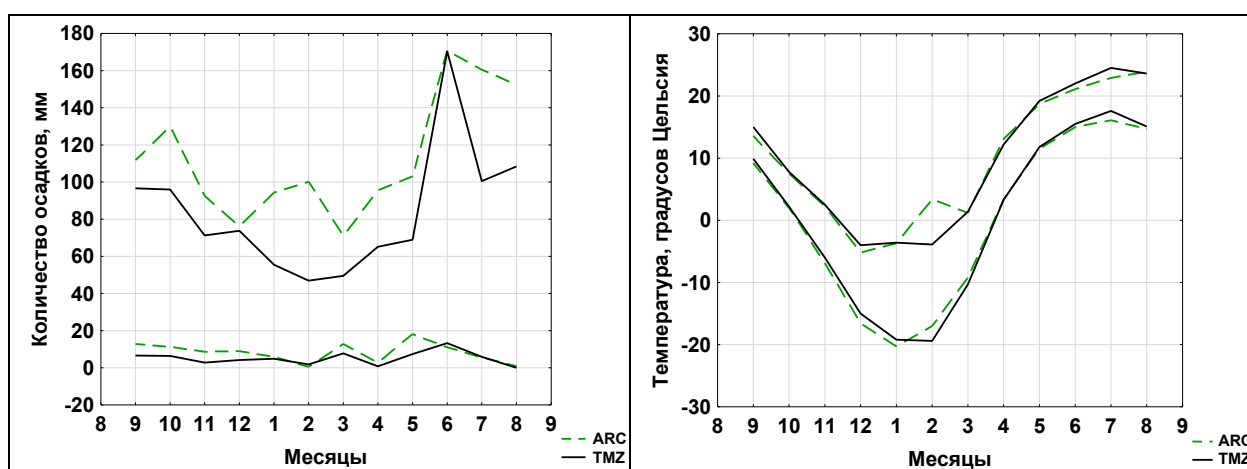


Рис. 2. Динамика минимальных и максимальных значений количества осадков (слева) и температуры воздуха (справа) вблизи Архангельское и г. Туймазы в 2001-2021 гг.

воздуха произрастают в условиях относительно больших различий по количеству осадков и температуры воздуха, а также обладают сравнительно большим радиальным приростом.

Результаты корреляционного анализа обобщены в таблицах 1 и 2. В целом древостой TMZ из Башкирского Предуралья был более чувствителен к динамике осадков (12 статистически значимых корреляций с годовым радиальным приростом против 7 таких случаев в насаждении ARC). Причиной этого явления может быть большая обеспеченность влагой в Архангельской дубраве (с сентября по август здесь выпадало 617,7 мм осадков, медиана 606,7 мм, изменения по годам в пределах 390,4-816 мм). В насаждении из Башкирского Предуралья эти показатели составили значения 459,4, 453,4 и 212,8-621,1 мм,

Таблица 2

**Статистическая оценка достоверности корреляции между ежегодным радиальным приростом  
дуба черешчатого и месячным количеством осадков**

