

Оригинальная статья / Original article
УДК 630*1:57.045
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-1-34-45

Климатический сигнал в годичных слоях дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) на юго-восточной границе его ареала в бассейне р. Урал

Сергей Е. Кучеров^{1,2}, Светлана В. Кучерова³, Василий Б. Мартыненко¹, Павел В. Вельмовский²

¹Уфимский институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Уфа, Россия

²Институт степи Уральского отделения РАН, Оренбург, Россия

³Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия

Контактное лицо

Сергей Е. Кучеров, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, Уфимский институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН; 450054 Россия, г. Уфа, проспект Октября, 69.
Тел. +79872464380
Email skucherov@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7734-1725>

Формат цитирования

Кучеров С.Е., Кучерова С.В., Мартыненко В.Б., Вельмовский П.В. Климатический сигнал в годичных слоях дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) на юго-восточной границе его ареала в бассейне р. Урал // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 1. С. 34-45. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-1-34-45

Получена 9 сентября 2022 г.
Прошла рецензирование 14 октября 2022 г.
Принята 12 декабря 2022 г.

Резюме

Цель. Выявление и анализ климатического сигнала, содержащегося в годичных слоях дуба черешчатого на юго-восточной границе своего ареала на территории России (бассейн реки Урал).

Материал и методы. Материалам для исследования были годичные слои в образцах древесины дуба черешчатого, взятых на трех участках в южной части хребта Дзяу-тубе. Измерения ширины годичных слоев были выполнены на бинокулярном микроскопе МБС и на измерительном комплексе Lintab с программным пакетом TSAP-Win™. Построение хронологий радиального прироста осуществлялось в программе ARSTAN. Дендроклиматический анализ проводился в пакете TreeClim в среде программирования R.

Результаты. Лимитирующим климатическим фактором для радиального прироста дуба черешчатого на юго-восточной границе своего ареала является количество атмосферных осадков за зимне-весенний сезон и начальный период вегетации и в наибольшей степени с суммой осадков марта–мая. Показано, что сила этого климатического сигнала в годичных слоях дуба не была постоянной во времени. В динамике этого сигнала характерно наличие локальных участков его снижения, начало которых приурочено к годам массовых размножений непарного шелкопряда.

Заключение. Начиная с начала 80-х гг. XX столетия произошло значительное уменьшение связи прироста с количеством осадков за март–май. Причиной этого изменения, по нашему мнению, могло быть сильное изменение состояния деревьев и древостоев, вызванное воздействием сильной дефолиации дуба непарным шелкопрядом.

Ключевые слова

Бассейн реки Урал, хребет Дзяу-тубе, дуб черешчатый, *Quercus robur*, радиальный прирост, климатический сигнал.

The climatic signal in tree rings of the common oak (*Quercus robur* L.) on the south-eastern border of its range in the Ural River basin, Russia

Sergey E. Kucherov^{1,2}, Svetlana V. Kucheroва³, Vasilii B. Martynenko¹ and Pavel V. Velmovskiy²

¹Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

²Steppe Institute, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

³Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

Principal contact

Sergey E. Kucherov, Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences; 69 October Ave, Ufa, Russia 450054. Tel. +79872464380

Email skucherov@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7734-1725>

How to cite this article

Kucherov S.E., Kucheroва S.V., Martynenko V.B., Velmovskiy P.V. The climatic signal in tree rings of the common oak (*Quercus robur* L.) on the south-eastern border of its range in the Ural River basin, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 1, pp. 34-45. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-1-34-45

Received 9 September 2022

Revised 14 October 2022

Accepted 12 December 2022

Abstract

Aim. The objective of this study was to identify and analyze the climatic signal contained in the tree-rings of common oak on the southeastern border of its range in Russia (Ural River basin).

Material and Methods. The materials for the study were tree-rings in samples of common oak wood from three sites in the southern part of the Dziau-tyube ridge. Measurements of ring-width were performed on the MBS binocular microscope and on the Lintab measuring complex with the TSAP-WinTM software package. The construction of tree-ring chronologies was carried out in the ARSTAN program. Dendroclimatic analysis was carried out in the R package treeclim.

Results. The limiting climatic factors for the radial growth of the common oak on the southeastern border of its range are precipitation during the winter-spring season and the initial period of vegetation and to the greatest extent with the precipitation in March-May. It was shown that the strength of this climatic signal in oak tree rings was not constant over time. The dynamics of this signal are characterized by the presence of local periods of decline, the beginning of which is timed to the years of mass gypsy moth outbreaks.

Conclusions. Since the beginning of the 1980s, there has been a significant decrease in the relationship of radial growth with the amount of precipitation for March-May. The reason for this change, in our opinion, could be a strong change in the condition of trees and stands caused by the consistent impact of strong oak defoliation caused by Gypsy moths and late spring frosts.

Key Words

Ural River basin, Dziautyube Ridge, common oak, *Quercus robur*, tree-rings, climatic signal.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования по изучению влияния климатических условий на состояние и динамику количественных показателей прироста деревьев имеют особо важное значение в районах с недостаточным увлажнением, к которым относится лесостепная часть Южного Урала, расположенная в бассейне р. Урал. В этом районе проходит юго-восточная граница дубовых лесов лесостепной зоны Восточной Европы. Дубняки района

исследования, находясь на границе своего ареала, подвержены воздействию аномальных погодных воздействий [1–3], а также таких негативных воздействий, как массовые размножения непарного шелкопряда и пожары [1; 3–8]. В данной работе представлены результаты дендроклиматического анализа радиального прироста дуба черешчатого, произрастающего на хребте Дзяу-тубе, Южный Урал (рис. 1).



Рисунок 1. Дубравная лесостепь в южной части хребта Дзяутубе

Figure 1. Oak forest-steppe in the southern part of the Dzyautyube ridge

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились на хребте Дзяу-тубе, расположенном в бассейне реки Урал в междуречье рек Сакмары и Куруила, на территории двух субъектов Российской Федерации – Республики Башкортостан и Оренбургской области [9]. В этом регионе расположены самые крупные массивы малоизмененных горно-лесных и горно-степных угодий Уральского и Приволжского федеральных округов. Здесь находятся две особо охраняемые природные территории регионального и федерального рангов – Государственный природный зоологический заказник республиканского значения «Шайтан-Тау», организованный 02 июля 1970 года (площадь 30,5 тыс. га), и Государственный природный заповедник «Шайтан-Тау», созданный 09 октября 2014 года (площадь 6,725 тыс. га) [10; 11]. Дубняки, в основном, располагаются на платообразной верхней части хребта. Для этих лесов характерен богатый флористический состав, сочетание в травостое лесных, луговых, опушечных и степных видов. Характерной особенностью этих лесов является наличие в подлеске и особенно на опушках степных кустарников – вишни степной, чилиги, шиповника коричневого, ракитника и др. [5].

Для выявления климатического сигнала в радиальном приросте дуба черешчатого и его временной изменчивости было заложено три тест-полигона (ТП) в южной части хребта Дзяу-тубе, два из которых (ТП1, ТП3) расположены на территории заповедника «Шайтан-тау» (рис. 2, табл. 1). ТП1 расположен в дубняке на ровной поверхности в самой южной части хребта, ТП3 расположен в дубняке на восточном, юго-восточном склоне (2–3°) в 5 км к северу от ТП1. ТП2 расположен в дубняке в 4 км к северо-востоку от ТП3. Все эти дубняки расположены на платообразном гребне хребта. Образцы древесины (керы) брали из нижней части стволов на минимальной высоте (15–40 см) от уровня земли. Измерения ширины годичных слоев были выполнены на бинокулярном микроскопе МБС и на измерительном комплексе Lintab с программным пакетом TSAP-Win™ [12]. Датировка годичных слоев радиального прироста проводилась перед проведением измерений на основе выявленных реперных годичных слоев.

