

ISSN 1029-8940 (Print)  
ISSN 2524-230X (Online)  
УДК 551.583; 581.5  
<https://doi.org/10.29235/1029-8940-2020-65-4-441-453>

Поступила в редакцию 05.11.2019  
Received 05.11.2019

**М. В. Ермохин**

*Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси,  
Минск, Республика Беларусь*

## ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В БЕЛАРУСИ

**Аннотация.** Проанализированы особенности динамики прироста деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в разных регионах Беларуси и влияние на него климатических факторов. На основании выявленных закономерностей впервые в республике разработано дендрохронологическое районирование сосны обыкновенной. Выделено 3 области и 7 районов, для которых построены мастер-хронологии протяженностью от 98 до 170 лет. Основными климатическими факторами, от которых зависит прирост деревьев сосны на территории Беларуси, являются температуры зимних месяцев, марта и апреля, а также количество осадков в июне и июле. Установлено достоверное снижение влияния на прирост деревьев количества осадков в вегетационный сезон с юга на север с одной стороны и усиление влияния весенних и зимних температур – с другой.

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, годичные кольца, климат, районирование, Беларусь

**Для цитирования:** Ермохин, М. В. Дендрохронологическое районирование сосны обыкновенной в Беларуси / М. В. Ермохин // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2020. – Т. 65, № 4. – С. 441–453. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2020-65-4-441-453>

**Maxim V. Yermokhin**

*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Minsk, Republic of Belarus*

## DENDROCHRONOLOGICAL ZONING OF SCOTS PINE IN BELARUS

**Abstract.** The features of the increment dynamics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in different regions of Belarus and the influence of climatic factors on it were analyzed. The dendrochronological zoning of Scots pine in Belarus (3 regions, 7 districts) has been developed for the first time on the basis of the identified responses. Master chronologies (98–170 years) were built for each from 7 dendrochronological districts. The temperatures of the winter months, March and April, as well as the amount of precipitations in June and July are the main climatic factors that determine the growth of pine in Belarus. It was established a significant decrease in the impact of precipitation during growing seasons on the tree increment from south to north on the one hand and an increase in the impact of spring and winter temperatures on the other.

**Keywords:** Scots pine, tree-rings, climate, zoning, Belarus

**For citation:** Yermokhin M. V. Dendrochronological zoning of Scots pine in Belarus. *Vesti Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seriya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2020, vol. 65, no. 4, pp. 441–453 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2020-65-4-441-453>

**Введение.** Климатические изменения последних десятилетий до сих пор являются предметом споров ученых. Одни из них настаивают на антропогенной природе парникового эффекта, другие – на естественности этого процесса. В любом случае все они сходятся в том, что эти изменения влекут за собой серьезные последствия во многих сферах жизни человека [1, 2].

Деревья, являясь одними из наиболее долгоживущих организмов на Земле, зачастую обладают достаточной устойчивостью и пластичностью, чтобы адаптироваться к происходящим изменениям. В годичных кольцах деревьев отражаются все изменения, происходящие в окружающей среде, что позволяет использовать их в том числе и для климатических реконструкций и прогнозов.

Определенную проблему при дендроклиматических исследованиях в условиях климата умеренных широт создает отсутствие четко выраженных внешних факторов, лимитирующих прирост деревьев. Большая протяженность территории Беларуси (560 км с севера на юг и 650 км

с запада на восток) обуславливает большие различия в теплообеспеченности и количестве осадков разных регионов. Так, продолжительность вегетационного сезона в северо-восточной части Беларуси на несколько недель меньше, чем в юго-западной, а летние засухи, которые практически ежегодно отмечаются на юге Беларуси, в северной части бывают не каждый год [2]. По территории Беларуси проходит граница между евразийской таежной зоной и зоной европейских широколиственных лесов [3]. Поэтому логично предположить, что, несмотря на отсутствие жестких лимитирующих факторов, прирост деревьев в южных и северных регионах Беларуси должен отличаться.

Ключевыми факторами в формировании прироста деревьев на территории Беларуси выступают колебания количества летних осадков, ранневесенних и летних температур воздуха [4–7]. Так, для южной Беларуси на примере суходольных насаждений Беловежской пуши установлена положительная связь прироста сосны с июньскими и июльскими осадками и ранневесенними температурами воздуха, отрицательная – с майскими и июньскими температурами [7]. В северной части Беларуси значимую роль в формировании прироста играют температуры зимних месяцев [4, 8].

Учитывая имеющиеся отличия в реакции древесных видов на климатические факторы в разных регионах, а также разнообразие локальных факторов в условиях интенсивной хозяйственной деятельности, достоверные модели связи «климат – прирост» могут быть разработаны только с использованием регионального подхода и построением мастер-хронологий, которые объединяют большое количество деревьев из однородного региона. Для этого необходимо выделить регионы со схожей реакцией древесных видов на климатические факторы (дендроклиматическое или дендрохронологическое районирование) [9–11]. Для сопредельных территорий предварительное районирование по различным видам было сделано в Литве [9] и Польше [12–14].

Наилучшие возможности для разработки дендрохронологического районирования Беларуси представляет сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), которая произрастает в Беларуси в широком диапазоне экологических условий. Это позволяет подобрать объекты, схожие по лесотипологическим условиям, но расположенные в разных регионах. Первые попытки такого районирования были предприняты в 2012 г. [15]. Предварительный анализ древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) сосны показал, что на территории Беларуси можно выделить 6 основных дендрохронологически однородных регионов. Имеющиеся на тот момент материалы (43 ДКХ) не позволяли в полной мере достоверно очертить границы этих регионов. Тем не менее было показано, что корреляция между ДКХ сосны является недостоверной на расстоянии более 400 км, а однородные регионы должны иметь протяженность 150–200 км.

Цель данной работы – на основании обширного дендрохронологического материала разработать дендрохронологическое районирование территории Беларуси с использованием деревьев сосны обыкновенной, построить мастер-хронологии для каждого дендрохронологического района и выявить основные климатические факторы, обуславливающие погодичную изменчивость прироста деревьев в каждом из них.

**Объекты и методы исследования.** Для разработки дендрохронологического районирования Беларуси использованы 110 ДКХ сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) из мшистого (*Pinetum pleuroziosum*) (94 ДКХ), орлякового (*Pinetum pteridiosum*) (14 ДКХ) и кисличного (*Pinetum oxalidosum*) (2 ДКХ) типов леса (рис. 1). Из них 7 ДКХ расположены на территории Украины, что позволило уточнить границы дендрохронологических районов в южной части Беларуси. Каждая ДКХ содержит не менее 20 деревьев I–II класса Крафта (всего 2872 дерева).

Такое количество модельных деревьев обеспечивает высокую достоверность результатов при расчетах средней ширины годичных колец [16]. Измерение ширины годичных колец выполнено по отсканированному изображению в программном обеспечении ArcGIS с точностью 0,01 мм. При наличии годичных колец шириной менее 0,5 мм или невозможности их достоверной идентификации по изображению их измерение выполнено с использованием бинокулярного микроскопа MicrosMZ1000. Для каждого дерева из двух измеренных кернов получали усредненный ряд.

