

УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ, ЛЕСОУСТРОЙСТВО И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

FOREST MANAGEMENT, FOREST INVENTORY AND INFORMATION SYSTEMS IN FORESTRY

УДК 551.583;581.5

М. В. Ермохин, Я. К. Игнатьев, Л. И. Старикова

Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ДИНАМИКУ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА БУКА ЛЕСНОГО И ПСЕВДОТСУГИ МЕНЗИСА

В публикации приведены результаты исследования влияния климатических факторов на радиальный прирост бука лесного (*Fagus sylvatica* L.) и псевдотсуги Мензиса (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) на территории Беларуси. Установлено, что деревья обеих пород повреждаются крайне низкими зимними температурами (около -40°C). Снижение радиального прироста на 40–50% у бука также связано с летними засухами текущего и предыдущего годов. Сухие и теплые июль – сентябрь вызывают обильное плодоношение на следующий год и снижение прироста, а засухи в июне приводят к снижению прироста уже в текущем году. Теплые зимы и март положительно сказываются на радиальном приросте псевдотсуги, кроме того, она чувствительна к июньским засухам. Установленные зависимости показывают, что в современных климатических условиях возможно ограниченное использование обеих пород при создании лесных культур на части территории Беларуси. Расселение бука в южные и юго-восточные регионы столкнется с негативным влиянием засух, а в северо-восточном направлении – с поздними весенними заморозками и высокой вероятностью повреждения низкими зимними температурами. Выращивание псевдотсуги возможно на большей, чем для бука, части территории Беларуси. Однако, как и бук, она подвержена негативному влиянию летних засух и низких зимних температур.

Ключевые слова: ширина годичного кольца, бук, псевдотсуга, климат, состояние.

Для цитирования: Ермохин М. В., Игнатьев Я. К., Старикова Л. И. Влияние климатических факторов на динамику радиального прироста бука лесного и псевдотсуги Мензиса // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 1 (264). С. 5–13. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-264-01.

M. V. Yermokhin, Ya. K. Ignatiev, L. I. Starikova

V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Science of Belarus

IMPACT OF CLIMATIC FACTORS ON TREE-RING DYNAMICS OF EUROPEAN BEECH AND DOUGLAS FIR

The results of a dendrochronological investigation of the climate impact on tree-ring dynamics of European beech (*Fagus sylvatica* L.) and Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) in Belarus are present in the article. Both species are damaged by extremely low winter temperatures (about -40°C). Decreases in radial growth by 40–50% for beech are also associated with summer droughts of the current or previous years. Dry and warm July-September causes abundant fruiting for the next year and a tree grows decrease, and droughts in June lead to a decrease in growth already this year. Warm winters and March have a positive effect on the tree-ring width of Douglas fir; in addition, it is sensitive to June droughts. The established correlations show the possible use of both species in the current climatic conditions when creating forest plantations in the part of the territory of Belarus. Beech distribution in

the southern and southeastern regions will face the negative impact of droughts, and in the northeastern direction – with late spring frosts and a high probability of damage by low winter temperatures. Cultivation of Douglas fir is possible on a larger territory of Belarus than for beech. However, like beech, it is subject to the negative influence of summer droughts and low winter temperatures.

Key words: tree-ring width, European beech, Douglas fir, climate, state.

For citation: Yermokhin M. V., Ignatiev Ya. K., Starikova L. I. Impact of climatic factors on tree-ring dynamics of European beech and Douglas fir. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2023, no. 1 (264), pp. 5–13. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-264-01 (In Russian).

Введение. В связи с климатическими изменениями специалисты лесного хозяйства Беларуси все чаще начинают обращать внимание на различные виды интродуцированных древесных пород, которые могут быть адаптированы к условиям прогнозируемых параметров климата. Многолетний опыт интродукции белорусских лесоводов позволил в опытных условиях вырастить на территории Беларуси отдельные деревья и насаждения лиственницы европейской, лиственницы сибирской, сосны веймутовой, псевдотсуги Мензиса, бука лесного и др. Были разработаны рекомендации по посадке и уходу за ними [1, 2].

Одной из пород, которые рассматриваются для использования в лесном хозяйстве, является бук лесной (*Fagus sylvatica* L.). Его ареал охватывает почти всю Западную Европу и часть Восточной. Однако до Беларуси он не доходит около сотни километров (рис. 1). В Беларуси бук лесной встречается единичными деревьями или небольшими аллеями в парках и старых усадьбах в западной части страны. В Индурском лесничестве Гродненского лесхоза сохранился небольшой по площади участок чистых лесных культур, созданных в 1910-х годах.

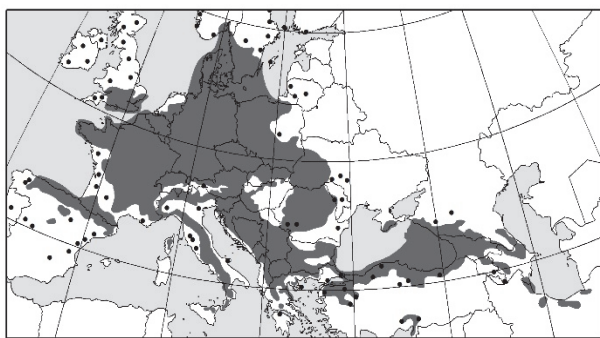


Рис. 1. Ареал бука лесного (*Fagus sylvatica* L.) [3]

Исследования, проведенные в Европе, показали, что бук лесной повреждается низкими зимними температурами и поздними заморозками, а также летними засухами. При этом низкие зимние температуры могут приводить к полному уничтожению посадок. В Польше на восточной границе ареала бука, наиболее близ-

кой к территории Беларуси, распространение его ограничивается низкими зимними температурами в северной части, а летними засухами – в южной [4, 5].