Для исключения (из полученных после измерения рядов прироста) изменчивости, не связанной с климатом, проводилась стандартизация исходных рядов прироста в программе ARSTAN [13]. Возрастные кривые вычислялись с использованием

кубических сплайнов длиной 30–40 лет [14]. Стандартизированные ряды прироста деревьев каждого ТП усреднялись для получения хронологий радиального прироста для данного ТП. Критерием оценки надежности хронологий является статистика EPS (expressed population signal), значение которой

показывает, в какой степени реальная хронология отражает гипотетическую, представленную бесконечным количеством деревьев [15]. При значениях $EPS \geq 0,85$ хронология считается достаточно представительной [16]. При анализе начальные участки хронологий, на которых $EPS < 0,85$, были исключены.

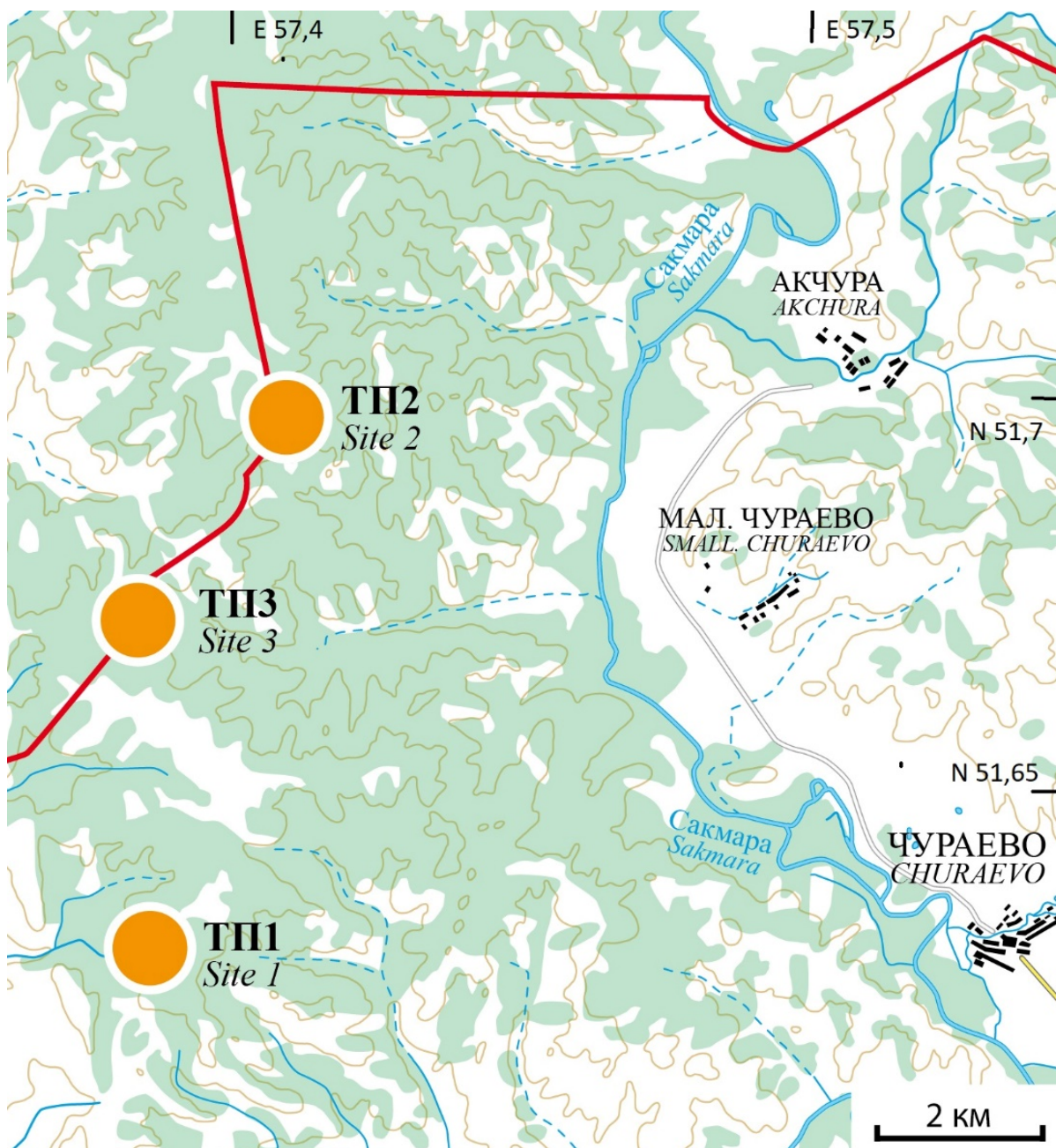


Рисунок 2. Расположение тест-полигонов (ТП) в южной части хребта Дзю-тубе
Figure 2. Location of test sites (TS) in the southern part of the Dzyautyube ridge

Метеорологические данные (количество месячных осадков и средние месячные температуры воздуха) за период 1901–2019 были взяты из базы данных CRU TS (Climatic Research Unit gridded Time Series) 4,05 [17] с пространственным разрешением $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ по широте и долготе, которые покрывают территорию с расположенными на ней ТП ($51,0^\circ$ – $51,5^\circ$ с.ш., $57,0^\circ$ – $57,5^\circ$ в.д.). Данные доступны на сайте Королевского метеорологического института Нидерландов (the Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI), <http://climexp.knmi.nl/>).

Для оценки климатического сигнала в хронологиях древесных колец и их стабильности во времени, мы вычисляли скользящие коэффициенты корреляции между хронологиями радиального прироста и климатическими данными (средняя температура и количество осадков) за период с предыдущего сентября по текущий сентябрь на 35-летних интервалах и лагом в 5 лет. Корреляции хронологий прироста с сезонными климатическими переменными определялись с использованием дендроклиматического окна, т.е. первого и последнего

месяца периода, используемого для определения климатических предикторов, вместе с продолжительностью сезона, которая затем перекрывается на один месяц назад во времени. Для первичной климатической переменной (осадки) корреляция вычисляется как коэффициент линейной корреляции Пирсона, а для вторичной (температура), вычислялась частная корреляция. Расчеты проводились в пакете TreeClim [18] в среде R 4.1.2 [19].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Протяженность полученных хронологий радиального прироста варьирует от 87 (ТП3) до 212 (ТП2) лет (см. табл. 1). Коэффициент чувствительности хронологий, отражающий степень изменчивости радиального прироста год от года, находится в интервале от 0,25 до 0,29, что свидетельствует о среднем уровне чувствительности прироста дуба в районе исследования (хронология считается чувствительной при значении коэффициента $>0,3$) (см. табл. 1). Среднее значение коэффициента корреляции между стандартизованными рядами прироста деревьев в пределах одного ТП имеет достаточно высокие значения (см. табл. 1), что отражает высокое сходство реакции прироста деревьев на воздействие комплекса внешних факторов среды.