| №                                   | Предыдущий год |       |       |        | Текущий год |       |       |      |         |       |       |       |
|-------------------------------------|----------------|-------|-------|--------|-------------|-------|-------|------|---------|-------|-------|-------|
|                                     | 9              | 10    | 11    | 12     | 1           | 2     | 3     | 4    | 5       | 6     | 7     | 8     |
| Архангельская дубрава (выборка ARC) |                |       |       |        |             |       |       |      |         |       |       |       |
| 1                                   |                |       |       | 0,43   | 0,36        |       |       |      | 0,57    |       |       |       |
| 2                                   |                |       |       |        |             |       |       |      | 0,76*** |       |       |       |
| 3                                   | -0,39          |       |       | 0,38   |             |       | -0,39 |      | 0,34    |       |       |       |
| 4                                   |                |       |       |        |             | -0,45 |       | 0,32 |         |       |       |       |
| 5                                   |                |       |       |        |             |       | -0,32 |      | 0,51    |       |       |       |
| 6                                   |                | 0,38  |       | 0,72** | 0,30        |       |       |      | 0,45    |       |       |       |
| 7                                   |                |       |       |        | 0,31        |       | -0,30 |      | 0,42    |       |       |       |
| 8                                   |                | 0,40  |       | 0,37   | 0,55*       |       | -0,30 |      | 0,44    | 0,32  |       |       |
| 9                                   |                |       |       |        |             |       |       |      | 0,66**  | 0,34  |       |       |
| 10                                  |                | 0,44  |       | 0,44   |             | -0,40 |       |      | 0,43    | 0,53* |       |       |
| Туймазинская дубрава (выборка TMZ)  |                |       |       |        |             |       |       |      |         |       |       |       |
| 1                                   |                |       | 0,42  |        |             |       |       |      |         |       |       |       |
| 2                                   |                |       |       |        |             |       |       |      | 0,56*   |       | 0,33  |       |
| 3                                   |                |       | 0,36  | 0,40   |             |       |       | 0,31 |         |       |       |       |
| 4                                   |                | 0,42  |       | 0,49*  | 0,30        |       |       | 0,42 |         |       | 0,44  |       |
| 5                                   |                |       |       |        | 0,31        |       |       | 0,31 |         |       |       |       |
| 6                                   |                |       | 0,54* | 0,50*  |             |       |       | 0,31 | 0,33    | 0,40  | 0,35  |       |
| 7                                   |                | 0,32  | 0,48  | 0,67** |             |       |       | 0,38 | 0,36    | 0,44  | 0,33  | -0,35 |
| 8                                   |                |       |       | 0,53*  |             |       |       |      | 0,63**  | 0,50  | 0,54* | -0,31 |
| 9                                   |                |       | 0,39  | 0,57*  |             |       |       |      | 0,45    |       |       | -0,42 |
| 10                                  |                | -0,47 |       |        |             |       | -0,37 |      | 0,62**  |       | 0,52* |       |

Примечание: № - номера деревьев; остальными номерами обозначены месяцы года; знаками \*, \*\* и \*\*\* показаны уровни значимости  $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$  и  $p < 0,05$  соответственно; слабые корреляции в интервале между  $R > -0,3$  и  $R < 0,3$  не приведены.

соответственно. Во всех статистически значимых корреляциях и в большинстве других случаев с  $R \geq 0,30$  связь количества осадков и радиального прироста была положительной. Отрицательные статистически недостоверные значения показателя в Архангельской дубраве обнаружены в 18,7 % случаев, в том числе для сентября предшествующего года, февраля и марта. Нами сделано предположение, что накопление избыточного снежного покрова в конце зимы и начале весны может в горных условиях привести к запаздыванию сроков начала ростовых процессов. В пользу этой версии говорит то, что осадки декабря предыдущего года и января, когда создается основной запас снежного покрова, положительно влияли на формирование радиального прироста в обоих районах. В Туймазинской дубраве, которая менее обеспечена влагой, в марте негативная корреляция радиального прироста и количества снежных осадков не обнаружена, хотя в феврале она наблюдалось у одного дерева. Возможно, в условиях Туймазинского района увеличение осадков в этом месяце является не столь критичным из-за их меньшего количества и более раннего схода снежного покрова. Основная часть отрицательных корреляций, в том числе близких к порогу статистической достоверности  $p < 0,05$ , выявлена здесь главным образом для августа вегетационного сезона. Наибольшая синхронность климатического отклика на количество осадков в обоих выборках наблюдается в мае, когда начинаются интенсивные ростовые процессы и, соответственно, максимизация активности камбия.