Перекрестное датирование, выявление ложных и выпавших колец проведено с использованием кросскорреляционного анализа [17]. Взаимосвязь между ДКХ оценивали с помощью *t*-кри-

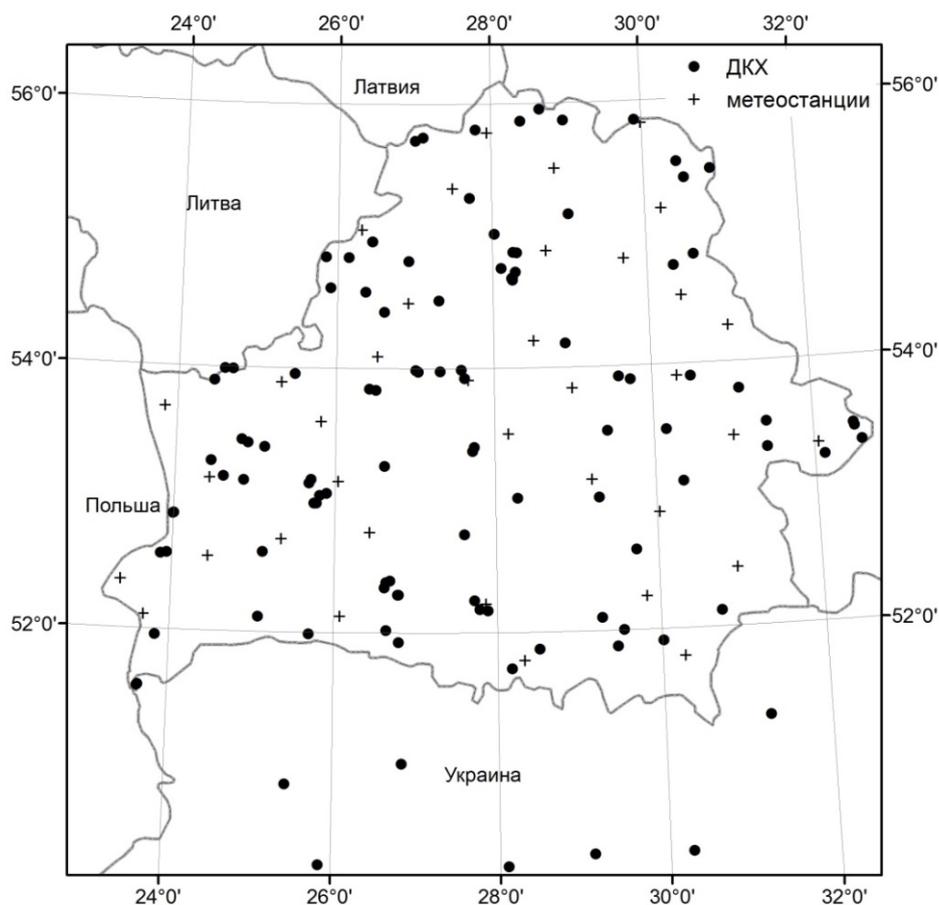


Рис. 1. Схема размещения древесно-кольцевых хронологий и метеостанций

Fig. 1. Location of the tree-ring chronologies and weather stations

терия [18]. Перекрестное датирование отдельных серий годовых колец и ДКХ выполняли в программе COFESHA 6.06P [19].

Одним из основных методических приемов дендрохронологии для выявления изменчивости прироста годовых колец, обусловленной экзогенным воздействием, является стандартизация значений абсолютного радиального прироста [20]. Она проводилась для каждого дерева с дальнейшим усреднением индексов по пробной площади и построением стандартизированной ДКХ (STD). Для сглаживания возрастных кривых отдельных деревьев использованы линейная или экспоненциальная кривые, а также функция Хагершофа, разработанная специально для сглаживания возрастной кривой в приросте деревьев. В отдельных случаях для сглаживания использована сплайн-функция с заданным окном сплайна и уровнем подавления дисперсии 50 %. Расчеты кривых для элиминирования возрастных трендов, индексов прироста и авторегрессионное моделирование выполнены в программе ARSTAN40c [19]. Для количественной характеристики годовых колебаний прироста использован коэффициент чувствительности, введенный в дендрохронологию А. Е. Дуглассом [21].

Границы дендрохронологических регионов определяли по результатам кластерного анализа всей совокупности ДКХ и их корректировки с учетом особенностей пространственного положения объектов. Для анализа использованы индексы стандартизированных хронологий за период 1946–2005 гг., перекрываемый всеми ДКХ. Для уточнения границ районов были использованы также 7 ДКХ сосны, построенных в 1990-е годы (анализируемый период 1946–1995 гг.).

Мастер-хронологии строили для каждого дендрохронологического района аналогично построению ДКХ для каждого объекта, но исходными данными служили уже не отдельные серии годовых колец, а готовые ДКХ.

Для анализа климатических данных и разработки функций отклика использованы данные о месячной сумме осадков и среднемесячных температурах воздуха для 37 метеорологических станций (рис. 1) за период с 1949 по 2016 г. Анализ выполнен в программе RESPO [19].

**Результаты и их обсуждение.** Увеличение расстояния между ДКХ и, соответственно, изменение климатических условий приводят к снижению тесноты связи между ДКХ. Высокая теснота связи (средний  $t$ -критерий более 5,0) в среднем сохраняется в большинстве случаев на расстоянии до 100 км и описывается логарифмической кривой (рис. 2). Значимая теснота связи сохраняется на расстоянии до 200 км и только в отдельных случаях – на большем расстоянии.

Наибольшее расстояние между исследованными ДКХ составляло 680 км. Это оказалось более чем достаточно для наших исследований, поскольку уже на расстоянии более 200 км связь между ДКХ в среднем снижается до недостоверных значений (средний  $t$ -критерий менее 4,0). В то же время даже на расстоянии до 100 км в отдельных случаях между ДКХ может быть низкая корреляция. В первую очередь это связано с интенсивной хозяйственной деятельностью на территории Беларуси и антропогенным вмешательством в естественную динамику насаждений. Это приводит к рассинхронизации прироста после проведения рубок ухода, уборки захламленности и пр., что лишний раз подтверждает необходимость использования мастер-хронологий в дендроклиматических исследованиях.

Кроме того, поскольку климатические параметры различных месяцев изменяются не синхронно на территории Беларуси, можно ожидать, что теснота связи между ДКХ может изменяться нелинейно при продвижении с севера на юг или с запада на восток. С целью проверки этой гипотезы был проведен геопространственный анализ тесноты связи между ДКХ. Для этого из всех ДКХ была построена одна мастер-хронология, а затем рассчитаны коэффициенты корреляции с ней каждой ДКХ (рис. 3).

Наибольшей корреляцией с мастер-хронологией отличаются ДКХ деревьев из окрестностей Новогрудской возвышенности. Во многом это обусловлено тем, что в этой части Беларуси наибольшая густота модельных объектов. В южной, юго-западной и западной частях Беларуси корреляция между ДКХ при движении на юг и на запад снижается гораздо быстрее (в 1,5 раза), чем в северной и восточной частях Беларуси. Это свидетельствует о том, что в южных и западных регионах Беларуси градиент изменения факторов, лимитирующих прирост, гораздо выше, чем в северной и восточной Беларуси.