Коэффициент корреляции между хронологиями прироста на интервале 1935–2013 гг. равен 0,07 (между ТП2 и ТП3), 0,33 (между ТП1 и ТП3) и 0,51 (между ТП1 и ТП2). Столь большое различие сходства между хронологией ТП3 и хронологиями ТП1 и ТП2 свидетельствует о сильном влиянии на прирост на этом временном интервале факторов не климатической природы. Этим фактором является сильная дефолиация дуба непарным шелкопрядом, происходящая в даже близко расположенных дубняках со смещением в один год [7; 20]. На более раннем интервале 1851–1934 гг. коэффициент корреляции между хронологиями ТП1 и ТП2 значительно больше, чем на интервале 1935–2013 гг. (0,76 против 0,51). Это свидетельствует о большей доле в изменчивости прироста дуба климатической компоненты (общий фактор) на более раннем интервале времени.

Отклик радиального прироста дуба на климатические переменные для всех ТП характеризуется положительной связью с осадками как осенне-зимне-весеннего сезона, так и с осадками периода вегетации, и отрицательной связью с температурой весенне-летних месяцев текущего года на большей части 35-летних скользящих периодов (см. рис. 3А, 3В, 3С).

Таблица 1. Статистические показатели хронологий радиального прироста дуба

Table 1. Statistics of oak ring-width chronologies

Показатель Parameter	№ ТП / № Test site		
	1	2	3
Количество деревьев в хронологиях Number of trees in chronologies	96	28	42
Интервал хронологий Time span of chronologies	1835–2013	1803–2014	1932–2018
MS	0,26	0,29	0,25
r_{cp}	0,507	0,547	0,476
EPS$>0,85$	1851*	1825*	1936*

Примечание: MS – коэффициент чувствительности хронологий; r_{cp} – среднее значение коэффициента корреляции между рядами индексов радиального прироста деревьев на ТП; * – первый год хронологии, начиная с которого EPS $>0,85$

Note: MS – coefficient of sensitivity of chronologies; r_{cp} – the average value of the correlation coefficient between the series of indices of the radial growth of trees on the TS; * – the first year of the chronology, starting from EPS $>0,85$

Для осадков периода, предшествующего вегетационному сезону, наиболее сильная связь с приростом на ТП1 обнаружена с осадками октября и декабря прошлого года, марта и апреля текущего года (см. рис. 3А). Причем, с осадками октября связь уменьшалась при продвижении от ранних интервалов (1909–1943 гг.; 1914–1945 и т.д.) к более поздним. Начиная с интервала 1939–1973 гг. и последующих за ним значения коэффициента корреляции уже не достоверны (см. рис. 3А). Для осадков декабря картина на этом ТП обратная: на ранних интервалах значения коэффициента корреляции не достоверны, а на поздних, начиная с интервала 1949–1983 гг. достоверно положительные (см. рис. 3А). Для осадков текущего года на ТП1 наиболее сильная положительная связь с приростом выявлена в марте – на первой половине интервалов, с осадками апреля – на последних интервалах, с осадками мая и июня, как и с осадками марта – на первой половине интервалов (см. рис. 3А). Таким образом, на ТП1 произошло общее ослабление связи прироста с осадками марта и с осадками первых двух месяцев вегетационного периода (май, июнь). Со

средними месячными температурами на ТП1 достоверная отрицательная связь прироста обнаружена с температурой апреля, мая, июня и августа (см. рис. 3А), причем с температурой августа – только на первой половине интервалов времени.

На ТП2 наиболее сильная связь прироста с осадками прошлого года выявлена с осадками декабря, причем, как и на ТП1, связь возрастала при продвижении от более ранних интервалов к более поздним (см. рис. 3В – ТП2 и рис. 3А – ТП1). Для осадков текущего года на ТП2 положительная достоверная связь с приростом выявлена на первой половине интервалов с осадками марта, апреля, мая, июня и июля (см. рис. 3В). То есть, на этом ТП связь прироста с осадками весенне-летнего периода проявилась сильнее, чем на ТП1. Связь прироста с осадками весенне-летнего периода, так же как и на ТП1, имела явную тенденцию к ослаблению при продвижении от ранних интервалов к более поздним. На ТП2 достоверная отрицательная связь прироста выявлена с температурой марта, мая, июня и июля (см. рис. 3В).

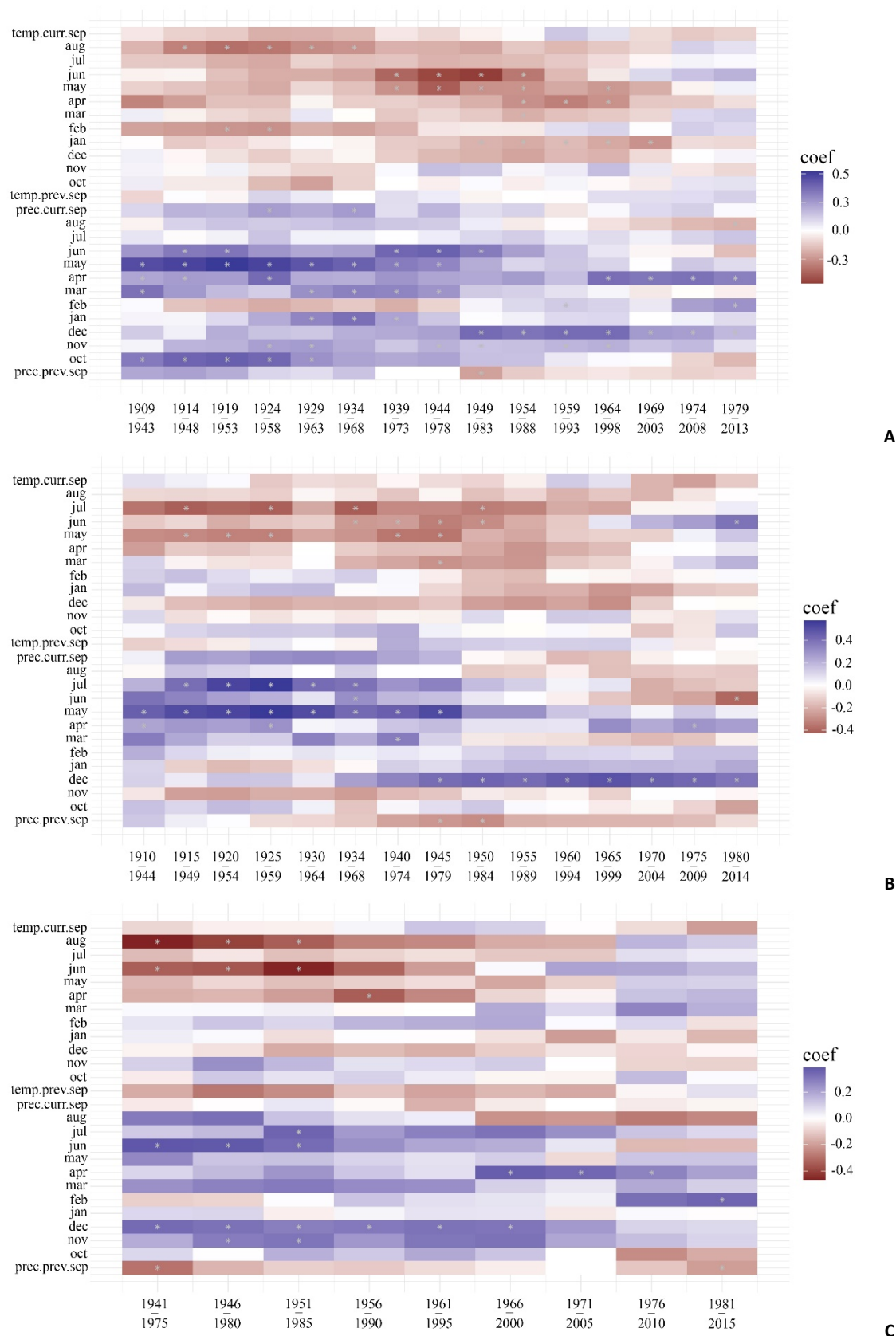


Рисунок 3. Графики коэффициента корреляции между хронологиями радиального прироста дуба тест-полигонов с температурой (temp.) и осадками (prec.) для месяцев с сентября предшествующего года (prev. sep), по сентябрь текущего года (curr. sep): А – ТП1, В – ТП2, С – ТП3. Скользящая корреляция проведена в окнах 35 лет, с шагом в 5 лет на интервале 1901–2013 гг. для ТП 1 и ТП 2 и на интервале 1936–2015 гг. для ТП 3. * – корреляции, значимые на уровне 0.05

