

УДК 630\*17:582.475(476)+630.18:630\*56(476)

## ИНДИКАЦИОННАЯ РОЛЬ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ОЦЕНКЕ ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

Е. В. МАТЮШЕВСКАЯ<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Изучены особенности реакции сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей на одном из верховых болот Белорусского Полесья, условия которого можно рассматривать как пессимальные по отношению к древесным насаждениям, на изменение регионального климата как ведущего экологического фактора. В качестве объекта исследования выступил сосняк багульниково-сфагновый. Предметом исследования явился абсолютный минимальный и максимальный радиальный прирост современных насаждений сосны в возрасте до 305 лет. Применялись основные методы, используемые в дендрохронологии и дендроклиматологии, – сопоставление и сравнительный анализ. Прослежена последовательность вероятной трансформации условий увлажнения и обводненности Белорусского Полесья в голоцене за период отсутствия инструментальных наблюдений за характеристиками климата (количеством солнечной радиации, температурой воздуха, объемом осадков), а также по данным наиболее длинной метеостанции региона (Василевичи). Установлено, что изменение природных условий, обусловленное влиянием естественных и антропогенных (осушительная мелиорация) факторов и выражающееся в трансформации эдафогидрологической обстановки, проявляется в разнонаправленной динамике радиального прироста насаждений сосны, размещенной на верховом болоте.

**Ключевые слова:** Белорусское Полесье; верховое болото; сосна; сосновый биоценоз; радиальный прирост; изменение климата; мелиорация.

## INDICATIVE ROLE OF PINE RADIAL GROWTH FOR ASSESSING THE DYNAMICS OF THE STATE OF UPLAND BOGS BELARUSIAN POLESIE

К. В. MATSIUSHEUSKAYA<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, 4 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

The aim of the study was to investigate the peculiarities of the reaction of pine trees (*Pinus sylvestris* L.) growing in one of the upland bogs in the Belarusian Polesie, the conditions of which can be regarded as pessimal in relation to tree plantations, to the change of regional climate as a leading environmental factor. The object of the study was a pine-le-dum-sphagnum forest. The subject of the study was the absolute minimum and maximum radial growth of currently growing pine stands aged up to 305 years. The main methods used in dendrochronology and dendroclimatology (the method

### Образец цитирования:

Матюшевская ЕВ. Индикационная роль радиального прироста сосны обыкновенной в оценке динамики состояния верховых болот Белорусского Полесья. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2023; 2:70–79.  
EDN: XLPGTE

### For citation:

Matsiusheuskaya KV. Indicative role of pine radial growth for assessing the dynamics of the state of upland bogs Belarusian Polesie. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2023;2:70–79. Russian.  
EDN: XLPGTE

### Автор:

**Екатерина Викторовна Матюшевская** – кандидат географических наук, доцент; заведующий кафедрой физической географии мира и образовательных технологий факультета географии и геоинформатики.

### Author:

**Katsiaryna V. Matsiusheuskaya**, PhD (geography), docent; head of the department of physical geography of the world and educational technologies, faculty of geography and geoinformatics.  
katerina.vm@gmail.com

of comparison and comparative analysis) were applied to achieve the goal. The sequence of probable changes in hydration and watering conditions in Belarusian Polesie in the Holocene was traced for the period of absence of instrumental observations of climate characteristics (amount of solar radiation, air temperature, precipitation) and according to the data of the longest meteorological station in the region (Vasilevichi). It was established that the change in natural conditions of the region, caused by the influence of natural and anthropogenic (drainage reclamation) factors, expressed in the change of edaphohydrological conditions, is manifested in the multidirectional dynamics of wood diameter growth in pine stands growing in the upland bog.

**Keywords:** Belarusian Polesie; upland bog; pine; pine biocoenosis; tree-ring growth; climate change; drainage melioration.