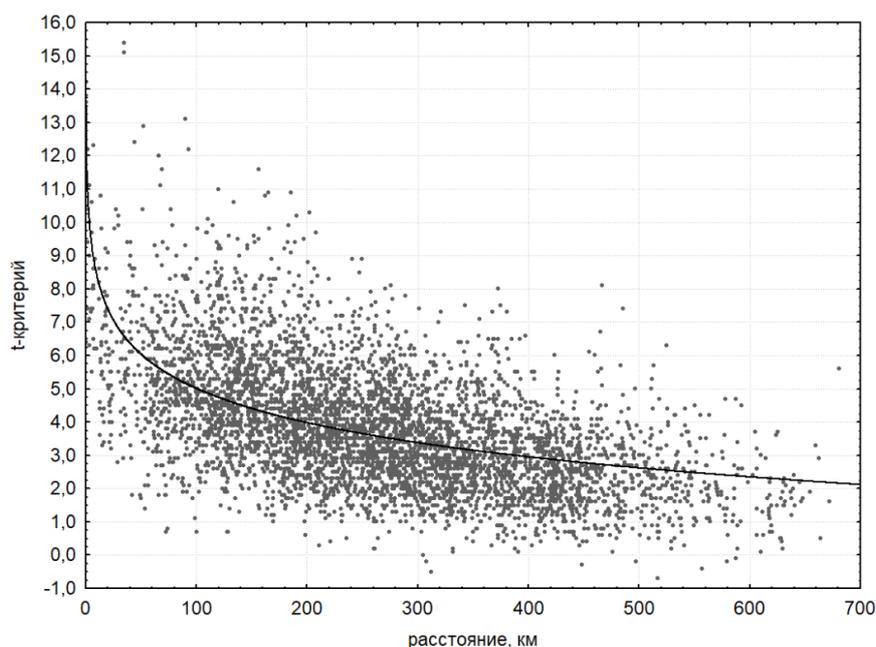


Рис. 2. Зависимость тесноты связи ( $t$ -критерий) между хронологиями сосны от расстояния между ними

Fig. 2. Dependence of  $t$ -value between pine chronologies from the distance between them

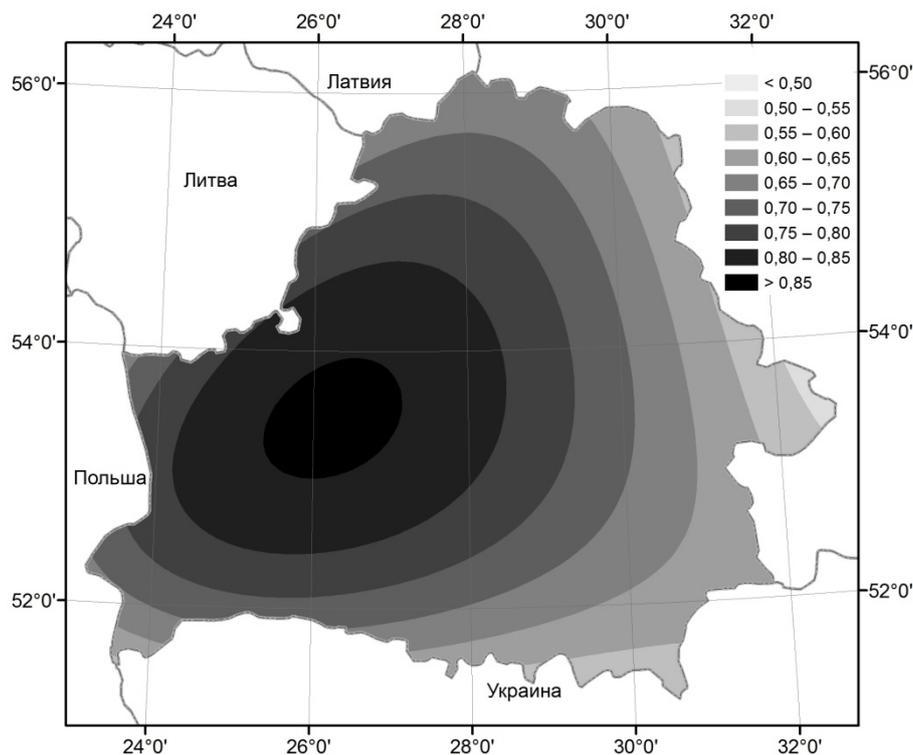


Рис. 3. Коэффициент корреляции древесно-кольцевых хронологий сосны с мастер-хронологией, построенной для всей территории Беларуси

Fig. 3. Correlation between pine tree-ring chronologies and master chronology built for the whole territory of Belarus

Наши исследования последних лет показали, что в южных регионах Беларуси чувствительность ДКХ ели европейской гораздо выше, чем в северных [22]. Геопространственный анализ коэффициента чувствительности для ДКХ сосны показывает аналогичные результаты: четко выражен градиент повышения их чувствительности с севера на юг на территории Беларуси (рис. 4).

Средний коэффициент чувствительности ДКХ сосны на автоморфных почвах составляет 0,18 и колеблется от 0,10 до 0,26. Наименьшей чувствительностью отличаются ДКХ сосны из северных регионов Беларуси, наибольшей – из юго-восточных. Таким образом, четко прослеживается широтная направленность, обусловленная в первую очередь температурным режимом летних месяцев. Периодические засухи в начале – середине вегетационного сезона чаще возникают в южных регионах Беларуси [2], что приводит к большой амплитуде колебаний прироста по соседним годам и, соответственно, к большей чувствительности ДКХ. Это хорошо объясняет и резкое изменение корреляции между ДКХ в южных регионах Беларуси.

Более высокая чувствительность ДКХ сосны, произрастающей на автоморфных почвах в южных регионах Беларуси, делает их в целом более пригодными для дендроклиматических реконструкций и прогнозов, чем ДКХ из северных регионов.

Для определения границ дендрохронологических районов предварительно был проведен кластерный анализ всей совокупности ДКХ сосны. По его результатам они были разделены на две большие группы: одна из них охватывает ДКХ из южной части республики (область III), а вторая – из центральной и северной (рис. 5). В пределах второй группы выделили две крупные группы хронологий: северную (область I) и центральную (область II). Затем, кластеризируя всю совокупность ДКХ методом К-средних, в каждой области выделили дендрохронологические районы, в которых прирост деревьев отличался исключительно высокой синхронностью. В результате территория Беларуси была разбита на 3 дендрохронологические области и 7 районов:

I – Северная область: Западно-Двинский район (Ia);

II – Центральная область: Неманский (IIa), Березинский (IIb), Днепро-Сожский (IIc) районы;