Figure 3. Plot of moving correlation between the chronologies of the radial growth of oak test sites to temperature (temp.) and precipitation (prec.) for the months from the previous September (prev. sep) to the current September (curr. sep): A – Site 1, B – Site 2, C – Site 3. The moving correlation is carried out in windows of 35 yr, offset by 5 years in the interval 1901–2013 for Site 1 and Site 2 and in the interval 1936–2015 for Site 3. * – significant correlations at the level of 0.05

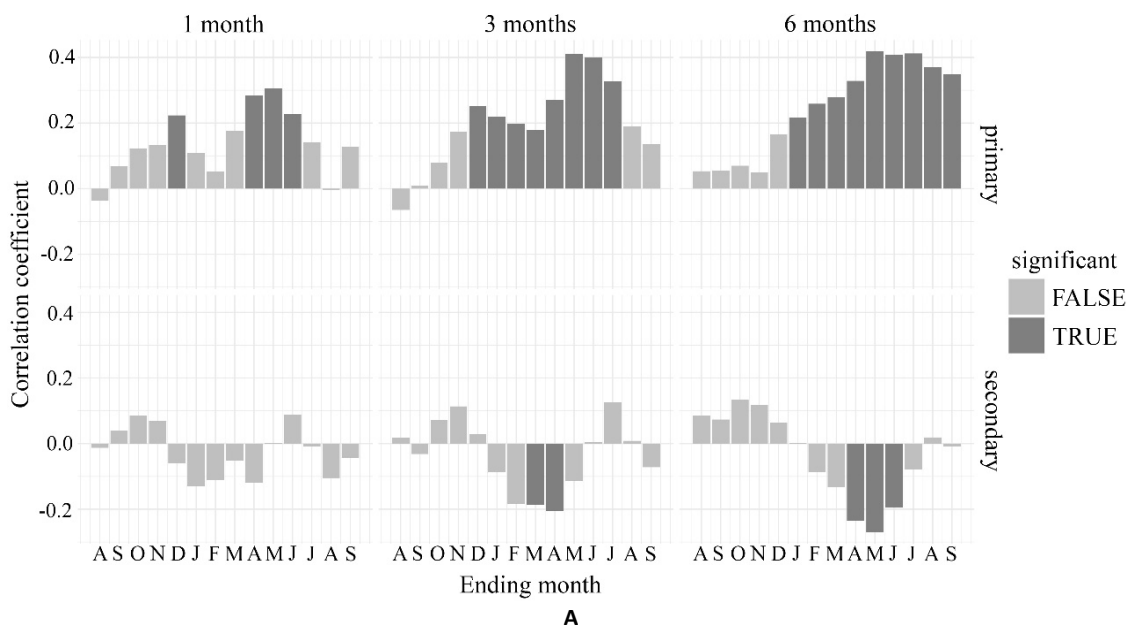
На ТПЗ связь прироста с осадками осенне-зимнего периода характерна для ноября и декабря (см. рис. 3С). Причем, в отличие от ТП1 и ТП2 связь прироста с осадками декабря на последних интервалах, начиная с 1971–2005 гг., перестала иметь достоверные значения (сравни рис. 3С – ТПЗ с рис. 3А – ТП1 и рис. 3В – ТП2). Для осадков текущего года на ТПЗ положительная достоверная связь с приростом обнаружена с осадками июня и июля на первой половине интервалов, а с осадками апреля – на второй половине интервалов времени (см. рис. 3С). На ТПЗ достоверная отрицательная связь с температурой присутствует только на первой половине интервалов для марта, июня и августа. Стоит отметить, что только в июне на всех ТП присутствует одновременно достоверная положительная связь прироста с осадками, и отрицательная – с температурой. Положительная связь прироста с осадками мая, июня и июля свидетельствует о лимитирующей роли летних осадков на прирост дуба в районе исследования. Такая связь прироста с осадками характерна для прироста лиственницы и сосны в регионах с недостаточным увлажнением, к которым относятся лесостепная зона России и островные боры в степной зоне [1; 21–27].

Анализ связи прироста дуба с сезонными климатическими переменными проводился для трех сезонов продолжительностью в 1, 3 и 6 месяцев, с дендроклиматическим окном продолжительностью 14 месяцев, начинающимся в августе предыдущего года и заканчивающимся в сентябре текущего года (см. рис. 4). Расчеты подтвердили для всех сезонов ведущую роль количества осадков в динамике прироста. Для сезона из 3-х месяцев максимальные достоверные значения коэффициента корреляции прироста с осадками обнаружены на всех ТП с сезоном марта–мая (пятые колонки на гистограммах, считая справа налево, см. рис. 4). Для сезона из 6-ти месяцев, максимальные достоверные значения коэффициента корреляции прироста с осадками, также, как и для сезона из 3 месяцев, выявлены для сезона, в котором конечным месяцем является май (пятые колонки на гистограммах, считая справа налево, см. рис. 4). Этот сезон (декабрь–май) объединяет осадки декабря предшествующего года, осадки зимне-весеннего периода текущего года

(январь–апрель), и осадки мая (первого месяца периода вегетации). Таким образом, для прироста дуба в районе исследования лимитирующим климатическим фактором являются осадки зимне-весеннего периода, и осадки начала периода вегетации.

Представляет интерес вопрос, была ли связь прироста с осадками сезонов стабильной во времени. Для этого мы проанализировали связь прироста с осадками марта–мая на скользящих 35-летних интервалах с шагом в 1 год, для которых, как было показано выше (см. рис. 4), значения коэффициента корреляции прироста с осадками этого сезона на всех ТП максимальны. Было установлено, что на ТП1 и ТП2 на первой половине интервалов с 1902–1936 гг. до 1946–1980 гг., связь прироста с осадками марта–мая была достоверно высокой (0,5–0,7 на ТП1, 0,45–0,6 на ТП2) (см. рис. 5А и рис. 5В). Начиная с интервала 1947–1981 гг., на обоих ТП произошло резкое снижение связи до значений коэффициента корреляции 0,43 (ТП1) и 0,27 (ТП2), с продолжающимся в дальнейшем снижении (см. рис. 5А и рис. 5В). На ТПЗ, для которого длина хронологии значительно меньше, чем на ТП1 и ТП2, также присутствует тенденция к уменьшению связи прироста с осадками марта–мая. (рис. 5С).