## Введение

Для устойчивого и рационального использования лесных ресурсов такого напряженного с экологической точки зрения региона, как Белорусское Полесье, необходимо учитывать как естественную, так и обусловленную хозяйственной деятельностью человека динамику природных условий. Объективная, полная и достоверная оценка последствий крупномасштабных сплошнолесосечных рубок и осушительной мелиорации, обеспечение стабильного функционирования природных болотных комплексов требуют привлечения информации о состоянии верховых болот, регулирующих водный режим сопредельных лесных ландшафтов, которые размещаются на песчаной литологической основе, характерной для Белорусского Полесья. Мониторинг состояния верховых болот стал особенно актуален в обстоятельствах, когда на фоне современных изменений климата увеличивается прямая и косвенная антропогенная нагрузка на биоценозы.

Реакция лесных сообществ на трансформацию климата в региональном масштабе может выступать в качестве индикатора глобальных перестроек природной среды. Древесные растения, как достаточно долгоживущие организмы со сложными механизмами физиологического регулирования жизнедеятельности в изменчивых условиях обитания, благодаря наличию годичных колец древесины, в которых фиксируются экологические данные, являются наиболее информативным объектом для оценки таких процессов. Наиболее актуальным представляется изучение природных экосистем в пессимальных условиях, при которых даже малоамплитудное колебание метеорологических параметров (температуры воздуха и объема осадков) может привести к существенным трансформациям в жизнедеятельности растений.

Пессимальные экологические условия, в которых находятся насаждения сосны, произрастающей на верховых болотах (гидрофильность, бедность, кислотность и низкая температура субстрата (торфа) в период вегетации растений), определяют основные параметры годичного кольца древесины. По этим причинам Т. Т. Битвинскас считал, что угнетенность сосны служит препятствием для выполнения дендроклиматических исследований на верховых болотах [1]. При проведении подобных изысканий на территории Беларуси А. И. Русаленко рекомендовал анализировать крупномерные редкостойные деревья, произрастающие на минеральных почвах [2]. Л. П. Смоляк показал, что радиальный прирост сосны, расположенной на верховых болотах, после трансформации их водных условий в результате осушительной мелиорации меняется незначительно [3].

Многочисленные дендроклиматические исследования, проведенные в России, США и странах Европы и базирующиеся на изучении радиального прироста деревьев, имеют достаточно длительную историю не только в связи с изменением климата, но и из-за необходимости преодоления регулярно возникавших проблем деградации лесов [4–17]. В дендроклиматологии начиная с работы основоположника географии растений в России А. Н. Бекетова [18] утвердилось представление о том, что главными факторами, влияющими на состояние древостоя и его радиальный прирост, являются климатические факторы – температура воздуха и объем осадков. Наиболее плодотворными в этом отношении были изыскания американских естествоиспытателей А. Е. Дугласа [19] и Г. С. Фритса [20], осуществленные в 1914–1941 и 1955–1974 гг. соответственно. Они окончательно определили основной принцип дендроклиматологии – принцип лимитирующего фактора. Дендроклиматические исследования в Беларуси проводились В. Н. Киселевым и К. Д. Чубановым одновременно с изучением особенностей воздействия антропогенных факторов на лесные экосистемы [21]. Л. П. Смоляк, А. А. Болботунов и В. С. Романов проанализировали специфику влияния рельефа и глубины залегания грунтовых вод в песчаных эдафотопях на радиальный прирост насаждений сосны в различных климатических условиях [22]. Е. Г. Петров учитывал погодно-климатические факторы при определении водного режима песчаных почв под ценозами сосны [23]. Динамика радиального прироста сосны обыкновенной в биогеоценозах Беларуси методами дендроклиматического мониторинга изучалась А. Е. Яротовым<sup>1</sup>. В результате исследований, проведенных

<sup>1</sup>Яротов А. Е. Динамика радиального прироста сосны обыкновенной в биоценозах на территории Беларуси : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.23. Минск, 2008. 23 с.

В. Н. Киселевым и Е. В. Матушевой, установлена неоднозначность реакции деревьев (ели, сосны и дуба) на один и тот же климатический фактор (температуру воздуха или объем осадков) [24], притом что разные по природе воздействия экологические факторы (климатические и антропогенные (техногенное загрязнение, водоземельная мелиорация)) способны сходным образом отражаться на текущем радиальном приросте, в частности приводить к его депрессии. Фактор не может быть лимитирующим на протяжении всего развития современных поколений древостоя, и его влияние на тот или иной экотоп проявляется в определенные временные отрезки, различающиеся по климатическим показателям [25].