Еще одной из интродуцированных древесных пород, использование которой в озеленении Беларуси насчитывает около 100 лет, является псевдотсуга Мензиса (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). Естественный ареал псевдотсуги расположен в западной части Северной Америки, где она формирует крупные лесные массивы. При этом высота деревьев может достигать 100 м, что делает ее одним из наиболее крупных деревьев в мире. Выделяют две основные разновидности псевдотсуги: *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* и *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca*, а последнюю делят еще на две под-разновидности [6]. *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca* отличается сизым цветом хвои, растет в горных районах и не достигает очень крупных размеров. При этом она является более морозоустойчивой, что делает ее привлекательной для озеленения во многих регионах мира. Однако для создания лесных плантаций в Европе широко использовалась и используется *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* [7].

Одними из старейших на территории Беларуси и сохранившихся в удовлетворительном состоянии насаждений являются лесные культуры псевдотсуги Мензиса (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*) в Прилукской лесной даче, созданные в начале 1930-х годов. В возрасте 35 лет запас древостоя составлял 340–420 м³/га [8]. Фитопатологическое обследование насаждения в 1970-х годах не выявило опасных болезней, и культуры находились в хорошем состоянии [9]. Исследования, проведенные здесь в 1990-х годах, показали, что псевдотсуга является одной из наиболее продуктивных и устойчивых древесных пород к грибным болезням и неблагоприятным факторам внешней среды [10]. Однако, как и аборигенная ель европейская, псевдотсуга сильно пострадала от продолжительных летних засух начала 1990-х годов вследствие нарушения водного режима и недостаточной влагообеспеченности. В ослабленных засухой

культурах усилилась вредоносная деятельность корневой губки и стволовых вредителей и началось куртинное отмирание деревьев. Однако исследования состояния древостоев псевдотсуги в Европе показали, что она быстро восстанавливается после стресса, вызванного засухами, и в целом меньше повреждается болезнями и вредителями, чем аборигенные сосна и ель [11].

Потепление климата, которое наблюдается и на территории Беларуси [12], создает благоприятные условия для произрастания более теплолюбивых видов деревьев. Поэтому в рамках нашей работы мы решили исследовать влияние климатических факторов на обе породы (бук и псевдотсугу) с тем, чтобы оценить возможные перспективы их использования для адаптации лесного хозяйства Беларуси к изменению климата.

Объекты и методы исследования. Исследования проведены в двух старейших насаждениях бука лесного и псевдотсуги Мензиса на территории Беларуси (рис. 2).

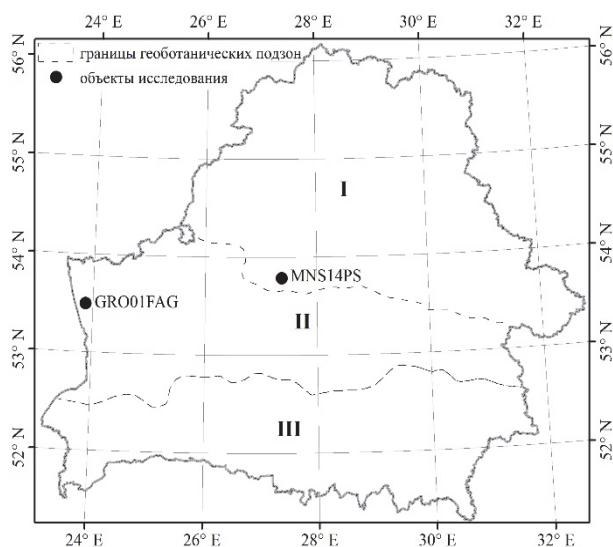


Рис. 2. Схема размещения объектов исследования (геоботанические подзоны: I – дубово-темнохвойных лесов; II – грабово-дубово-темнохвойных лесов; III – широколиственно-сосновых лесов [13])

Насаждение бука лесного (GRO01FAG) расположено в выделе 4 квартала 158 Индурского лесничества Гродненского лесхоза. Согласно материалам лесоустройства (2019 г.), запас древостоя составляет 290 м³/га при полноте 0,6.

Чистые лесные культуры созданы в 1910-х годах в условиях кисличного типа леса (тип условий местопроизрастания С2). В настоящее время насаждение возрастом 110 лет сохранилось на площади 0,2 га.