Для всех ТП характерно наличие локальных участков снижения связи, начало которых приурочено к 1981, 1993 и 2002 гг. (см. рис. 5). Ранее [3; 8], на основе анализа радиального прироста дуба было установлено, что в районе исследования в 1980 и 1993 гг. происходила сильная дефолиация дуба непарным шелкопрядом. Дефолиация дуба непарным шелкопрядом в 2002 г. наблюдалась нами непосредственно [7; 28]. Как видно (см. рис. 5), начальные годы локального уменьшения связи прироста с осадками совпадают с годами сильной дефолиации дуба непарным шелкопрядом. Резкое снижение связи прироста с осадками на ТП1 и ТП2 не свидетельствует о резком изменении климатических условий, которые имеют плавные тенденции как увеличению, так и снижению (см. рис. 6). Очевидно, резкое уменьшение связи прироста с осадками на ТП1 и ТП2 после 1980 г. связано с резким изменением состояния деревьев и древостоев.



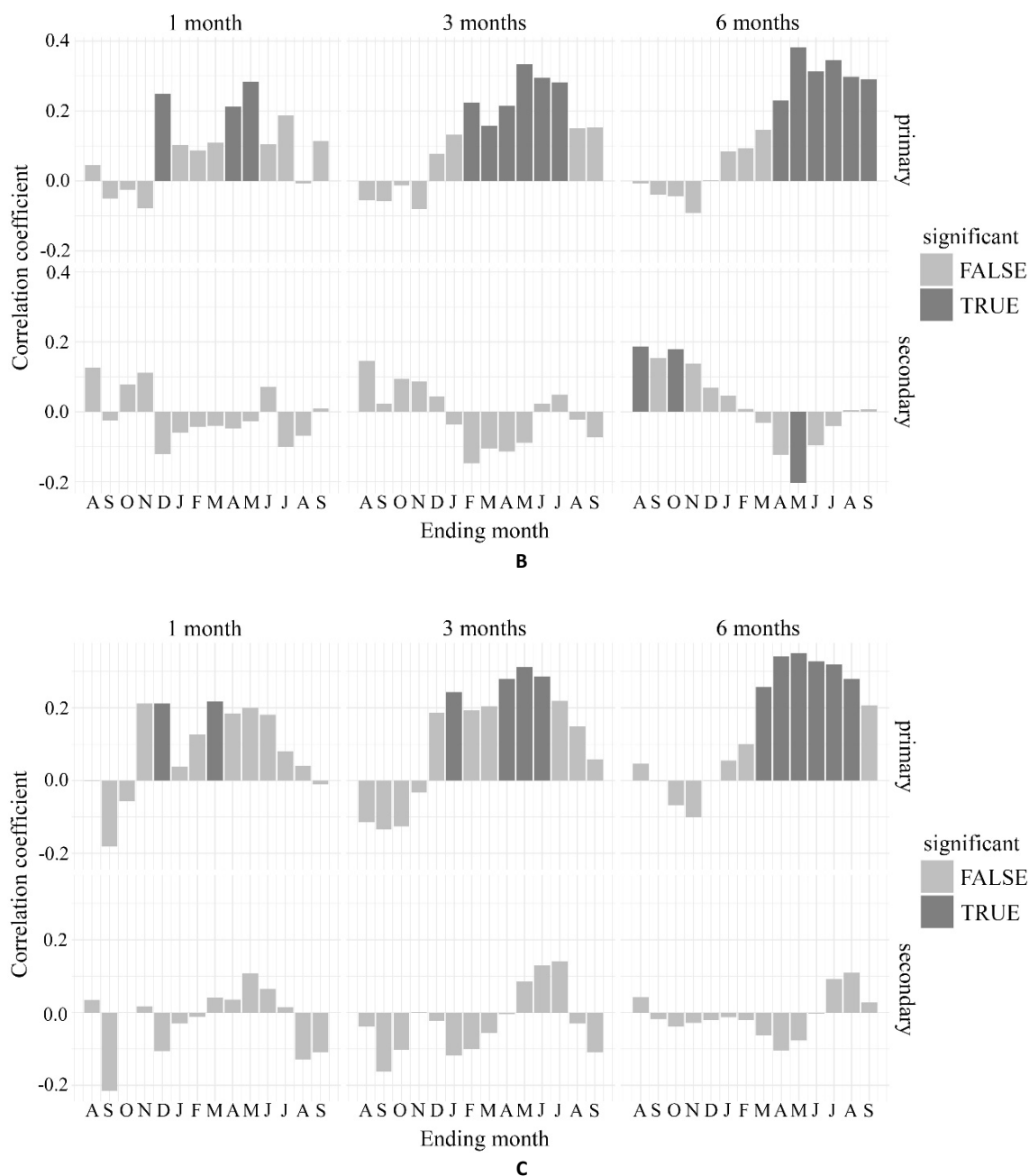


Рисунок 4. Корреляционная связь хронологий радиального прироста тест-полигонов с сезонными осадками (основная переменная, парные коэффициенты корреляции Пирсона, верхние панели) и температурой (вторичная переменная, частные коэффициенты корреляции, нижние панели) продолжительностью 1, 3 и 6 месяцев:

A – ТП1, В – ТП2, С – ТП3. Латинскими буквами по шкале абсцисс показаны названия последних в сезоне месяцев, начиная с августа (А) предшествующего года по сентябрь (S) текущего года. Для сезона из трех месяцев справа налево по оси абсцисс S соответствует месяцам с июля по сентябрь текущего года, А – месяцам с июня по август текущего года и т.д. Значимые (TRUE) на уровне 0.05 корреляции выделены темным цветом

Figure 4. Correlation of chronologies of radial increment of test polygons with seasonal precipitation (main variable, pairwise Pearson correlation coefficients, upper panels) and temperature (secondary variable, partial correlation coefficients, bottom panels) duration of 1, 3 and 6 months: *A – Site 1, B – Site 2, C – Site 3. Latin letters on the x-axis show the names of the last months in the season, starting from August (A) of the previous year to September (S) of the current year. For a season of three months, from right to left the x-axis S – corresponds to the months from July to September of the current year, A – to the months from June to August of the current year, and so on. Significant (TRUE) correlations at the 0.05 level are highlighted in dark grey.*