При учете статически значимых корреляций выявлено, что для радиального прироста дуба были критически важными осадки зимы (декабрь и январь), мая и лета (июнь и июль). Реакция на месячные температуры была более выраженной в горном насаждении ARC

Таблица 3

**Статистическая оценка достоверности корреляции между ежегодным радиальным приростом дуба черешчатого и месячными температурами**

| №                                   | Предыдущий год |        |    |      | Текущий год |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------|----------------|--------|----|------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                     | 9              | 10     | 11 | 12   | 1           | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
| Архангельская дубрава (выборка ARC) |                |        |    |      |             |       |       |       |       |       |       |       |
| 1                                   |                |        |    |      |             |       |       |       | -0,30 |       | -0,44 |       |
| 2                                   |                |        |    |      |             | 0,34  |       |       | -0,48 |       | -0,30 |       |
| 3                                   | 0,46           |        |    |      | -0,47       |       |       |       |       |       |       |       |
| 4                                   |                |        |    |      |             |       |       |       |       | 0,39  | -0,32 | -0,32 |
| 5                                   |                |        |    |      |             |       |       | -0,53 |       |       | -0,45 |       |
| 6                                   |                |        |    |      |             |       |       | -0,32 |       |       | -0,56 |       |
| 7                                   |                |        |    |      |             |       |       | -0,46 |       |       | -0,44 |       |
| 8                                   |                | -0,39  |    |      |             |       |       | -0,39 |       |       | -0,58 |       |
| 9                                   |                |        |    |      |             |       |       | -0,34 |       | -0,32 | -0,45 |       |
| 10                                  |                | -0,53* |    |      |             | -0,39 | -0,53 | -0,36 |       |       | -0,43 | -0,42 |
| Туймазинская дубрава (выборка TMZ)  |                |        |    |      |             |       |       |       |       |       |       |       |
| 1                                   |                | -0,37  |    | 0,32 |             | 0,32  | 0,45  |       | -0,31 |       | -0,40 |       |
| 2                                   |                |        |    |      |             |       |       |       |       |       | -0,42 |       |
| 3                                   |                | -0,33  |    |      | -0,39       |       |       | -0,36 |       |       |       |       |
| 4                                   |                |        |    |      |             |       | 0,34  |       |       |       | -0,46 |       |
| 5                                   |                |        |    |      | -0,32       |       | 0,39  |       |       |       |       |       |
| 6                                   |                |        |    |      |             |       |       |       |       |       |       |       |
| 7                                   | -0,35          | -0,48  |    | 0,30 |             |       |       |       |       |       | -0,30 |       |
| 8                                   | -0,31          | -0,35  |    |      |             |       |       |       |       | -0,41 | -0,36 |       |
| 9                                   | -0,42          | -0,46  |    |      |             |       |       |       |       |       | -0,37 |       |
| 10                                  |                | -0,32  |    |      |             |       |       |       | -0,39 |       |       |       |

Примечание: № - номера деревьев; остальными номерами обозначены месяцы года; знаком \* показан уровень значимости  $p < 0,05$ ; слабые корреляции в интервале между  $R > -0,3$  и  $R < 0,3$  не приведены.

(5 случаев статистически значимых корреляций с годовым радиальным приростом). В этой выборке наблюдались значительные отрицательные корреляции между приростом и температурой воздуха октября предыдущего года, марта, апреля, мая и июля текущего года. Динамика температуры воздуха (табл. 2) не оказывала статистически достоверного влияния на величину радиального прироста дуба черешчатого в Туймазинской дубраве. В большинстве случаев, тем не менее, знак коэффициента Спирмена был одинаковым в обеих выборках, за исключением сентября предыдущего года и февраля. Причинами большей чувствительности Архангельского насаждения к зимним температурам могут быть крайне низкие значения данного климатического фактора, доходящие до абсолютного минимума в  $-51^{\circ}\text{C}$ . Тем не менее, при вычислении зимней среднемесячной температуры такие суточные минимумы не определяются. В лесах Архангельского района чаще наблюдаются ранние осенние и поздние весенние заморозки. Кроме того, температура воздуха, оказывающая непосредственное воздействие на рост растений, может опосредованно влиять и на количество осадков. Как при низких, так и при высоких значениях этого климатического фактора осадки, как правило, уменьшаются.