Насаждение псевдотсуги Мензиса (MNS14PS) расположено на территории бывшей Прилукской лесной дачи нынешнего Боровлянского спец-

лесхоза (выдел 2 квартала 166 Ратомского лесничества). Условия произрастания соответствуют кисличной серии типов леса (тип условий местопроизрастания С2Д2). Согласно материалам лесоустройства (2017 г.), состав древостоя 6ЛЖ4Е + Л + Д + ДК + СБ, запас – 550 м³/га при полноте 0,5. Лесные культуры псевдотсуги и лиственницы сибирской созданы в начале 1930-х годов [8]. Псевдотсуга выращена из семян из штата Орегон, лиственница сибирская – из аллей и парков в окрестностях Прилукской лесной дачи. До этого три года на вырубке выращивались овес и рожь. Обработка почвы проводилась осенью конным плугом ПП-28 бороздами (ширина 30, глубина 15–18 см). Густота посадки культур – 6670 шт/га (1,5×1,0 м). Посадка производилась сеянцами-двухлетками под меч Колесова, затем в течение трех лет проводилось рыхление почвы и прополка сорняков, а также окашивание до возраста смыкания крон. В последующие годы проводились рубки ухода слабой интенсивности (убирались сухие и усыхающие деревья). К настоящему времени лиственница почти полностью выпала из состава, а значительную долю в древостое стала занимать ель, появившаяся естественным путем.

В каждом насаждении у деревьев были отобраны керны древесины (по два у каждого дерева) для дендрохронологического анализа. Стандартная процедура обычно включает отбор кернов у 20–25 деревьев. Однако в данном случае оказалось сложно выбрать деревья бука без повреждений ствола, так как почти все деревья в насаждении многоствольные. Поэтому для анализа были использованы образцы только 14 деревьев. Дальнейший анализ древесно-кольцевых хронологий показал, что эта многоствольность связана с повреждением молодых деревьев сильными морозами зимы 1939/1940 гг.

Измерение ширины годовичных колец выполняли по отсканированному изображению (1200 dpi) в программном обеспечении ArcGIS с точностью 0,01 мм. На основании дендрохронологического анализа кернов для каждого дерева получали усредненный ряд.

Перекрестное датирование, выявление ложных и выпавших колец проведены с использованием кросскорреляционного анализа [14]. Стандартизация изменчивости радиального прироста проводилась для каждого дерева с дальнейшим усреднением индексов по пробной площади и построением стандартизированной древесно-кольцевой хронологии (ДКХ). Для сглаживания возрастных кривых использованы экспоненциальная кривая или сплайн-функция с заданным окном сплайна и уровнем подавления дисперсии 50%.

Краткая характеристика древесно-кольцевых хронологий

Номер ДКХ	Количество деревьев, шт.	Диапазон, лет	Тип хронологии*	Коэффициент чувствительности	Среднеквадратическое отклонение	Автокорреляция 1-го порядка	Доли дисперсии, объясненные климатом, %
GRO01FAG	14	1926–2021	std	0,20	0,19	0,26	32,7
			res	0,23	0,19	—	36,1
MNS14PS	22	1939–2021	std	0,17	0,19	0,43	34,4
			res	0,20	0,18	—	32,0

* std – стандартизированная хронология; res – остаточная хронология.

Для оценки степени воздействия климатических факторов на погодичную изменчивость ширины годичных колец использован коэффициент чувствительности, введенный в дендрохронологию А. Е. Дугласом [15].

Перекрестное датирование серий годичных колец выполнено в программе COFESHA 6.06P, расчеты кривых для элиминирования возрастных трендов, индексов прироста и авторегрессионное моделирование – в программе ARSTAN40c, построение функций отклика радиального прироста на климатические факторы – в программе RESPO [16].

Для оценки влияния климатических факторов на радиальный прирост бука лесного были использованы данные по метеостанции «Гродно» за 1946–2020 гг., а для псевдотсуги Мензиса – данные по метеостанции «Минск» за 1945–2020 гг.

Результаты исследования. Бук лесной. Протяженность ДКХ бука – 96 лет (рис. 3).

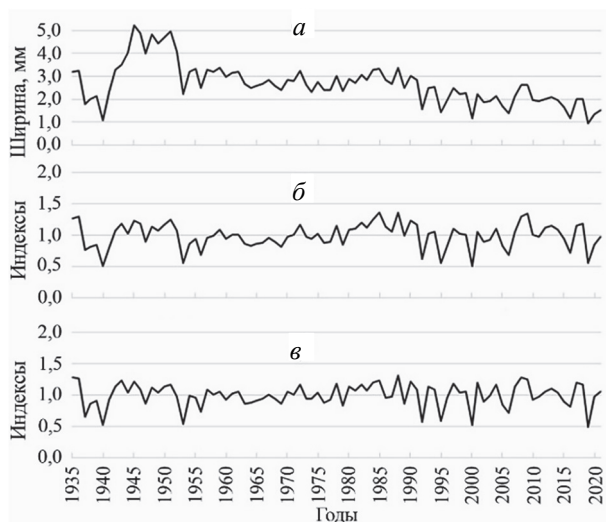


Рис. 3. Абсолютная (а), стандартизированная (б) и остаточная (в) древесно-кольцевые хронологии бука лесного (GRO01FAG)

Коэффициент чувствительности стандартизированной ДКХ составляет 0,2 (таблица), что сопоставимо с чувствительностью ели европейской (*Picea abies*) на территории Беларуси

из аналогичных условий произрастания [17]. При этом хронология отличается и низкой автокорреляцией первого порядка (0,26).