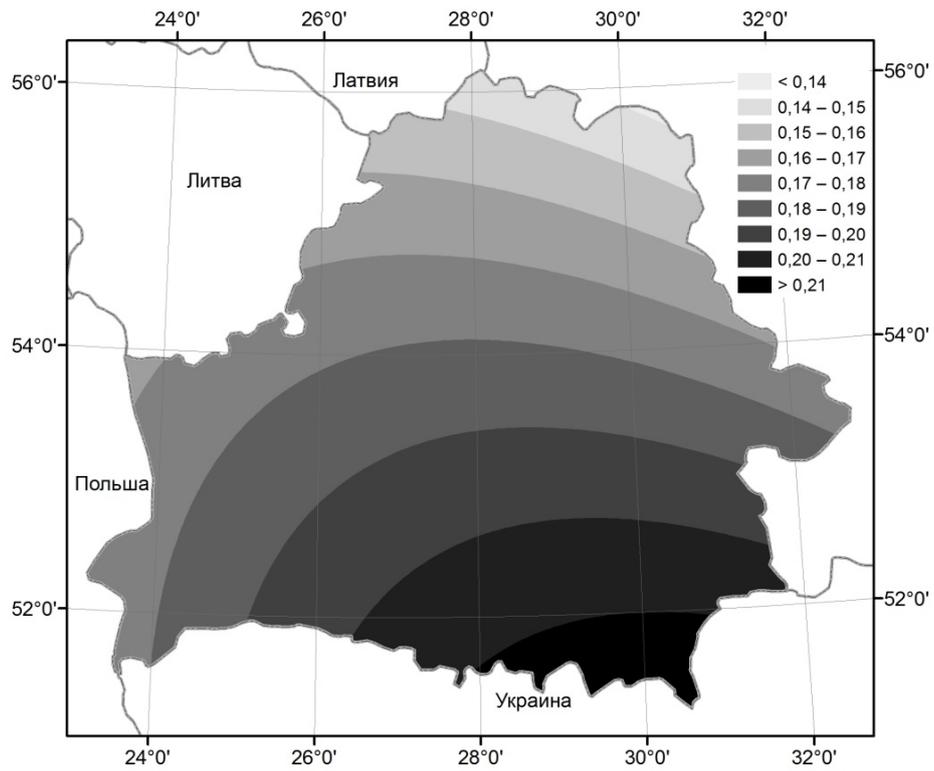


Рис. 4. Коэффициент чувствительности древесно-кольцевых хронологий сосны (на автоморфных почвах) на территории Беларуси

Fig. 4. Sensitivity of pine tree-ring chronologies (automorphic soils) in Belarus

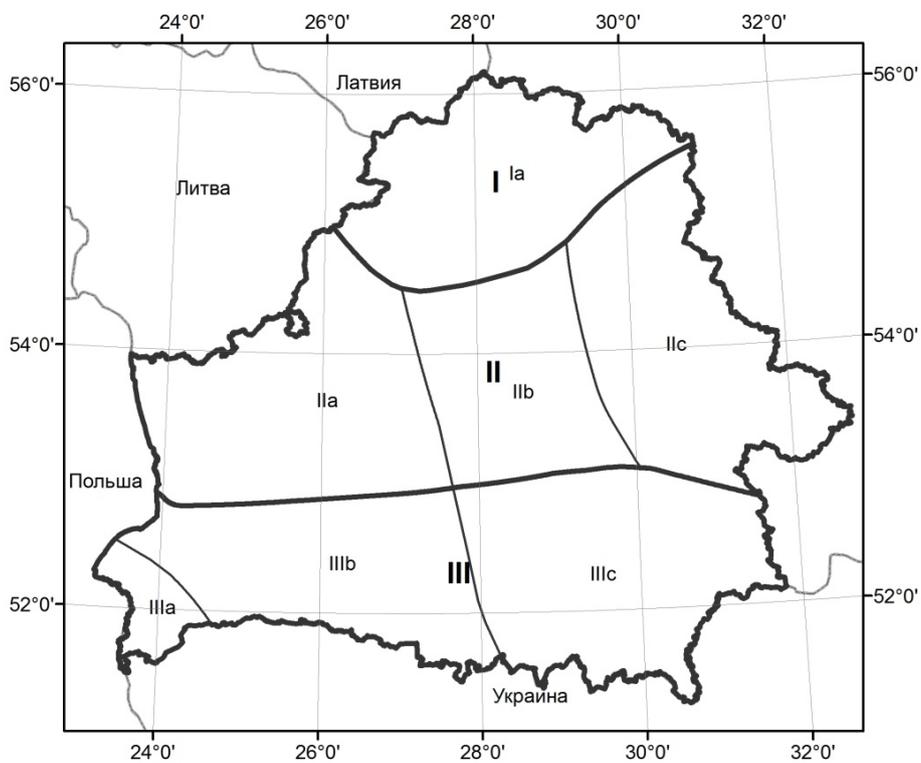


Рис. 5. Дендрохронологическое районирование Беларуси

Fig. 5. Dendrochronological zoning of Belarus

III – Южная область: Прибужский (IIIa), Среднеприпятский (IIIb), Припятско-Днепровский (IIIc) районы.

Согласно данным работы [23], границы дендрохронологических областей во многом схожи с границами агроклиматических областей, поскольку климат является одним из основных факторов, обуславливающих прирост деревьев, и повторяют направление изотерм вегетационного сезона, а границы районов – ближе к изотермам зимних месяцев [24].

Для каждого дендрохронологического района построены мастер-хронологии (см. таблицу, рис. 6) и функции отклика на климатические параметры (рис. 7), что позволило оценить особенности изменчивости прироста деревьев сосны в различных регионах Беларуси.

**Характеристика региональных мастер-хронологий**  
**Description of the regional master chronologies**

№ мастер-хронологии	К-во хронологий	К-во деревьев	Годы	Протяженность мастер-хронологии, лет	Стандартное отклонение	Коэффициент чувствительности	Коэффициент автокорреляции первого порядка	Дисперсия, объясненная функцией отклика, %
Ia	23	553	1857–2012	156	0,11	0,127	0,369	54,2
IIa	28	778	1842–2008	167	0,13	0,124	0,478	56,1
IIb	8	191	1876–2011	136	0,14	0,164	0,440	58,5
IIc	15	367	1884–2014	131	0,11	0,113	0,487	47,1
IIIa	3	69	1915–2012	98	0,17	0,193	0,395	48,4
IIIb	17	478	1845–2014	170	0,14	0,129	0,370	60,4
IIIc	8	204	1866–2010	145	0,13	0,147	0,364	56,0