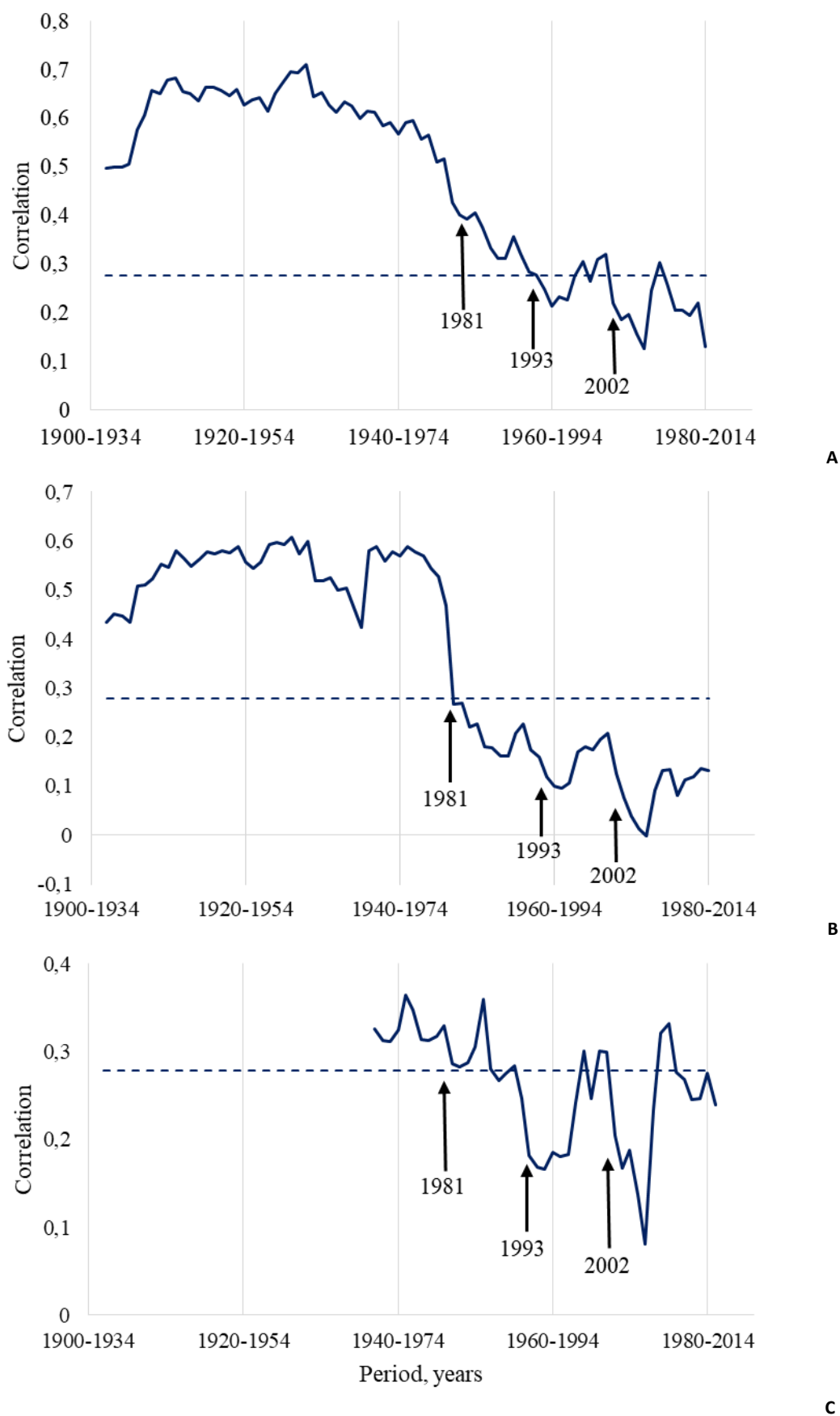


Рисунок 5. Графики коэффициента корреляции на 35-летних интервалах между хронологиями радиального прироста дуба тест-полигонов с осадками марта–мая: А – ТП1, В – ТП2, С – ТП3
Значения выше пунктирной линии достоверны на уровне 0,05

Figure 5. Plot of moving correlation function at 35-year intervals between the chronologies of the radial growth of the oak in the test-polygons with precipitation for March–May: А – Site 1, В – Site 2, С – Site 3
Values above the dotted line are significant at the 0.05 level

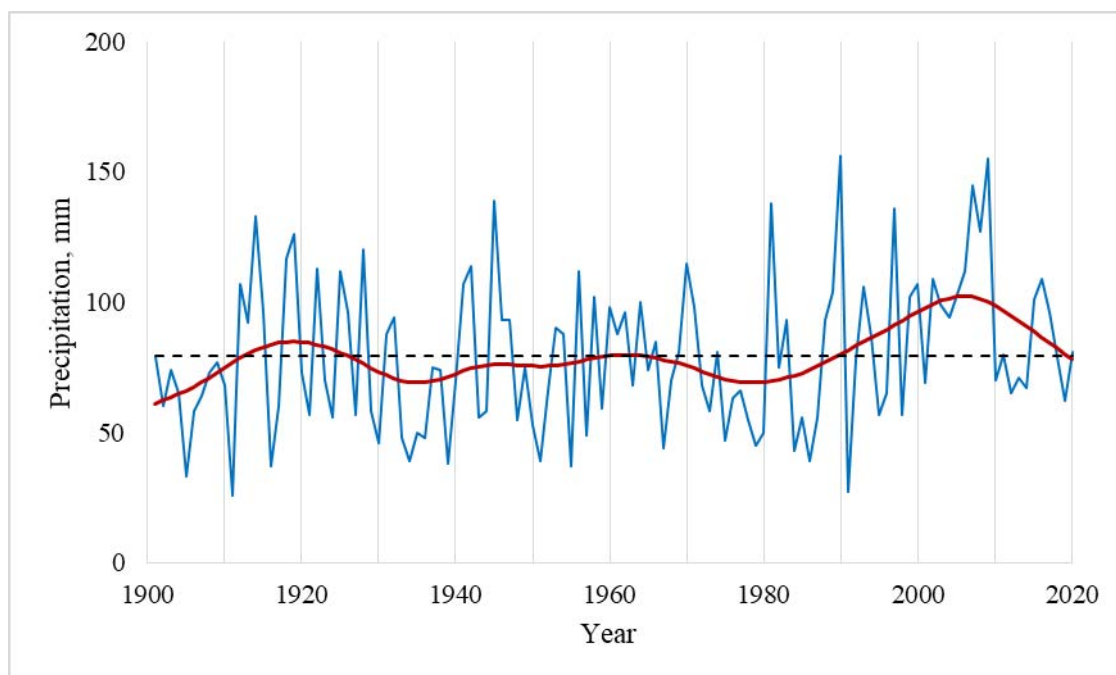


Рисунок 6. Осадки марта–мая, жирная линия – сглаженные значения, пунктирная линия – среднее значение на интервале 1901–2020 гг.

Figure 6. Precipitation in March–May: bold line – smoothed values; dotted line – average value for the interval 1901–2020

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что для радиального прироста дуба черешчатого на юго-восточной границе своего ареала лимитирующим климатическим фактором является количество атмосферных осадков за зимне-весенний сезон и начальный период вегетации. Установлено, что сила этого климатического сигнала в годичных слоях дуба не была постоянной за период имеющихся метеоданных. Начиная с начала 80-х гг. XX столетия произошло значительное уменьшение связи прироста с количеством осадков зимне-весеннего сезона и начального периода вегетации. Уменьшение климатического сигнала не может быть связано с изменением климатических условий, которые имеют плавные тенденции как увеличению, так и снижению. Причиной такого изменения, по нашему мнению, могло быть сильное изменение состояния деревьев и древостоев, вызванное воздействием сильной дефолиации дуба непарным шелкопрядом.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Инструментальная часть работы и построение хронологий прироста дуба выполнена в рамках НИР ОФИЦ УрО РАН (ИС УрО РАН) № АААА–А21–121011190016. Дендроклиматический анализ и обобщение результатов выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22–14–00003, <https://rscf.ru/project/22-14-00003/>