В стандартизированной и остаточной древесно-кольцевой хронологии бука выделяется шесть лет, в которые радиальный прирост резко опускался на 40–50% от нормы (1,0): 1940, 1953, 1992, 1995, 2000, 2019.

Наиболее сильное падение радиального прироста отмечено в 1940 г. и связано с крайне низкими зимними температурами воздуха. Минимальные температуры воздуха в январе в Беларуси опускались ниже -40°C . В результате молодые деревья бука оказались сильно повреждены. Об этом свидетельствует многостольность и кривые стволы большинства деревьев на уровне 1–2 м. При этом еще одна из самых холодных зим (1970 г.) не отразилась на радиальном приросте бука, несмотря на минимальную температуру в феврале $-36,3^{\circ}\text{C}$.

Остальные сильные снижения радиального прироста, которые стали чаще наблюдаться с 1990-х годов, связаны с летними засухами текущего или предыдущего годов. Кроме того, значимые отрицательные коэффициенты корреляции и функции отклика отмечены нами для сентября предыдущего года. Именно в годы с сухим и теплым периодом с июля по сентябрь у бука массово закладываются генеративные почки и наблюдается обильное плодоношение на следующий год [18]. Соответственно у деревьев остается ограниченное количество питательных веществ на формирование годичных колец. Так, на фоне обильного плодоношения в 2019 г. произошло резкое снижение радиального прироста.

С 1940 г. в регионе произрастания бука не было настолько суровых зим, которые могли привести к повреждению деревьев. Поэтому отсутствуют значимые коэффициенты корреляции и функции отклика древесно-кольцевой хронологии на зимние температуры воздуха (рис. 4).

Результаты корреляционного и регрессионного анализа подтверждаются и результатами исследований в основном ареале бука [5].

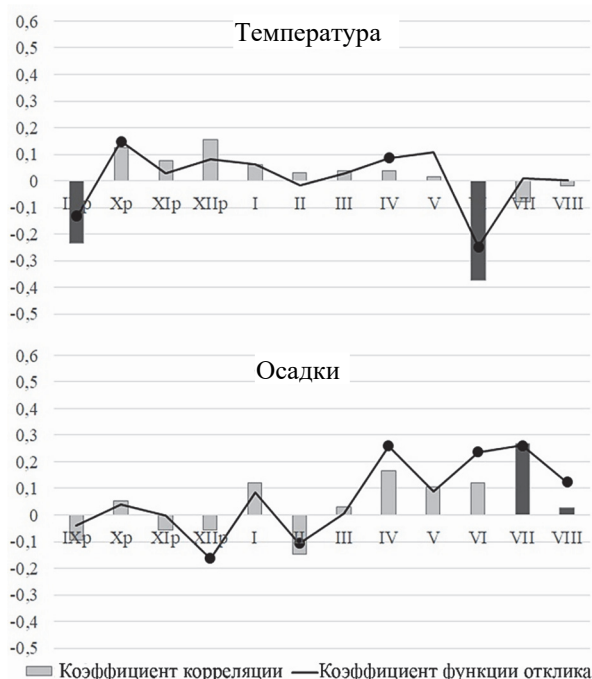


Рис. 4. Коэффициенты корреляции и функции отклика радиального прироста бука лесного со средними температурами воздуха и суммами осадков (коэффициенты, значимые при $p < 0,05$, выделены темным цветом и маркерами)

В течение текущего года бук наиболее чувствителен к июньским засухам, когда идет основной прирост древесины. В июне значимый отрицательный коэффициент корреляции радиального прироста с температурами воздуха составляет $-0,37$, а коэффициент функции отклика $-0,25$. При этом положительные коэффициенты функции отклика установлены для осадков апреля, июня, июля и августа. Т. е. для роста деревьев бука крайне важным является режим осадков в течение всего вегетационного сезона.

В целом функция отклика на климатические факторы для бука лесного объясняет только 36,1% изменчивости радиального прироста в остаточной хронологии. Это подтверждает, что климатические условия на западе Гродненской области достаточно благоприятны для его произрастания.

Потепление климата на территории Беларуси происходит по засушливому сценарию: температуры воздуха растут, а количество осадков остается практически без изменений [12]. Поэтому существует высокая вероятность угнетения деревьев бука при дальнейшем увеличении продолжительности и интенсивности летних засух, с одной стороны, и создания благоприятных условий для массового плодоношения, с другой. При этом, даже с учетом большей континентальности климата, чем на восточной границе ареала бука, сохраняется вероятность его повреждения как

поздними весенними заморозками, так и низкими зимними температурами. Ограничение расширения ареала бука в северо-восточном направлении, связанное с засухами и поздними весенними заморозками, значение которых для бука растет в последние годы, отмечено и европейскими исследователями [5].

Псевдотсуга Мензиса. Протяженность ДКХ псевдотсуги Мензиса составляет 83 года (рис. 5). Как и бук лесной, псевдотсуга очень сильно пострадала от морозов 1939/1940 гг. Практически все молодые растения в эту зиму были повреждены, однако смогли выжить за счет замены центрального побега боковыми. Многие деревья и сегодня имеют два ствола, либо следы удаления одного из стволов, либо искривление ствола на высоте около 1 м, а радиальный прирост в этот год снизился более чем на 60%.