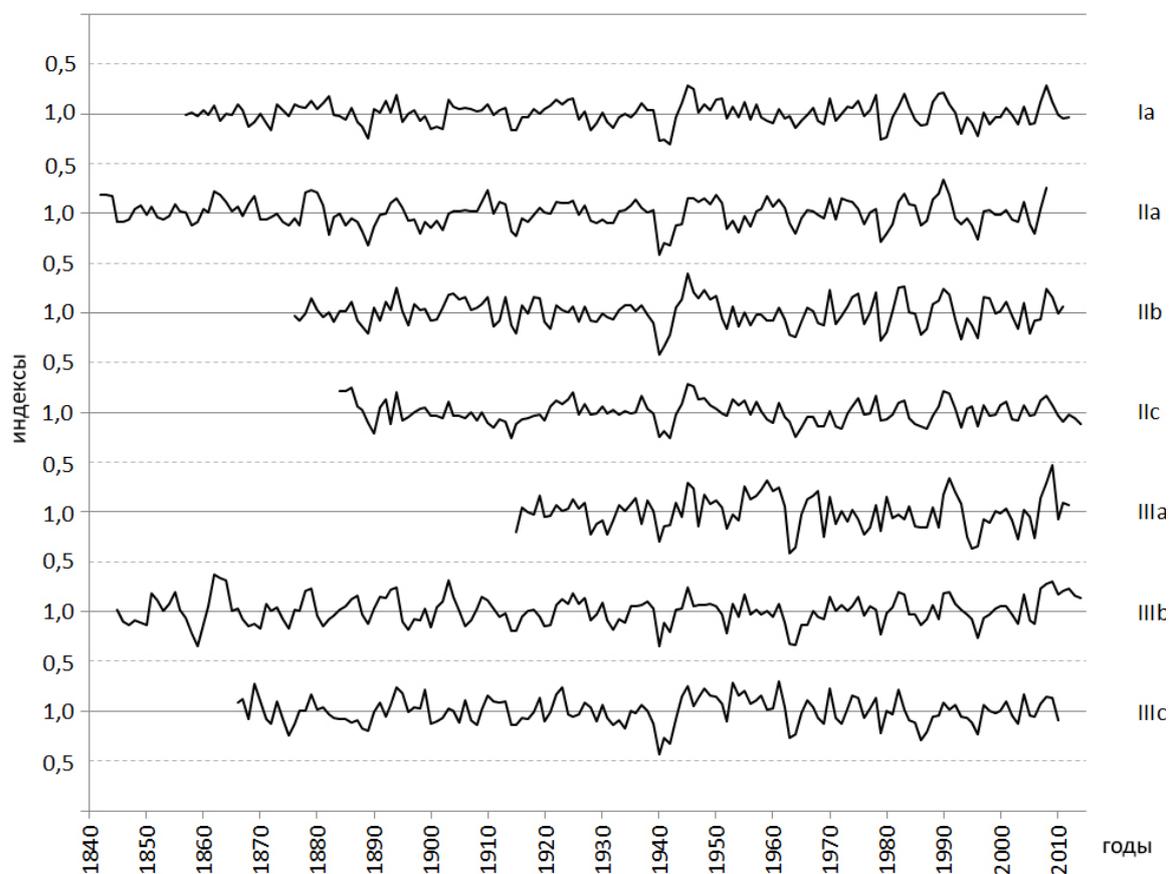


Рис. 6. Стандартизированные мастер-хронологии

Fig. 6. Standardized master chronologies

В большинстве дендроклиматических исследований погодичная изменчивость прироста связывается с температурным (на границах леса в горах или лесотундре) или гидрологическим режимом (в засушливых регионах). В умеренных же широтах отсутствует один четкий лимитирующий климатический фактор. Так, на территории Беларуси в приросте сосны четко выражено влияние и гидротермического режима вегетационного сезона, и зимних месяцев, но оно существенно различается по дендрохронологическим областям и районам.

В северной дендрохронологической области засухи в вегетационный период не достигают такой интенсивности, как в центральной и южной областях. Это обуславливает слабую положительную связь прироста с осадками и отрицательную с температурами летних месяцев (рис. 7). В то же время в центральной и северной областях отмечен очень большой вклад в прирост деревьев температур марта и апреля. Стабильное повышение температур воздуха в эти месяцы ведет к раннему наступлению вегетационного сезона и увеличению периода роста деревьев. Положительная корреляция прироста с температурами марта достигает 0,45–0,49, а с температурами апреля – 0,20–0,31. В южной области влияние температур апреля снижается, что обусловлено тем, что вегетационный сезон здесь, как правило, начинается раньше, чем в северных регионах. Средняя температура марта здесь выше или на доли градуса ниже 0 °С, в то время как в центральной области средняя температура марта составляет от –0,5 °С (Неманский район) до –1,7 °С (Днепро-Сожский район), а в северной – до –1,5 °С.

В южной дендрохронологической области, Неманском и Березинском районах центральной области выявлена четкая корреляция прироста с засухами в вегетационный сезон. Положительная корреляция с осадками июня достигает 0,44, а коэффициент функции отклика – 0,36. Одновременно в Прибужском и Припятско-Днепровском районах южной области наблюдается значимая отрицательная корреляция с температурами мая, связанная, как правило, с засухами в этот месяц.

Наиболее четкие связи прироста с климатическими факторами во всех мастер-хронологиях сосны на территории Беларуси выявлены для зимних месяцев. Особенно это касается температурного режима. Положительная корреляция прироста с температурами декабря, января и февраля составляет 0,24–0,43 в северной и центральной областях, 0,16–0,40 – в южной (рис. 7). Причем это влияние на величину прироста оказывается более высоким, чем влияние летних засух во всех районах, за исключением Прибужского и Среднеприпятского районов южной области. Аналогичные особенности отмечались для всех вечнозеленых хвойных видов деревьев, исследованных на территории Беларуси: сосны обыкновенной [7], ели европейской [22], пихты белой [25]. Для последней, которая в Беларуси находится за северо-восточной границей своего ареала, влияние зимних месяцев выражено в наибольшей степени. Для лиственных видов (дуб черешчатый, граб обыкновенный, осина, береза повислая, клен остролистный, липа мелколистная) такой зависимости не выявлено [25, 26].

Основная причина таких различий – особенности физиологии листопадных и вечнозеленых видов. Все исследованные лиственные виды деревьев на территории Беларуси относятся к листопадным, и при устойчивых отрицательных температурах в зимний период деревья находятся в состоянии покоя, расходуя часть запасенных углеводов на дыхание [27]. При повышении температуры воздуха усиливается и дыхание растений, что, вероятно, приводит к снижению их запасов к началу вегетационного сезона. Особенно это заметно при частых и продолжительных зимних оттепелях.

Вечнозеленые растения, к которым относятся исследованные хвойные виды, даже в зимний период могут осуществлять фотосинтез, что частично обеспечивает восстановление углеводов, затраченных на дыхание. По данным некоторых исследований, фотосинтез у деревьев ели отмечается до температуры –7 °С [28], у сосны – до –6 °С [29, 30]. При дальнейших понижениях температуры фотосинтез прекращается и для его восстановления требуется повышение температуры воздуха до +3–4 °С на несколько дней. Соответственно, теплые зимы с продолжительными оттепелями способствуют увеличению не только интенсивности дыхания у вечнозеленых древесных видов, но и фотосинтеза, который в определенной степени компенсирует расходы на дыхание. Это должно способствовать сохранению запасов углеводов на вегетационный сезон и более интенсивному приросту древесины в его первой половине.