ACKNOWLEDGMENT

The instrumental part of the work and the construction of chronologies of oak growth were carried out within the framework of the research work of the Official Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IS Ural Branch, Russian Academy of Sciences) No. АААА–А21–121011190016. Dendroclimatic analysis and

generalisation of the results were supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 22–14–00003, <https://rscf.ru/project/22-14-00003/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кучеров С.Е. Влияние массовых размножений листогрызущих насекомых и климатических факторов на радиальный прирост древесных растений: Дис. ... канд. биол. Наук. Свердловск. Ин-т экологии растений и животных УрО АН СССР. 1988. 212 с.
2. Кучеров С.Е. Идентификация календарных лет с поздними весенними заморозками на основе анатомической структуры годичных колец дуба черешчатого на Зилаирском плато (Южный Урал) // Экология. 2021. N 5. С. 354–362. DOI: 10.31857/S0367059721050103
3. Кучеров С.Е., Кучерова С.В. Усыхание дуба на юго-восточной границе ареала в связи с воздействием повреждающих факторов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. N 3(4). С. 1341–1343.
4. Васильев Д.Ю., Кучеров С.Е., Семёнов В.А., Чибилёв А.А. Оценка метеорологических факторов пожарной опасности на территории Южного Урала // География и природные ресурсы. 2022. N 2. С. 161–168. DOI: 10.15372/GIPR20220217
5. Кучеров Е.В., Мулдашев А.А., Мукатанов А.Х. Дубравная лесостепь на хребте Шайтан-тау и вопросы ее охраны. Уфа: Уфимский научный центр РАН, 1994. 186 с.
6. Кучеров С.Е. Влияние непарного шелкопряда на радиальный прирост дуба черешчатого // Лесоведение. 1990. N 2. С. 20–29.
7. Кучеров С.Е. Динамика радиального прироста дуба черешчатого на хребте Шайтан-Тау после массового размножения непарного шелкопряда в 2002, 2003 гг. // Вестник ОГУ. 2009. N 6 (100). С. 179–181.
8. Кучеров С.Е. Реконструкция массовых размножений непарного шелкопряда на Зилаирском плато на основе анализа радиального прироста дуба черешчатого //

Журнал сибирского федерального университета. Биология. 2011. N 4. С. 405–415.

9. Чибилёв А.А. Бассейн Урала: история, география, экология. Екатеринбург: Уро РАН, 2008. 312 с.

10. Чибилёв А.А. Заповедник «Шайтан-Тай» – эталон дубравной лесостепи на Южном Урале. Оренбург: Печатный дом «Димур», 2015. 144 с.

11. Чибилёв А.А., Павлейчик В.М., Вельмовский П.В. К организации лесостепного государственного природного заповедника «Шайтан-Тай» на территории Оренбургской области РФ // Лесоразведение и сохранение биологического и ландшафтного разнообразия аридных экосистем: история, современное состояние и перспективы: Материалы международной научно-практической конференции, Уральск, 05–06 ноября 2010 года. Уральск: РГКП «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана». 2010. С. 21–24.

12. Rinn F. TSAP V 3.6 Reference manual: computer program for tree-ring analysis and presentation. Heidelberg: RINNTech. 1996. 263 p.

13. Cook E.R., Krusic P.J. Program ARSTAN (Version 41d). Lamont Doherty Earth Observatory, Columbia University, Palisades, NY, 2005.

14. Cook E.R., Peters K. The smoothing spline: A new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies // *Tree-Ring Bull.* 1981. V. 41. P. 45–53.

15. Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D. On the average value of correlated time series, with application in dendrochronology and hydrometeorology // *J. of Climate and Applied Meteorology.* 1984. V. 23. P. 201–213.

16. Briffa K.R., Jones P.D. Basic chronology statistics and assessment // *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences.* Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 1990, pp. 137–152.

17. Harris I., Osborn T.J., Jones P., Lister D. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset // *Scientific data.* 2020, vol. 7, no. 1, pp. 1–18. DOI: 10.1038/s41597-020-0453-3.

18. Zang C., Biondi F. Treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships // *Ecography.* 2015. V. 38. N 4. P. 431–436. DOI: 10.1111/ecog.01335

19. R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/> (дата обращения: 10.06.2022)

20. Кучеров С.Е., Кучерова С.В. Динамика усыхания дуба на южной оконечности Южного Урала в связи с массовыми размножениями непарного шелкопряда и пожарами // *Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки.* 2014. N 17 (188). Вып. 28. С. 60–636.

21. Агафонов Л.И., Кукарских В.В. Изменение климата прошлого столетия и радиальный прирост сосны в степи Южного Урала // *Экология.* 2008. N 3. С. 173–180.

22. Агафонов Л.И., Гурская М.А., Кукарских В.В., Бубнов М.О., Дэви Н.М., Галимова А.А. Островные боры Южного Урала и ленточные боры Алтая как объекты дендроклиматических исследований // *Экология.* 2021. N 5. С. 325–334. DOI: 10.31857/S0367059721050036

23. Васильев Д.Ю., Кучеров С.Е., Семенов В.А., Чибилёв А.А. Реконструкция атмосферных осадков по радиальному приросту сосны обыкновенной на Южном Урале // *Доклады российской академии наук. Науки о Земле.* 2020. Т. 490. N 1. С. 37–42. DOI: 10.1134/S1028334X20010110

24. Кучеров С.Е. Реконструкция летних осадков на Южном Урале за последние 375 лет на основе анализа радиального прироста лиственницы Сукачева // *Экология.* 2010. N 4. С. 248–256.

25. Кучеров С.Е., Васильев Д.Ю., Мулдашев А.А. Реконструкция осадков мая–июня по радиальному

приросту сосны обыкновенной на Бугульминско-Белебеевской возвышенности для территории Башкирии // *Экология.* 2016. N 2. С. 83–93. DOI: 10.7868/S0367059716010078

26. Babushkina E., Zhirnova D., Belokopytova L., Tychkov I., Vaganov E., Krutovsky K. Response of Four Tree Species to Changing Climate in a Moisture-Limited Area of South Siberia // *Forests.* 2019. V. 10. Article ID 999. DOI: 10.3390/f10110999

27. Solomina O., Davi N., D'Arrigo R., Jacoby G. Tree-ring reconstruction of Crimean drought and lake chronology correction // *Geophysical Research Letters.* 2005. V. 32 (L19704). DOI: 10.1029/2005GL023335

28. Кучеров С.Е., Мулдашев А.А., Кучерова С.В. Влияние низовых пожаров на дубняки хребта Шайтан-Тай // *Известия Самарского научного центра РАН.* 2011. Т. 13. N 5 (2). С. 90–92.