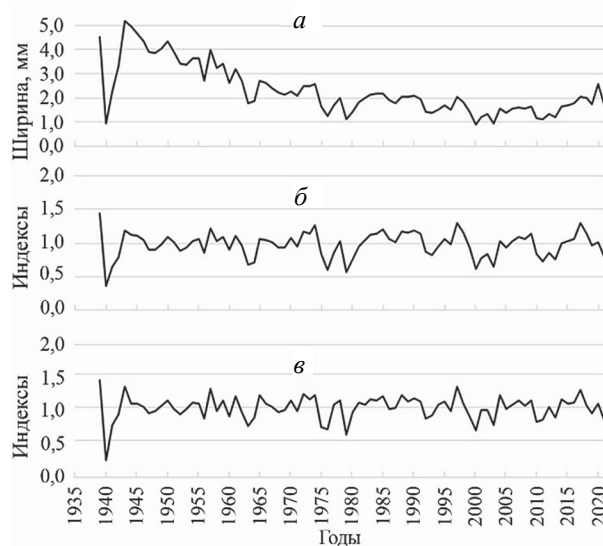


Рис. 5. Абсолютная (а), стандартизованная (б) и остаточная (в) древесно-кольцевые хронологии бука лесного (MNS14PS)

Коэффициент чувствительности стандартизованной ДКХ составляет 0,17 (см. таблицу), что ниже чувствительности ели европейской [17], но выше или сопоставимо с чувствительностью сосны обыкновенной из центральных районов Беларуси в аналогичных условиях произрастания [19]. При этом автокорреляция первого порядка (0,43) в 1,5 раза выше, чем у ДКХ бука.

Функция отклика радиального прироста на климат у псевдотсуги Мензиса объясняет всего 32,0% изменчивости радиального прироста в остаточной хронологии. И, как и для бука, это свидетельствует о благоприятных для нее климатических условиях. Частично низкая дисперсия, объясненная климатом, может быть связана с проведением рубок ухода и санитарно-оздоровительных мероприятий в насаждении на протяжении последних 30 лет.

Как и у всех ранее исследованных хвойных древесных пород (сосны обыкновенной, ели европейской, пихты белой) на территории Беларуси [17, 19, 20], в ДКХ псевдотсуги выражена устойчивая положительная корреляция с температурами зимних месяцев и марта (рис. 6).

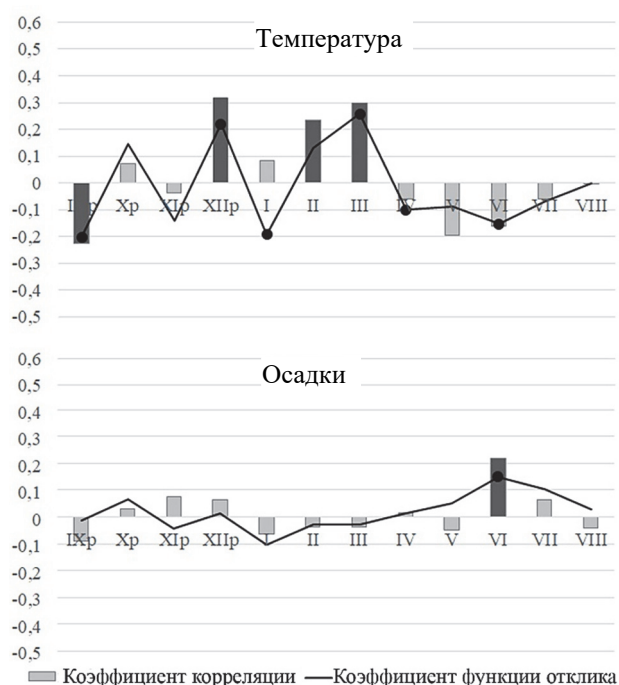


Рис. 6. Коэффициенты корреляции и функции отклика радиального прироста псевдотсуги Мензиса со средними температурами воздуха и суммами осадков (коэффициенты, значимые при $p < 0,05$, выделены темным цветом и маркерами)

Основная причина лежит в особенностях физиологии хвойных пород. Вечнозеленые растения даже в зимний период могут осуществлять фотосинтез, что обеспечивает частичное восстановление углеводов, затраченных на дыхание. Так, по некоторым исследованиям фотосинтез у деревьев ели отмечается до температуры -7°C [21], у сосны – до -6°C [22, 23]. Соответственно, теплые зимы и продолжительные оттепели способствуют увеличению интенсивности как дыхания, так и фотосинтеза у хвойных пород, который в определенной степени компенсирует расходы на дыхание. Это приводит к сохранению запасов углеводов на вегетационный сезон и более интенсивному приросту древесины в его первой половине.