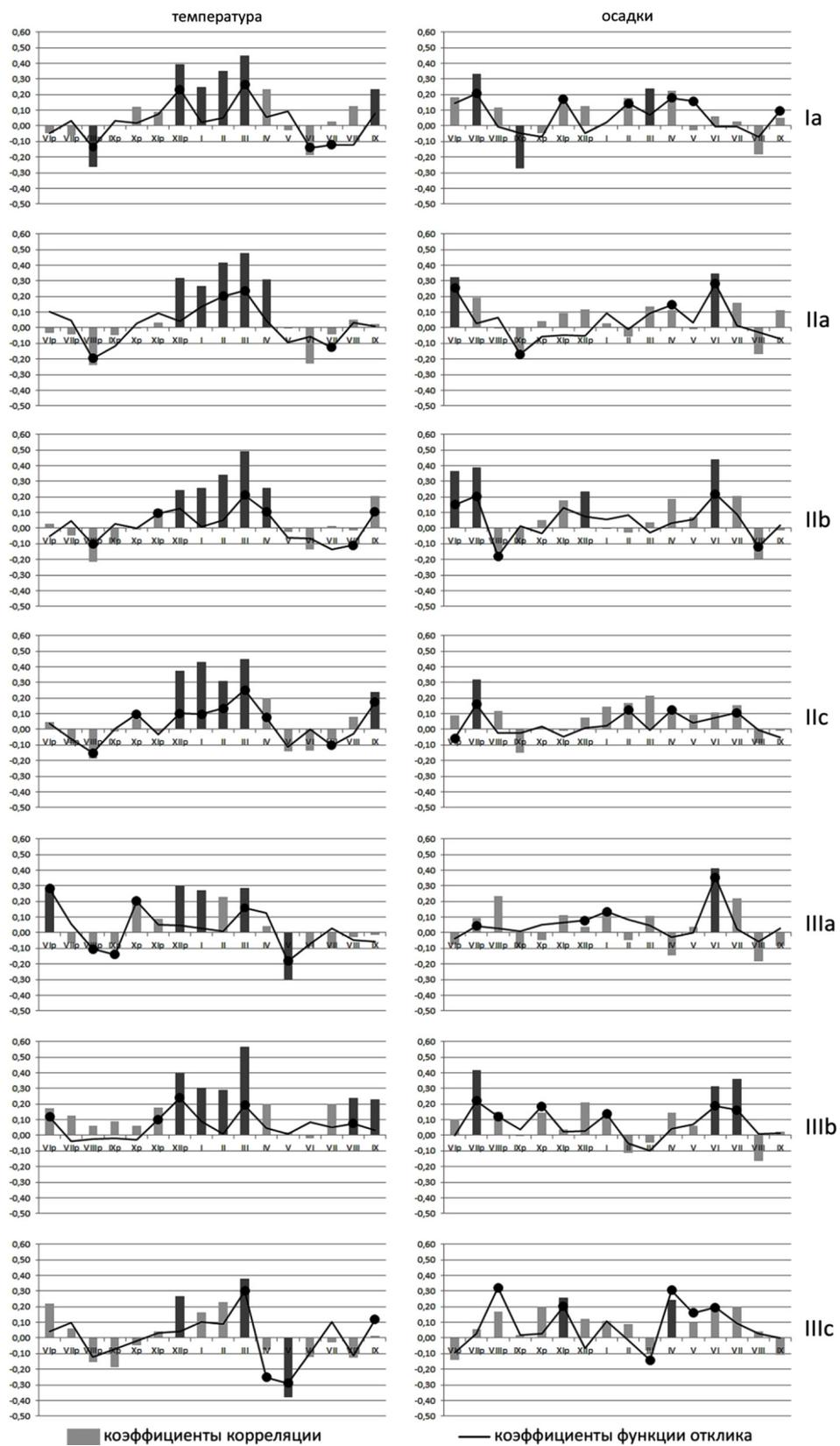


Рис. 7. Коэффициенты корреляции и функции отклика радиального прироста с месячными суммами осадков и среднемесячными температурами воздуха. Значимые при  $p < 0,05$  коэффициенты выделены темным цветом и маркерами. I, II...IX – месяцы текущего года, VIp, VIIp...XIIp – месяцы предыдущего года

Fig. 7. Correlation and response function coefficients. Significant values ( $p < 0,05$ ) are highlighted in dark color and markers. I, II ... IX – months of the current year, VIp, VIIp...XIIp – months of the previous year

Так, после самой теплой зимы в Беларуси 1989/90 года со средней температурой воздуха  $-0,1$  °C (выше климатической нормы на  $3,9$  °C) во всех мастер-хронологиях отмечено резкое увеличение прироста (на 20–30 % выше среднего значения), особенно в северной и центральной дендрохронологических областях. Абсолютные максимумы температур воздуха в феврале этого года достигли  $+17,2$  °C (Брест).

С другой стороны, исключительно холодные периоды не только приводят к снижению интенсивности физиологических процессов в деревьях, но могут повреждать и меристемы последних, а также их проводящую систему. Так, минимальные значения прироста 1940 г. (на 30–40 % по сравнению со средним) и следующие несколько лет с низким приростом деревьев во всех дендрохронологических районах связаны с самой холодной зимой за всю историю метеорологических наблюдений в Беларуси. По данным Белгидромета, средняя температура за три зимних месяца составила  $-10,9$  °C, что на  $6,9$  °C ниже нормы. В эту зиму были зарегистрированы абсолютные минимумы температуры воздуха за весь период наблюдения (до  $-42,2$  °C на метеостанции Толочин).

**Заключение.** Разработанное дендрохронологическое районирование позволяет по-новому взглянуть на особенности формирования прироста и развития древесных видов на территории Беларуси. Разработанные функции отклика прироста сосны обыкновенной на климатические факторы в каждом дендрохронологическом районе позволяют прогнозировать поведение деревьев (гибель, снижение/увеличение продуктивности) в разных регионах Беларуси на фоне климатических изменений и, соответственно, планировать мероприятия по адаптации лесного хозяйства к этим изменениям.

Деление территории Беларуси на дендрохронологические районы подтверждается большим объемом исторического дендрохронологического материала, датировки которого выполнены в лаборатории продуктивности и устойчивости растительных сообществ Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси [31]. Статистически достоверно датируются только образцы, которые происходят из одного или рядом расположенных дендрохронологических районов, а датировки между образцами из южной и северной Беларуси возможны только в редких случаях, когда древесина для строительства перемещалась из сопредельных регионов. Это позволяет не только датировать образцы исторической древесины, но и определять регион их происхождения.

При отсутствии ярко выраженных факторов, лимитирующих прирост деревьев на территории Беларуси, четко прослеживается снижение влияния на прирост количества осадков в вегетационный сезон с юга на север с одной стороны и усиление влияния весенних и зимних температур – с другой. С учетом сложившейся тенденции и прогнозов потепления климата можно ожидать снижения прироста у деревьев сосны в южных регионах, в то время как в центральных и северных районах прирост будет увеличиваться, что надо учитывать при долговременном планировании лесопользования.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках задания 1.06 «Оценка влияния урбанизации и мелиорации на климатические, водные, земельные и лесные ресурсы Беларуси» ГПНИ «Природопользование и экология». Автор благодарит всех сотрудников лаборатории продуктивности и устойчивости растительных сообществ Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси, которые в разные годы помогали в сборе и обработке материала.

**Acknowledgements.** This researches were carried out as part of the project 1.06 “Assessing the Impact of Urbanization and Land Reclamation on the Climate, Water, Land, and Forest Resources of Belarus”, the State Program of Scientific Research “Nature Management and Ecology”. The author thanks all colleagues from the laboratory of productivity and stability of plant communities of the Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus, who helped in the collection and processing of material over the years.