Использование данных о радиальном приросте сосны в экстремальных экологических условиях верхового болота позволяет выявить причины временной изменчивости состояния и стволовой продуктивности лесных ценозов и оценить качество среды обитания данной древесной породы. Цель исследования – изучение особенностей реакции сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей на одном из верховых болот Белорусского Полесья, условия которого можно рассматривать как пессимальные по отношению к древесным насаждениям, на изменение регионального климата как ведущего экологического фактора. Для достижения поставленной цели применялись основные методы, используемые в дендрохронологии и дендроклиматологии, – сопоставление и сравнительный анализ.

### Материалы и методы исследования

Представители вида *P. sylvestris* L., имеющие, по-видимому, наибольший среди сосен Белорусского Полесья возраст, были обнаружены на верховом болоте, которое расположено в овальном замкнутом понижении поперечником до 1,5 км севернее д. Круки (Светлогорский район, Гомельская область) в междуречье рек Березины и Птичи, находящемся вне зоны влияния мелиоративных работ на режим грунтовых вод.

Тип леса – сосняк багульниково-сфагновый. Источником фактических данных о динамике ширины годичного кольца древесины выступили мастер-хронологии стволовой продуктивности современных поколений сосны, которые получены в результате полевых исследований, проведенных по общепринятой, адаптированной к условиям Беларуси методике. Образцы древесины (керны) отбирались с применением возрастного бурава на высоте 1,3 м (у деревьев, расположенных на верховых болотах, на высоте 0,5 м). Как показал опыт дендроклиматических исследований, достаточно не менее 10 образцов древесины для получения надежной усредненной информации о радиальном приросте. Выделены пять возрастных серий (85, 115, 140, 250 и 305 лет) с 10–20 деревьями в каждой из них. Для анализа и обобщения его результатов учитывался минимальный и максимальный радиальный прирост каждой возрастной серии.

Участки верхового болота занимают овальные в плане, бессточные мезопонижения поперечником от 0,5 до 1,5 км. Отбор образцов торфа для определения его ботанического состава выполнен послойно с интервалом 10 см. В строении торфяной залежи, отражающей этапы изменения природной среды региона в голоцене, выделяются несколько горизонтов: верховое болото (0,1–0,9 м, ангустифолиум-торф) → переходное болото (0,9–1,5 м, пушицевый и пушицево-сфагновый торф) → низинное болото (1,5–1,8 м, тростниково-осоковый торф с корой ольхи) → верховое болото (1,8–2,5 м, ангустифолиум-торф, шейхцериво-сфагновый торф) → переходное болото (2,5–3,0 м, шейхцериво-сфагновый торф). Тростниково-осоковое низинное болото могло появиться внутри верхового болота при трансформации химического состава питающих вод. В замкнутой малоразмерной котловине такое событие в торфогенезе возможно только при длительном затоплении прилегающих территорий [26].

В условиях сезонной ритмики умеренного пояса на радиальный прирост древесных растений в течение их онтогенеза одновременно воздействуют многие экологические факторы. Скрытая в динамических сериях годичных колец информация помогает принимать решения в области использования природных ресурсов и охраны окружающей среды, а также выступает как вероятный показатель изменений климатической ситуации.

Это обстоятельство позволило проанализировать многолетние колебания радиального прироста современных поколений ели и сосны за период, когда инструментальные наблюдения еще не проводились, и за время выполнения измерений на метеостанциях Беларуси. Наиболее информативным и единственно доступным способом выявления динамики климатических условий явилось изучение радиального прироста великовозрастных деревьев.

Результаты метеорологических наблюдений, проведенных на конкретных метеостанциях, отражают не только региональную, но и мировую динамику климата. Для дендрохроноклиматических исследований важность представляет анализ изменений основных метеорологических показателей, определяющих первичную продуктивность древесины (в данном случае ширину ее годичного кольца), – температуры воздуха и объема осадков. Наибольшее значение для настоящего исследования имели непрерывные наблюдения за температурой воздуха на метеостанции Василевичи начиная с 1881 г. Кроме того, были привлечены сведения о климате Белорусского Полесья и сопредельных территорий за период с 1875 г., а именно данные о температуре воздуха и объеме осадков, зафиксированные на метеостанциях Горки, Василевичи и Пинск за 1875–1897 гг. [27].