Значимый отрицательный коэффициент функции отклика отмечен для температур июня, в этот же период отмечена положительная корреляция и положительный коэффициент функции отклика радиального прироста с осадками. Исследования камбиальной активности псевдотсуги, проведенные в данном насаждении еще в 1965–

1967 гг. Ю. Д. Сироткиным и Л. М. Сероглазовой [24], показали, что в течение июня формировалось до 33,3% радиального прироста, а в июле, когда на прирост частично влияют погодные условия июня, – до 31,9%. Т. е. гидротермические условия именно этого периода вносят значительный вклад в формирование прироста. В целом летние засухи оказывают меньшее влияние на псевдотсугу, чем на ель европейскую, у которой высокая корреляционная связь (выше, чем у псевдотсуги) с гидротермическим режимом не только июня, но и июля [17]. Аналогичные результаты получены при оценке влияния климатических факторов на радиальный прирост псевдотсуги Мензиса и ели европейской в Словении [25]. В то же время авторы отмечают, что роль летних осадков в формировании радиального прироста псевдотсуги увеличилась в последние десятилетия, что может стать для нее лимитирующим фактором в будущем.

Заключение. Результаты проведенного исследования позволяют сделать несколько основных выводов:

1. Бук лесной и псевдотсуга Мензиса повреждаются крайне низкими зимними температурами (около -40°C), что приводит к нарушению камбиальной активности, замене центрального побега боковыми и возможной массовой гибели растений, как это было в 1940 г.

2. Для роста деревьев бука крайне важным является режим осадков в течение всего вегетационного сезона. Снижения радиального прироста на 40–50%, участвовавшие с 1990-х годов, связаны с летними засухами текущего или предыдущего годов. В годы с сухими и теплыми июлем – сентябрем у бука массово закладываются генеративные почки и, соответственно, происходит обильное плодоношение на следующий год, что приводит к снижению прироста. Засухи в июне, когда идет основной прирост древесины, приводят к снижению прироста уже в текущем году.

3. Большая континентальность климата в западной части Беларуси, чем на восточной границе ареала бука, повышает вероятность его повреждения как поздними весенними заморозками, так и низкими зимними температурами.

4. Радиальный прирост псевдотсуги Мензиса отличается устойчивой положительной корреляцией с температурами зимних месяцев и марта. Сохранение тренда на зимнее потепление будет благоприятно сказываться на ее состоянии и росте.

5. Псевдотсуга Мензиса чувствительна к летним засухам. Однако они оказывают на нее меньшее влияние, чем на аборигенную ель европейскую.

Установленные зависимости радиального прироста бука лесного и псевдотсуги Мензиса от климатических факторов показывают их возможное,

но ограниченное использование при создании лесных культур. Расселение бука за пределы Гродненской области в более южные и юго-восточные регионы столкнется с негативным влиянием засух, а в северо-восточном направлении – с поздними весенними заморозками и высокой вероятностью повреждения низкими зимними температурами. Аналогичная тенденция наблюдается и для аборигенного граба, который более морозо- и особенно засухоустойчив, чем бук, но в Беларуси проходит его естественная северо-восточная граница.

Выращивание псевдотсуги возможно на большей, чем для бука, части территории Беларуси. Однако, как и бук, она подвержена негативному влиянию летних засух и поздних весенних заморозков.

При этом следует учитывать, что обе исследованные древесные породы являются чужеродными для флоры Беларуси и имеют инвазивный

потенциал в некоторых условиях произрастания [4, 7]. Соответственно, с целью сохранения биологического разнообразия белорусских лесов их использование в лесном хозяйстве должно быть ограничено. С нашей точки зрения, адаптация лесного хозяйства к изменению климата должна происходить за счет трансформации практики лесоразведения и лесовосстановления, проведения рубок ухода. В частности, следует более широко использовать аборигенные широколиственные породы деревьев. Например, тот же дуб черешчатый отличается гораздо более высокой морозо- и засухоустойчивостью, а также более широкой амплитудой почвенно-грунтовых условий.

Работа выполнена в рамках задания 10.1.04 НИР «Влияние региональных особенностей изменения климата на устойчивость лесов Беларуси» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 г.

Список литературы

1. Нестерович Н. Д. Интродукционные районы и древесные растения для зеленого строительства в Белорусской ССР: справочник. Минск: Наука и техника, 1981. 111 с.
2. Федорук А. Т. Опыт интродукции древесных лиственных растений в Белоруссии. Минск: Университетское, 1985. 160 с.
3. Caudullo G., Welk E., San-Miguel-Ayanz J. Chorological maps for the main European woody species // Data in Brief. 2017. No. 12. P. 662–666.
4. Winter matters: Sensitivity to winter climate and cold events increases towards the cold distribution margin of European beech (*Fagus sylvatica* L.) / R. Weigel [et al.] // Journal of Biogeography. 2018. No 45. P. 2779–2790.
5. Lowest drought sensitivity and decreasing growth synchrony towards the dry distribution margin of European beech / L. Muffler [et al.] // Journal of Biogeography. 2020. Vol. 47, no. 9. P. 1910–1921.
6. Lavender D. P., Hermann R. K. Douglas-fir: The Genus *Pseudotsuga*. Corvallis, OR, USA: Forest Research Publications Office, 2014. 353 p.
7. Spiecker H., Lindner M., Schuler J. Douglas-fir – an option for Europe. Joensuu: European Forest Institute, 2019. 121 p.
8. Сироткин Ю. Д., Сероглазова Л. М. Псевдотсуга в культурах Белоруссии // Лесоведение и лесное хозяйство: респ. межведомств. сб. 1970. № 3. С. 86–93.
9. Сироткин Ю. Д., Федоров Н. И., Федоров В. Н. Грибные болезни интродуцированных хвойных пород в лесных культурах Минского лесхоза // Лесоведение и лесное хозяйство: респ. межведомств. сб. 1975. № 10. С. 133–139.
10. Особенности формирования и фитопатологическое состояние культур хвойных интродуцентов в лесном заказнике «Прилукский» / Н. И. Федоров [и др.] // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хозяйство. 2000. Вып. VIII. С. 81–90.
11. Frank M. T., Rzepecki A., Werner W. Non-native Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) in Central Europe: Ecology, performance and nature conservation // Forest Ecology and Management. 2022. Vol. 506. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119956.
12. Логинов В. Ф., Лысенко С. А., Мельник В. И. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования. 2-е изд. Минск: Энциклопедикс, 2020. 264 с.
13. Гельтман В. С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1982. 326 с.
14. Holmes R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // Tree-Ring Bull. 1983. No. 44. P. 69–75.
15. Fritts H. C. Tree-ring analysis: tool for water resource // Trans. Amer. Geolog. Union. 1969. Vol. 50. P. 22–29.
16. Holmes R. L. Dendrochronology program library. Users manual. Tucson, Arizona, 1984. 51 p.
17. Ермохин М. В. Влияние климатических факторов на радиальный прирост ели (*Picea abies* (L.) Karst.) в Беларуси // Ботаника (исследования): сб. науч. тр. 2008. Вып. 35. С. 34–45.
18. Молотков П. И. Буковые леса и хозяйство в них. М.: Лесная пром-сть, 1966. 224 с.