#### Список использованных источников

1. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Core Writing Team ; ed. : R. K. Pachauri, L. A. Meyer. – Geneva : IPCC, 2014. – 151 p.
2. Логинов, В. Ф. Экстремальные климатические явления: пространственно-временные закономерности их изменений и предпосылки прогнозирования / В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка. – Минск : РУП БелНИЦ «Экология», 2012. – 132 с.

3. Гельтман, В. С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии / В. С. Гельтман. – Минск : Наука и техника, 1982. – 326 с.
4. Болботунов, А. А. Дендрохронология сосны или ели объектов Национального парка «Нарочанский» / А. А. Болботунов, М. В. Рымашевская // Мониторинг и оценка состояния растительного мира : материалы междунар. науч.-практ. конф. (Минск – Нарочь, 22–26 сент. 2008 г.) / Ин-т эксперим. ботаники НАНБ. – Минск, 2008. – С. 140–143.
5. Яротов, А. Е. Динамика радиального прироста сосны обыкновенной в биогеоценозах на территории Беларуси : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.23 / А. Е. Яротов ; Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2008. – 23 с.
6. Хвойные леса Беларуси в современных климатических условиях (дендроклиматический анализ) / В. Н. Киселев [и др.] ; под общ. ред. В. Н. Киселева. – Минск : Право и экономика, 2010. – 200 с.
7. Ермохин, М. В. Влияние климатических факторов на радиальный прирост деревьев сосны, ели и дуба в Беловежской пуще / М. В. Ермохин, В. В. Савельев // Особо охраняемые природные территории Беларуси. Исследования : сб. науч. ст. / Гос. природоохр. учреждение «Березин. биосфер. заповедник». – Минск, 2011. – Вып. 6. – С. 28–44.
8. Болботунов, А. А. Зональные древесно-кольцевые хронологии хвойных пород Беларуси и возможности их использования / А. А. Болботунов // Леса Беларуси и их рациональное использование : междунар. науч.-техн. конф. (29–30 нояб. 2000 г., Минск) : материалы конф. / ред. : О. А. Атрощенко, А. И. Ламоткин, А. А. Янушкевич. – Минск, 2000. – С. 157–159.
9. Битвинкас, Т. Т. Дендроклиматические исследования / Т. Т. Битвинкас. – Л. : Гидрометеиздат. – 1974. – 172 с.
10. Bartolin, T. Dendrochronology in Sweden / T. Bartolin // Ann. Acad. Sci. Fennicae. Ser. A. III: Geologica-geographica. – 1987. – Vol. 145. – P. 79–88.
11. Sakulich, J. B. A dendrochronological approach for analyzing the geographic range structure of tree species : Ph. D. diss. / J. B. Sakulich. – University of Tennessee, 2011. – 221 p.
12. Wilczyński, S. Local chronologies and regional diversity of dendrochronological signal of Douglas Fir in Poland / S. Wilczyński, E. Feliksik // Geochronometria. – 2007. – Vol. 26, N 1. – P. 69–80. <https://doi.org/10.2478/v10003-007-0008-z>
13. Regiony dendroclimacyjne sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce / S. Wilczyński [et al.] // Sylvan. – 2001. – N 8. – P. 53–61.
14. Koprowski, M. Growth/climate relationships in tree-ring widths of *Picea abies* in Lithuania and Poland / M. Koprowski, A. Vitas // The Polish climate in the European context : a historical overview / ed. : R. Przybylak [et al.]. – Dordrecht, 2010. – P. 327–340.
15. Yermokhin, M. Dendrochronology zoning of pine stands (*Pinus sylvestris* L.) in Belarus / M. Yermokhin, V. Saveliev // BaltDendro 2012 : 2nd International conference of Baltic states dendrochronologists, Šventoji, Lithuania, 30th August – 2nd September, 2012 : program and materials / Group of dendroclimatology and radiometrics. – Kaunas, 2012. – P. 29–30.
16. Ваганов, Е. А. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике / Е. А. Ваганов, С. Г. Шиятов, В. С. Мазепа. – Новосибирск : Наука, 1997. – 246 с.
17. Holmes, R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement / R. L. Holmes // Tree-Ring Bull. – 1983. – N 44. – P. 69–75.
18. A 7,272-year tree-ring chronology for western Europe / J. R. Pilcher [et al.] // Nature. – 1984. – Vol. 312, N 5990. – P. 150–152. <https://doi.org/10.1038/312150a0>
19. Holmes, R. L. Dendrochronology program library. Users manual / R. L. Holmes. – Tucson : University of Arizona, 1984. – 51 p.
20. Fritts, H. C. Tree-rings and climate / H. C. Fritts. – London ; N. Y. ; San Francisco : Acad. Press, 1976. – 576 p.
21. Fritts, H. C. Tree-ring analysis: tool for water resource / H. C. Fritts // Trans. Am. Geophys. Union. – 1969. – Vol. 50, N 1. – P. 22–29. <https://doi.org/10.1029/EO050i001p00022>
22. Ермохин, М. В. Влияние климатических факторов на радиальный прирост ели (*Picea abies* (L.) Karst.) в Беларуси / М. В. Ермохин // Ботаника (исследования) : сб. науч. тр. / Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси. – Минск, 2008. – Вып. 35. – С. 34–45.
23. Шкляр, А. Х. Климатические ресурсы Белоруссии и использование их в сельском хозяйстве / А. Х. Шкляр. – Минск : Вышэйш. шк., 1973. – 430 с.
24. Нацыянальны атлас Беларусі. – Минск : Белкартографія, 2002. – 292 с.
25. Динамика и состояние популяции пихты белой в урочище «Тисовик» / М. В. Ермохин [и др.] // Беловежская пуща. Исследования : сб. науч. ст. / ред. : А. В. Бурый [и др.]. – Брест, 2016. – Вып. 14. – С. 65–88.
26. Кныш, Н. В. Влияние климатических факторов на прирост дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в южных регионах Беларуси / Н. В. Кныш, М. В. Ермохин // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2019. – Т. 64, № 2. – С. 169–179.
27. Крамер, П. Д. Физиология древесных растений / П. Д. Крамер, Т. Т. Козловский. – М. : Лесная промышленность, 1983. – 464 с.
28. Pisek, A. Assimilationsvermögen und Respiration der Fichte (*Picea excelsa* Link) in verschiedener Höhenlage und der Zirbe (*Pinus cembra* L.) an der alpinen Waldgrenze / A. Pisek, E. Winkler // Planta. – 1958. – Vol. 51, N 4. – P. 518–543. <https://doi.org/10.1007/BF01883340>
29. 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. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00717>
30. Wintertime photosynthesis and water uptake in a boreal forest / S. Sevanto [et al.] // Tree Physiol. – 2006. – Vol. 26, N 6. – P. 749–757. <https://doi.org/10.1093/treephys/26.6.749>
31. Ермохин, М. В. Дендрохронология в экологических и археологических исследованиях / М. В. Ермохин, В. В. Савельев // Наука и инновации. – 2015. – № 3 (145). – С. 66–68.