## Результаты и их обсуждение

Оценка экологических последствий крупномасштабной осушительной мелиорации на территории Белорусского Полесья некорректна без учета естественной ритмики увлаженности этого региона в результате трансформации климатических условий. Такая ритмика является причиной изменчивости состояния лесных экосистем (в данном случае лесного верхового болота), определяемой глубиной залегания грунтовых вод вне зоны вероятного влияния мелиоративных систем на их уровненный режим.

Несмотря на значительную удаленность территории Белорусского Полесья от районов активного вулканизма, последствия воздействия вулканического аэрозоля на характеристики атмосферы прослеживаются в реакции годовичного кольца древесины. После интенсивных вулканических извержений условия, изначально неблагоприятные для сосны, размещенной на верховом болоте, могут приобретать экстремальный характер (понижение температуры воздуха, увеличение количества осадков). Крупные извержения вулканов в Северном полушарии вызывают снижение температуры воздуха и ведут к депрессии радиального прироста древесных растений на севере Евразии<sup>2</sup>. Обнаружение вулканического сигнала обеспечивает полноту анализа природных факторов возникновения экологических и природо-ресурсных проблем в состоянии лесных насаждений [28].

Многолетняя погодичная изменчивость минимального индивидуального радиального прироста исследованных возрастных серий сосны, расположенной на верховом болоте, на котором наблюдается естественный ход развития древостоя, детально отражает жизненное состояние древостоя в зависимости от его возраста (рис. 1).

Территория Белорусского Полесья принадлежит южной теплой неустойчиво-влажной агроклиматической зоне. Результаты наблюдений, которые проводились на метеостанции Василевичи (52,28° с. ш., 29,60° в. д.), расположенной в центральной части Припятского Полесья, позволяют установить климатические условия нарастания стволовой массы сосны, размещенной на верховом болоте. Соответствующие данные представлены в таблице. В процессе изменения климатических условий исследуемой территории выделяются следующие временные отрезки: период 1879–1906 гг. – неустойчиво-влажная, относительно прохладная первая фаза первой климатической эпохи со среднегодовым объемом осадков 617 мм при среднегодовой температуре воздуха 6,2 °С; период 1907–1940 гг. – влажная, относительно теплая вторая фаза первой климатической эпохи со среднегодовым количеством осадков 715 мм при среднегодовой температуре воздуха 6,4 °С; период 1941–1976 гг. – неустойчиво-влажная, относительно прохладная первая фаза второй климатической эпохи со среднегодовым объемом осадков 603 мм при среднегодовой температуре воздуха 6,8 °С; период 1977–2006 гг. – влажная, относительно теплая вторая фаза второй климатической эпохи со среднегодовым количеством осадков 643 мм при среднегодовой температуре воздуха 6,8 °С.

В начале своего развития (с 1764 по 1787 г.) в климатических условиях, свойственных европейской территории, поколение 250-летних сосен находилось в состоянии постоянного угнетения (радиальный прирост 0,5–0,1 мм). С XVIII в. отмечался рост числа проявлений западной формы циркуляции воздушных масс с общим преобладанием восточной и меридиональной форм циркуляции воздушных масс, что способствовало увеличению влажности воздуха и повторяемости морозных дней и, соответственно, развитию ледников. Около 1720 г. зафиксированы значительные движения ледников в Альпах и Скандинавии. В Северной Европе, а именно в Исландии, особенно мощным было их наступление в 1740–50-х гг. В этот период общая повторяемость числа проявлений меридиональной и восточной форм циркуляции воздушных масс еще превышала повторяемость количества проявлений западной формы циркуляции воздушных масс. В течение 1760–90-х гг. продолжалось прогрессирование альпийских ледников, максимум их распространения был достигнут в 1820 г. Это последнее глобальное перемещение горных ледников на территории Европы ознаменовало конец малого ледникового периода. В указанное время отмечался интенсивный рост числа проявлений западной формы циркуляции воздушных масс с сохранением большой повторяемости количества проявлений меридиональной формы циркуляции воздушных масс. Сочетание данных форм циркуляции воздушных масс способствовало повышению влажности воздуха, установлению зимних холодов и прохладного лета [29; 30].