В некоторых месяцах (количество осадков, выборка TMZ, октябрь предыдущего года; температура воздуха, выборка ARC, февраль и июнь) изученные климатические факторы оказывали разнонаправленное (положительное или отрицательное) воздействие на деревья в пределах местообитаний. Показанные в таблицах 1 и 2 значения коэффициента Спирмена были статистически не значимы, но близки к порогу  $p < 0,05$ . Этот результат указывает на актуальность запланированного нами продолжения исследования индивидуальной изменчивости деревьев по реакции на динамику климатических факторов. Климатический

отклик в радиальном приросте может определяться генетическими (Degen et al., 2020) и/или экологическими причинами – микрогетерогенностью местообитаний, усиливающей или ослабляющей влияние количества осадков и температуры воздуха на уровне отдельных особей.

Ранее на примере насаждения дуба черешчатого юга ареала вида (Воронежская область) также были получены данные о наибольшей важности для радиального прироста деревьев динамики осадков апреля и мая, а также, в меньшей степени, погодных условий осенне-зимнего периода (Matveev et al., 2018). Наши результаты показали, что в разных частях региона с высокой изменчивостью климатических условий такие связи выражены в разной степени, а также могут носить разнонаправленный характер. Климатический отклик в радиальном приросте в условиях Южного Урала выражен сильнее и в существенной степени определяется индивидуальной изменчивостью деревьев в пределах местообитаний.

### **Выводы**

Впервые проведен анализ динамики радиального прироста дуба черешчатого на восточной границе ареала в зависимости от изменчивости климатических показателей в течение последних двух десятилетий. По климату районы горнолесной зоны Республики Башкортостан образуют группу, отличающуюся от условий Башкирского Предуралья. Количество осадков в большей степени влияет на годичный прирост, по сравнению с месячными температурами. Дуб черешчатый из Башкирского Предуралья меньше зависит от динамики температуры воздуха, в то время как количество осадков является критически важным фактором для обоих исследованных районов, особенно для горной дубравы. Выявлены месяцы, климатические факторы которых синхронно влияют на радиальный прирост деревьев в горнолесной зоне и в Башкирском Предуралье, а также периоды, специфичные для того или иного насаждения. Обнаруживается относительно большая индивидуальность деревьев в пределах древостоев в реакции на динамику климатических факторов. Полученные данные могут быть полезными для прогнозирования ежегодного прироста дуба черешчатого в Башкортостане.

***Исследования проведены при поддержке гранта Президента Российской Федерации для поддержки молодых ученых МК-3699.2022.5.***

### **Библиографический список**

1. Доклад о научно-методических основах для разработки стратегий адаптации к изменениям климата в Российской Федерации (в области компетенции Росгидромета). Санкт-Петербург, Саратов: Амирит, 2020. 120 с.
2. Исаев А.А. Экологическая климатология. Москва: Научный мир, 2001. 2001 с.
3. Пришневская Я.В., Красильников В.П., Боронникова С. В. Молекулярно-генетическая идентификация популяций *Pinus sylvestris* L. на востоке Русской равнины на основании полиморфизма ISSR-маркеров // Вестник Пермского университета. Сер. Биол. 2016. № 2. С. 171-176.
4. Попов Г.В. Леса Башкирии. Уфа, 1980. 144 с.
5. Тишин Д.В., Чижилова Н.А. Дендрохронология: учебное пособие. Казань: Казанский университет, 2018. 34 с.
6. Царалунга В.В., Фурменкова Е.С., Крюкова А.А. Внешние признаки патологии дуба черешчатого. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет, 2015. 231 с.
7. Albert M., Nagel R.V., Suttmoller J., Schmidt M. Quantifying the effect of persistent dryer climates on forest productivity and implications for forest planning: a case study in northern Germany // Forest Ecosystems. 2018. Vol. 5 (33). DOI: <https://doi.org/10.1186/s40663-018-0152-0>.
8. Cedro A. Tree-ring chronologies of downy oak (*Quercus pubescens*), pedunculate oak (*Q. robur*) and sessile oak (*Q. petraea*) in the Bielinek nature reserve: comparison of the climatic determinants of tree-ring width // Geochronometria. 2007. Vol. 26. P. 39-45. 10.2478/v10003-007-0005-2.