## References

1. Pachauri R. K., L. A. Meyer (eds.). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, IPCC, 2014. 151 p.
2. Loginov V. F., Brovka Yu. A. *Extreme climatic phenomena: spatio-temporal patterns of their changes and prerequisites of prediction*. Minsk, Ekologiya Publ., 2012. 132 p. (in Russian).
3. Gel'tman V. S. *Geographical and typology analysis of forest vegetation of Belorussia*. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1982. 326 p. (in Russian).
4. Bolbotunov A. A., Rymashevskaya M. V. Dendrochronology of pine and spruce in national park "Narochanski". *Monitoring i otsenka sostoyaniya rastitel'nogo mira: materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 80-letiyu Natsional'noi akademii nauk Belarusi (Minsk – Naroch', 22–26 sentyabrya 2008 goda)* [Vegetation monitoring and assessment: materials of the International scientific conference dedicated to the 80th anniversary of the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk – Naroch, September 22–26, 2008)]. Minsk, 2008, pp. 140–143 (in Russian).
5. Yarotov A. E. *Dynamics of the radial growth of Scots pine in biogeocenoses on the territory of Belarus*. Abstract of Ph. D. Thesis. Minsk, 2005. 23 p. (in Russian).
6. Kiselev V. N., Matyushevskaya E. V., Yarotov A. E., Mitrakhovich P. A. *Coniferous forests of Belarus in modern climatic conditions (dendroclimatic analysis)*. Minsk, Pravo i ekonomika Publ., 2010. 200 p. (in Russian).
7. Ermokhin M. V., Savel'ev V. V. Impact of climatic factors on a radial increment of pine, spruce and oak in Belovezhskaya Pushcha. *Osobo okhranyaemye prirodnye territorii Belarusi. Issledovaniya: sbornik nauchnykh statei. Vypusk 6* [Specially protected natural territories of Belarus. Research: collection of scientific articles. Issue 6]. Minsk, 2011, pp. 28–44 (in Russian).
8. Bolbotunov A. A. Zonal tree-ring chronologies of coniferous species of Belarus and the possibilities of their use. *Lesy Belarusi i ikh ratsional'noe ispol'zovanie: Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya (29–30 noyabrya 2000 goda, Minsk): materialy konferentsii* [Forests of Belarus and their rational use: International scientific and technical conference (November 29–30, 2000, Minsk): conference proceedings]. Minsk, 2000, pp. 157–159 (in Russian).
9. Bitvinskas T. T. *Dendroclimatic studies*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1974. 172 p. (in Russian).
10. Bartolin T. Dendrochronology in Sweden. *Annales Academiæ Scientiarum Fennicæ. Series A. III: Geologica-geographica*, vol. 145, 1987, pp. 79–88.
11. Sakulich J. B. *A dendrochronological approach for analyzing the geographic range structure of tree species*. Ph. D. Thesis. University of Tennessee, 2011. 221 p.
12. Wilczyński S. Local chronologies and regional diversity of dendrochronological signal of Douglas Fir in Poland. *Geochronometria*, 2007, vol. 26, no. 1, pp. 69–80. <https://doi.org/10.2478/v10003-007-0008-z>
13. Wilszyński S., Krąpiec M., Szychowska-Krąpiec E., Zielski A. Regiony dendroclimatyczne sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce. *Sylvan*, 2001, no. 8, pp. 53–61.
14. Koprowski M., Vitas A. Growth/climate relationships in tree-ring widths of *Picea abies* in Lithuania and Poland. *The Polish climate in the European context: a historical overview*. Dordrecht, 2010, pp. 327–340.
15. Yermokhin M., Saveliev V. Dendrochronology zoning of pine stands (*Pinus sylvestris* L.) in Belarus. *BaltDendro 2012: 2nd international conference of Baltic states dendrochronologists, Šventoji, Lithuania, 30th August – 2nd September, 2012: program and materials*. Kaunas, 2012, pp. 29–30.
16. Vaganov E. A., Shiyatov S. G., Mazepa V. S. *Dendroclimatic studies in the Ural-Siberian Subarctic*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1997. 246 p. (in Russian).
17. Holmes R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 1983, no. 44, pp. 69–75.
18. Pilcher J. R., Baillie M. G. L., Schmidt B., Becker B. A 7,272-year tree-ring chronology for western Europe. *Nature*, 1984, vol. 312, no. 5990, pp. 150–152. <https://doi.org/10.1038/312150a0>
19. Holmes R. L. *Dendrochronology program library. Users manual*. Tucson, University of Arizona, 1984. 51 p.
20. Fritts H. C. *Tree-rings and climate*. London, New York, San Francisco, Academic Press, 1976. 576 p.
21. Fritts H. C. Tree-ring analysis: tool for water resource. *Transactions American Geophysical Union*, 1969, vol. 50, no. 1, pp. 22–29. <https://doi.org/10.1029/EO050i001p00022>
22. Ermokhin M. Impact of climatic factors on the tree rings variability of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in Belarus. *Botanika (issledovaniya): sbornik nauchnykh trudov. Vypusk 35* [Botany (research): a collection of scientific papers. Issue 35]. Minsk, 2008, iss. 35, pp. 34–45 (in Russian).
23. Shklyar A. Kh. *Climatic resources of Belarus and their use in agriculture*. Minsk, Vysheishaya shkola Publ., 1973. 430 p. (in Russian).
24. *The National atlas of Belarus*. Minsk, Belkartografiya Publ., 2002. 292 p. (in Russian).
25. Ermokhin M. V., Barsukova T. L., Knysh N. V., Mychko V. E., Bernatskii D. I. Dynamics and state of the white fir population in the Tisovik tract. *Belovezhskaya pushcha. Issledovaniya: sbornik nauchnykh statei. Vypusk 14* [Belovezhskaya Pushcha. Research: collection of scientific articles. Issue 14]. Brest, 2016, pp. 65–88 (in Russian).
26. Knysh N. V., Ermokhin M. V. The effects of climatic factors in forming increment of English oak (*Quercus robur* L.) in south regions of Belarus. *Vesti Natsyonal'noi akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series], 2019, vol. 64, no. 2, pp. 169–179 (in Russian).
27. Kramer P. D., Kozlovskii T. T. *The physiology of woody plants*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1983. 464 p. (in Russian).

28. 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, iss. 4, pp. 518–543 (in German). <https://doi.org/10.1007/BF01883340>

29. Kolari P., Chan T., 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 in Plant Science*, 2014, vol. 5, art. 717. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00717>

30. Sevanto S., Suni T., Pumpanen J., Grönholm T., Kolari P., Nikinmaa E., Hari P., Vesala T. Wintertime photosynthesis and water uptake in a boreal forest. *Tree Physiology*, 2006, vol. 26, no. 6, pp. 749–757. <https://doi.org/10.1093/treephys/26.6.749>

31. Ermokhin M. V., Savel'ev V. V. Dendrochronology in environmental and archaeological research. *Nauka i innovatsii* [Science and innovation], 2015, no. 3 (145), pp. 66–68 (in Russian).

### Інфармацыя аб аўторэ

*Ермохин Максим Валерьевич* – канд. биол. наук, заведующий лабораторией. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: [maxim.yermokhin@gmail.com](mailto:maxim.yermokhin@gmail.com)

### Information about the author

*Maxim V. Yermokhin* – Ph. D. (Biol.), Head of the Laboratory. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [maxim.yermokhin@gmail.com](mailto:maxim.yermokhin@gmail.com)