В 1774–1785 гг. после взрыва вулкана Пападаян на о. Ява в 1772 г. и извержения европейского вулкана Везувий в 1779 г. поколение 250-летних сосен находилось на грани выживания (радиальный прирост 0,05 мм). Наибольшее ухудшение лесорастительных условий на верховом болоте и, следовательно, жизненного состояния сосны, достигшей 20 лет, сопутствовало одним из самых мощных за минувшие 1000 лет извержениям вулканов Лаки и Гримсвотн, которые расположены на о. Исландия, в 1783–1784 гг. В течение следующих 2–3 лет температура воздуха в Северном полушарии снизилась на 1,3 °С. Эти извержения вызвали неурожай и голод во многих европейских странах накануне Великой французской революции 1789–1794 гг. Тонкий слой пепла присутствовал над большей частью территории Евразии, вплоть до Китая [31].

<sup>2</sup>Волкова Е. М. Морфолого-биологические особенности и изменчивость сосны обыкновенной, произрастающей в условиях олиготрофных болот средней и южной тайги : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.05. М., 2000. 24 с.

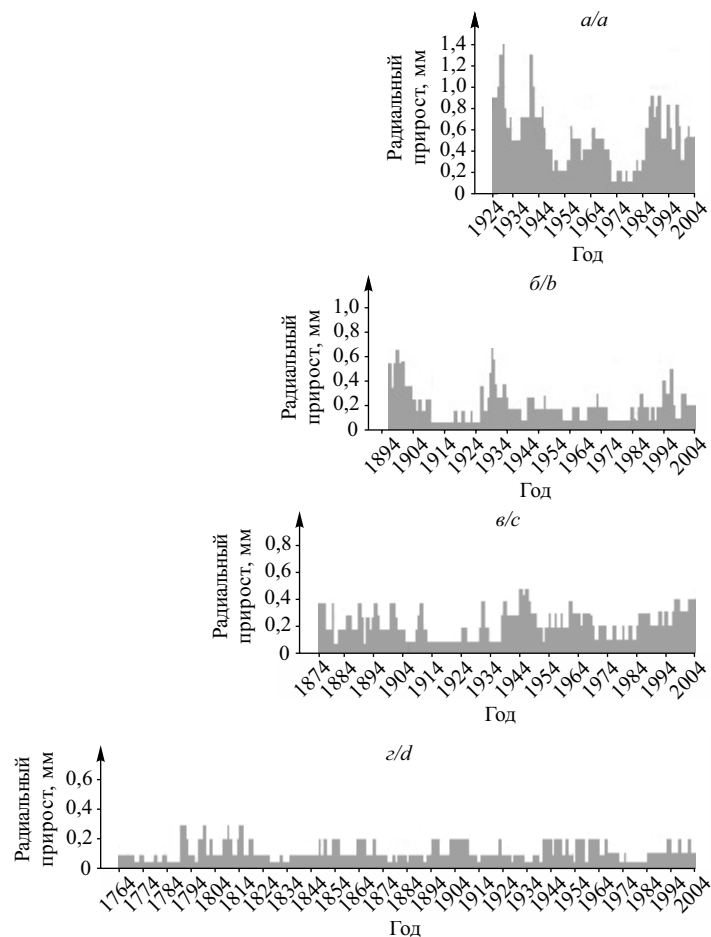


Рис. 1. Многолетний погодичный ход изменчивости минимального индивидуального радиального прироста возрастных серий сосны на территории верхового болота Круки: а – 85 лет; б – 115 лет; в – 140 лет; г – 250 лет

Fig. 1. Multiyear course of variability of minimum individual tree-ring growth of pine trees age series of on the upland bog Kruki: а – 85 years; б – 115 years; в – 140 years; г – 250 years