9. Degen B., Yanbaev Y., Mader M., Ianbaev 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). <https://doi.org/10.3390/f12101425>.
10. Matveev S., Milenin A., Timashchuk D. The effects of limiting climate factors on the increment of native tree species (*Pinus sylvestris* L., *Quercus robur* L.) of the Voronezh region // *Journal of Forest Science*. 2018. Vol. 64. P. 427-434. 10.17221/36/2018-JFS.

## References

1. Doklad o nauchno-metodicheskikh osnovah dlya razrabotki strategij adaptatsii k izmeneniyam klimata v Rossijskoj Federacii (v oblasti kompetencii Rosgidrometa) (Report on scientific and methodological bases for the development of strategies for adaptation to climate change in the Russian Federation (in the field of Roshydromet competence), Sankt-Peterburg, Saratov: Amirit, 2020. 120 p.
2. Isaev, A.A. *Ekologicheskaya klimatologiya* (Ecological climatology). Moscow: Scientific World, 2001. 2001 p.
3. Prishnivskaya Ya. V., Krasil'nikov V. P., Boronnikova S. V. Molekulyarno-geneticheskaya identifikatsiya populyatsiy *Pinus sylvestris* L. na vostokey Russkoy ravniny na osnovanii polimorfizma ISSR-markero (Molecular genetic identification of populations of *Pinus sylvestris* L. in the east of the Russian plain based on polymorphism of ISSR-markers). *Bulletin of Perm University. Ser. Biol.* 2016. № 2. Pp. 171–176 (in Russ.).
4. Popov G.V. *Lesa Bashkirii* (Forests of Bashkiria). Ufa, 1980. 144 p.
5. Tishin D.V., Chizhikova N.A. *Dendrokhronologiya: uchebnoe posobie* (Dendrochronology: textbook). Kazan: Kazan University, 2018. 34 p.
6. Tsaralunga V.V., Furmenkova E.S., Kryukova A.A. Vneshnie priznaki patologii duba chereschatogo (External signs of pathology of the pedunculate oak). Voronezh: Voronezh State Technical University, 2015. 231 p.
7. Albert M., Nagel R.V., Suttmoller J., Schmidt M. Quantifying the effect of persistent dryer climates on forest productivity and implications for forest planning: a case study in northern Germany. *Forest Ecosystems*. 2018. Vol. 5 (33). DOI: <https://doi.org/10.1186/s40663-018-0152-0>.
8. Cedro A. Tree-ring chronologies of downy oak (*Quercus pubescens*), pedunculate oak (*Q. robur*) and sessile oak (*Q. petraea*) in the Bielinek nature reserve: comparison of the climatic determinants of tree-ring width. *Geochronometria*. 2007. Vol. 26. P. 39-45. 10.2478/v10003-007-0005-2.
9. Degen B., Yanbaev Y., Mader M., Ianbaev R., Bakhtina S., Schroeder H., Blanc-Jolivet C. (2021). Impact of gene flow and introgression on the range wide genetic structure of *Quercus robur* (L.) in Europe. *Forests*. 2021. Vol. 12 (10). 1425. <https://doi.org/10.3390/f12101425>.
10. Matveev S., Milenin A., Timashchuk D. The effects of limiting climate factors on the increment of native tree species (*Pinus sylvestris* L., *Quercus robur* L.) of the Voronezh region. *Journal of Forest Science*. 2018. Vol. 64. P. 427-434. 10.17221/36/2018-JFS.