REFERENCES

- Kuchеров С.Е. Vliyaniye massovykh razmnozhenii listogryzushchikh nasekomykh i klimaticheskikh faktorov na radial'nyi prirost drevesnykh rastenii: Dis. ... kand. biol. nauk [Influence of mass outbreaks of leaf-eating insects and climatic factors on the radial growth of woody plants: Dis. ... cand. biol. Sciences]. Sverdlovsk, Institute of Ecology of Plants and Animals, Ural Branch of the Academy of Sciences of the USSR Publ., 1988, 212 p. (In Russian)
- Kuchеров С.Е. Identification of calendar years with late spring frosts based on the anatomical structure of annual rings of the common oak on the Zilair plateau (Southern Urals). *Russian Journal of Ecology*, 2021, vol. 52, no. 5, pp. 383–390. DOI: 10.1134/S106741362105009X
- Kuchеров С.Е., Кучерова С.В. Drying up of oak on the south-eastern border of area in the impact of damaging factors. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk [Izvestiya Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]*. 2013, vol. 15, no. 3(4), pp. 1341–1343. (In Russian)
- Vasiliev D.Yu., Kuchеров С.Е., Semenov V.A., Chibilev A.A. Assessing meteorological factors of fire hazard on the Southern Urals. *Geography and natural resources*, 2022, vol. 43, no. 2, pp. 175–181. DOI: 10.15372/GIPR20220217
- Kuchеров С.Е., Мулдашев А.А., Муканов А.Х. et al. *Dubravnyaya lesostep' na khrebte Shaitan-tau i voprosy ee okhrany* [Oak forest-steppe on the Shaitan-tau ridge and issues of its protection]. Ufa, Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences Publ., 1994, 186 p. (In Russian)
- Kuchеров С.Е. The influence of lymantria dispar on the radial increment of *Quercus robur*. *Lesovedenie [Lesovedenie]*. 1990, no. 2, pp. 20–29. (In Russian)
- Kuchеров С.Е. Dynamics of radial growth of common oak on the Shaitan-Tau ridge after gypsy moth mass outbreaks in 2002, 2003. *Vestnik OGU [Bulletin of OSU]*. 2009, no. 6 (100), pp. 179–181 (In Russian)
- Kuchеров С.Е. The reconstruction of gypsy moth outbreaks on the Zilair Plateau by oak-tress radial growth analysis. *Zhurnal sibirskogo federal'nogo universiteta. Biologiya [Journal of the Siberian Federal University. Biology]*. 2011, no. 4, pp. 405–415. (In Russian)
- Chibilev A.A. *Bassein Urala: istoriya, geografiya, ekologiya* [Ural basin: history, geography, ecology]. Yekaterinburg, Uro RAN Publ., 2008, 312 p. (In Russian)
- Chibilev A.A. *Zapovednik «Shaitan-Tau» – etalon dubravnoi lesostepi na Yuzhnom Urale* [The Shaitan-Tau reserve is the standard of the oak forest-steppe in the Southern Urals]. Orenburg, Dimur Publ., 2015, 144 p. (In Russian)
- Chibilev A.A., Pavleychik V.M., Velmovsky P.V. K organizatsii lesostepnogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Shaitan-Tau» na territorii Orenburgskoi oblasti RF [To the organization of the forest-steppe state nature

reserve "Shaitan-Tau" on the territory of the Orenburg region of the Russian Federation]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Lesorazvedenie i sokhranenie biologicheskogo i landshaftnogo raznoobraziya aridnykh ekosistem: istoriya, sovremennoe sostoyanie i perspektivy"*, Ural'sk, 05-06 noyabrya 2010 goda [Proceedings of the international scientific and practical conference "Afforestation and conservation of biological and landscape diversity of arid ecosystems: history, current state and prospects", Ural'sk, November 05–06, 2010]. Ural'sk, State Enterprise "West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhanir Khan" Publ., 2010, pp. 21–24. (In Russian)

12. Rinn F. TSAP V 3.6 Reference manual: computer program for tree-ring analysis and presentation. Heidelberg, RINNTECH, 1996, 263 p.

13. Cook E.R., Krusic P.J. Program ARSTAN (Version 41d). Lamont Doherty Earth Observatory, Columbia University, Palisades, NY, 2005.

14. Cook E.R., Peters K. The smoothing spline: A new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-Ring Bull.*, 1981, vol. 41, pp. 45–53.

15. Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D. On the average value of correlated time series, with application in dendrochronology and hydrometeorology. *J. of Climate and Applied Meteorology*, 1984, vol. 23, pp. 201–213.

16. Briffa K.R., Jones P.D. Basic chronology statistics and assessment. *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences*. Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 1990, pp. 137–152.

17. Harris I., Osborn T.J., Jones P., Lister D. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific data*, 2020, vol. 7, no. 1, pp. 1–18. DOI:10.1038/s41597-020-0453-3

18. Zang C., Biondi F. Treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships. *Ecography*, 2015, vol. 38, no. 4, pp. 431–436. DOI: 10.1111/ecog.01335

19. R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Available at: <https://www.R-project.org> (accessed 10.06.2022)

20. Kuchеров S.E., Kuchерова S.V. Dynamics of drying of oak at the southern end of the South Urals in connection with the gypsy moth outbreaks and fires. *Nauchnye vedomosti BelGU. Seriya Estestvennyye nauki* [Nauchnye Vedomosti BelGU. Series Natural Sciences]. 2014, vol. 28, no. 17 (188), pp. 60–636. (In Russian)

21. Agafonov L.I., Kukarskikh V.V. Climate changes in the past century and radial increment of pine in the Southern Ural steppe. *Ekologiya* [Ecology]. 2008, no. 3, pp. 173–180. (In Russian)

22. Agafonov L.I., Gurskaya M.A., Kukarskikh V.V., Bubnov M.O., Devi N.M., Galimova A.A. Insular pine forests of the Southern Urals and ribbon pine forests of Altai as objects of dendroclimatic research. *Russian Journal of Ecology*, 2021, vol. 52, no. 5, pp. 349–357. DOI: 10.31857/S0367059721050036

23. Vasiliev D.Yu., Kuchеров S.E., Semenov V.A., Chibilev A.A. Reconstruction of Precipitation by Radial Growth of Scots Pine in the Southern Urals. *Doklady Earth Sciences*, 2020, vol. 490, part 1, pp. 31–35. DOI: 10.1134/S1028334X20010110

24. Kuchеров S.E. Reconstruction of Summer Precipitation in the Southern Urals Over the Last 375 Years Based on Analysis of Radial Increment in the Siberian Larch. *Russian Journal of Ecology*, 2010, vol. 41, no. 4, pp. 284–292. DOI: 10.1134/S1067413610040028

25. Kuchеров S.E., Vasiliev D.Yu., Muldashev A.A. Reconstruction of May–June precipitation from the radial growth of Scots pine on the Bugulma-Belebeev Upland for the territory of Bashkiria. *Russian Journal of Ecology*, 2016, vol. 47, iss. 2, pp. 115–124. DOI: 10.1134/S1067413616010070

26. Babushkina E., Zhirnova D., Belokopytova L., Tychkov I., Vaganov E., Krutovsky K. Response of Four Tree Species to Changing Climate in a Moisture-Limited Area of South Siberia. *Forests*, 2019, vol. 10, article id 999. DOI: 10.3390/f10110999

27. Solomina O., Davi N., D'Arrigo R., Jacoby G. Tree-ring reconstruction of Crimean drought and lake chronology correction. *Geophysical Research Letters*, 2005, vol. 32 (L19704). DOI: 10.1029/2005GL023335

28. Kuchеров S.E., Muldashev A.A., Kuchерова S.V. Influence of samaras fires on oak forests of the Shaitan-Tau Ridge. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Izvestiya of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2011, vol. 13, no. 5 (2), pp. 90–92. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Сергей Е. Кучеров определил объекты исследования, провел анализ полученных результатов, написал рукопись. Светлана В. Кучерова участвовала в сборе первичного материала и оформлении статьи. Василий Б. Мартыненко принимал участие в обсуждении и интерпретации результатов. Павел В. Вельмовский осуществил поиск литературных источников и принимал участие в оформлении материалов. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Sergey E. Kuchеров identified the objects of research, analysed the results and wrote the manuscript. Svetlana V. Kuchерова participated in the collection of primary material and the design of the article. Vasilii B. Martynenko participated in the discussion and interpretation of the results. Pavel V. Velmovskiy carried out a search for literary sources and participated in the design of materials. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declares no conflict of interest.

ORCID

Сергей Е. Кучеров / Sergey E. Kuchеров <https://orcid.org/0000-0001-7734-1725>

Светлана В. Кучерова / Svetlana V. Kuchерова <https://orcid.org/0000-0002-4901-6850>

Василий Б. Мартыненко / Vasilii B. Martynenko <https://orcid.org/0000-0002-9071-3789>

Павел В. Вельмовский / Pavel V. Velmovskiy <https://orcid.org/0000-0002-0492-6850>