19. Ермохин М. В. Дендрохронологическое районирование сосны обыкновенной в Беларуси // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. біял. навук. 2020. Т. 65, № 4. С. 441–453.
20. Динамика и состояние популяции пихты белой в урочище «Тисовик» / М. В. Ермохин [и др.] // Беловежская пуца. Исследования. 2016. Вып. 14. С. 57–81.
21. Field and controlled environment measurements show strong seasonal acclimation in photosynthesis and respiration potential in boreal Scots pine / P. Kolari [et al.] // *Frontiers Plant Sci.* 2014. Vol. 5. Art. 717. DOI: 10.3389/fpls.2014.00717.
22. Pisek A., Winkler E. Assimilationsvermögen und Respiration der Fichte (*Picea excelsa* Link) in verschiedener Höhenlage und der Zirbe (*Pinus cembra* L.) an der alpinen Waldgrenze // *Planta.* 1958. Vol. 51, no. 4. P. 518–543.
23. Wintertime photosynthesis and water uptake in a boreal forest / S. Sevanto [et al.] // *Tree Physiol.* 2006. Vol. 26, no. 6. P. 749–757.
24. Сироткин Ю. Д., Сероглазова Л. М. Сезонный прирост древесины лжетсуги тиссолистной // Лесоведение и лесное хозяйство: респ. межведомств. сб. 1969. № 2. С. 138–143.
25. Levanic T., Štraus H. Effects of Climate on Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) Growth Southeast of the European Alps // *Plants.* 2022. Vol. 11. DOI: 10.3390/plants11121571.

References

1. Nesterovich N. D. *Introduktsionnyye rayony i drevesnyye rasteniya dlya zelenogo stroitel'stva v Belorusskoy SSR: spravochnik* [Introductory areas and woody plants for green building in the Byelorussian SSR: a handbook]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1981. 111 p. (In Russian).
2. Fedoruk A. T. *Opyt introduksii drevesnykh listvennykh rasteniy v Belorussii* [Experience of introduction of woody deciduous plants in Belarus]. Minsk, Universitetskoye Publ., 1985. 160 p. (In Russian).
3. Caudullo G., Welk E., San-Miguel-Ayanz J. Chorological maps for the main European woody species. *Data in Brief*, 2017, no. 12, pp. 662–666.
4. Weigel R., Muffler L., Klisz M., Kreyling J., van der Maaten-Theunissen M., Wilmking M., van der Maaten E. Winter matters: Sensitivity to winter climate and cold events increases towards the cold distribution margin of European beech (*Fagus sylvatica* L.). *Journal of Biogeography*, 2018, no. 45, pp. 2779–2790.
5. Muffler L., Weigel R., Hacket-Pain A., Klisz M., van der Maaten E., Wilmking M., Kreyling J., van der Maaten-Theunissen M. Lowest drought sensitivity and decreasing growth synchrony towards the dry distribution margin of European beech. *Journal of Biogeography*, 2020, vol. 47, no. 9, pp. 1910–1921.
6. Lavender D. P., Hermann R. K. Douglas-fir: The Genus *Pseudotsuga*. Corvallis, OR, USA, Forest Research Publications Office, 2014. 353 p.
7. Spiecker H., Lindner M., Schuler J. Douglas-fir – an option for Europe. Joensuu: European Forest Institute, 2019. 121 p.
8. Sirotkin Yu. D., Seroglazova L. M. Douglas-fir in the cultures of Belarus. *Lesovedeniye i lesnoye khozyaystvo: respublikanskiy mezhvedomstvennyy sbornik* [Forest science and forestry: republican interdepartmental digest], 1970, no. 3, pp. 86–93 (In Russian).
9. Sirotkin Yu. D., Fedorov N. I., Fedorov V. N. Fungal diseases of introduced conifers in forest cultures of Minsk forestry. *Lesovedeniye i lesnoye khozyaystvo: respublikanskiy mezhvedomstvennyy sbornik* [Forest science and forestry: republican interdepartmental digest], 1975, no. 10, pp. 133–139 (In Russian).
10. Fedorov N. I., Gvozdev V. K., Khvasko A. V., Volkovich A. P., Yarmolovich V. A. Features of the formation and phytopathological state of cultures of coniferous introduced species in the forest reserve “Priluksky”. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU]. Series I, Forestry, 2000, issue VIII, pp. 81–90 (In Russian).
11. Frank M. T., Rzepecki A., Werner W. Non-native Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) in Central Europe: Ecology, performance and nature conservation. *Forest Ecology and Management*, 2022, vol. 506. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119956.
12. Loginov V. F., Lysenko S. A., Melnik V. I. *Izmeneniye klimata Belarusi: prichiny, posledstviya, vozmozhnosti regulirovaniya* [Climate Change in Belarus: Causes, Consequences, Regulatory Opportunities]. Minsk, Entsiklopediks Publ., 2020. 264 p. (In Russian).
13. Geltman V. S. *Geograficheskiy i tipologicheskiy analiz lesnoy rastitel'nosti Belorussii* [Geographical and typological analysis of forest vegetation in Belarus]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1982. 326 p. (In Russian).
14. Holmes R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bull.*, 1983, no. 44, pp. 69–75.
15. Fritts H. C. Tree-ring analysis: tool for water resource. *Trans. Amer. Geolog. Union.*, 1969, vol. 50, pp. 22–29.
16. Holmes R. L. Dendrochronology program library. Users manual. Tucson, Arizona, 1984. 51 p.

17. Yermokhin M. V. Impact of climatic factors on the tree rings variability of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in Belarus. *Botanika (issledovaniya): sbornik nauchnykh trudov* [Botany (research): digest of scientific papers], 2008, issue 35, pp. 34–45 (In Russian).
18. Molotkov P. I. *Bukovyye lesa i khozyaystvo v nikh* [Beech forests and forestry in them]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1966. 224 p. (In Russian).
19. Yermokhin M. V. Dendrochronological zoning of Scots pine in Belarus. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus], Biological series, 2020, vol. 65, no. 4, pp. 441–453 (In Russian).
20. Yermokhin M. V., Barsukova T. L., Knysh N. V., Mychko V. E., Bernatsky D. I. Dynamics and state of the Silver fir population in the Tysovik tract. *Belovezhskaya pushcha. Issledovaniya* [Belovezhskaya Pushcha. Research], 2016, issue 14, pp. 57–81 (In Russian).
21. Kolari P., Chan T., Porcar-Castell A., Bäck J., Nikinmaa E., Juurola E. Field and controlled environment measurements show strong seasonal acclimation in photosynthesis and respiration potential in boreal Scots pine. *Frontiers Plant Sci.*, 2014, vol. 5, art. 717. DOI: 10.3389/fpls.2014.00717.
22. Pisek A., Winkler E. Assimilation capacity and respiration of spruce (*Picea excelsa* Link) at different altitudes and stone pine (*Pinus cembra* L.) at the alpine tree line. *Planta* [Planta], 1958, vol. 51, no. 4, pp. 518–543 (In German).
23. Sevanto S., Suni T., Pumpanen J., Gronholm T., Kolari P., Nikinmaa E., Hari P., Vesala T. Wintertime photosynthesis and water uptake in a boreal forest. *Tree Physiol.*, 2006, vol. 26, no. 6, pp. 749–757.
24. Sirotkin Yu. D., Seroglazova L. M. Seasonal growth of Douglas-fir wood. *Lesovedeniye i lesnoye khozyaystvo: respublikanskiy mezhvedomstvennyy sbornik* [Forest science and forestry: republican interdepartmental digest], 1969, no. 2, pp. 138–143 (In Russian).
25. Levanić T., Straus H. Effects of Climate on Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) Growth Southeast of the European Alps. *Plants*, 2022, vol. 11. DOI: 10.3390/plants11121571.

Информация об авторах

Ермохин Максим Валерьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии леса и дендрохронологии. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: maxim.yermokhin@gmail.com

Игнатьев Ярослав Константинович – младший научный сотрудник лаборатории экологии леса и дендрохронологии. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: ignatev.y.k@gmail.com

Старикова Лилия Ивановна – младший научный сотрудник лаборатории экологии леса и дендрохронологии. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: liliya.star18@gmail.com

Information about the authors

Yermokhin Maxim Valer'evich – PhD (Biology), Leading Researcher, the Laboratory of Forest Ecology and Dendrochronology. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Science of Belarus (27, Academicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: maxim.yermokhin@gmail.com

Ignatiev Yaroslav Konstantinovich – Junior Researcher, the Laboratory of Forest Ecology and Dendrochronology. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Science of Belarus (27, Academicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ignatev.y.k@gmail.com

Starikova Liliya Ivanovna – Junior Researcher, the Laboratory of Forest Ecology and Dendrochronology. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Science of Belarus (27, Academicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: liliya.star18@gmail.com

Поступила 28.11.2022