**Показатели изменчивости климата по данным наблюдений, проведенных на метеостанции Василевичи, за период с 1879 по 2006 г.**

**Indicators of climate variability based on observations carried out at the meteorological station Vasilevichi from 1879 to 2006**

Период	Температура воздуха, °С				Объем осадков, мм			
	Май – июнь	Май – сентябрь	Октябрь – апрель	В среднем за год	Май – июнь	Май – сентябрь	Октябрь – апрель	В среднем за год
<i>Первая климатическая эпоха</i>								
1879–1906	15,4	15,7	–0,6	6,2	149	367	296	617
1907–1940	15,3	15,6	–0,3	6,4	144	384	324	715
<i>Вторая климатическая эпоха</i>								
1941–1976	15,4	15,8	–0,5	6,3	126	318	285	603
1977–2006	15,5	15,8	0,4	6,8	141	374	269	643

Наращение стволовой массы деревьев активизировалось в 1790–1815 гг. В дальнейшем быстрые темпы увеличения радиального прироста до максимальных значений (3,9 мм к 1790 г.) и высокая стволовая продуктивность сосны сохранялись достаточно длительное время, несмотря на погодно-климатические условия (включая период 1809–1812 гг. с крайне низкими зимними температурами воздуха).

Очевидно, начиная с середины XIX в. усилилось направленное уменьшение стволовой продуктивности сосны в контрастных погодных условиях. Засухи 1839, 1868 и 1874 гг. чередовались с наводнениями,

особенно сильными из которых являлись наводнения 1845 и 1861 гг. До 1845 г. высокие значения радиального прироста были свойственны насаждениям сосны, размещенной на верховых болотах не только Белорусского Полесья (болота Красная корчма (Светлогорский лесхоз) и Перуново (Брестский лесхоз), Выгонощанский болотный массив (Ганцевичский лесхоз)), но и средней полосы Беларуси (болота Дубовый лог (Червенский лесхоз), Прошицкое (Крупский лесхоз)), а также Белорусского Поозерья (болото Мох (Дисненский лесхоз)). Сосняк мшистый, произрастающий на кварцевых песках Светлогорского лесхоза, и 190-летние сосны, сохранившиеся в парке культуры и отдыха имени 50-летия Великого Октября (Минск), имели высокие показатели радиального прироста именно в эти годы. Большая стволовая продуктивность, выявленная дендрохронологическим методом, в данный период отмечена у 250-летних дубов и 245-летних сосен [28]. Можно говорить об общей значительной стволовой продуктивности сосны в конце XVIII и начале XIX в. независимо от ее местонахождения и условий произрастания на всей территории Беларуси. Наиболее вероятной причиной этого послужил пепел извергавшегося вулкана Лаки, распространившийся над всей территорией Евразии. Именно он мог явиться удобрением для лесного покрова Беларуси, находящейся в центральной части европейского субконтинента [32].

Дальнейшее продолжительное экстремальное угнетение сосны, размещенной на верховом болоте, которое выразилось в предельно низком радиальном приросте (0,05 мм), вызвано климатическими условиями, возникшими после окончания малой ледниковой эпохи. На них кратковременно влияли крупнейшие вулканические извержения. Сопоставление временных отрезков, на протяжении которых происходил наименьший радиальный прирост 305-летней сосны, с периодами вулканической активности указывает на то, что подобное вполне вероятно [32].

Многолетний погодичный ход изменчивости максимального индивидуального радиального прироста возрастных серий сосны, расположенной на верховом болоте, отражает потенциальные продукционные возможности для нарастания стволовой массы в условиях изменения метеорологических величин (рис. 2).

Подавленное жизненное состояние древостоя до 1785 г. отражено в депрессии максимального, как и минимального, радиального прироста возрастных серий сосны в тех природных условиях, которые сложились к этому времени, т. е. в условиях так называемой великой зимы 1781–1782 гг. [32].

В 1809 г. взорвался безымянный сильный тропический вулкан. Последовавшее за этим охлаждение атмосферы было многократно усилено извержением индонезийского вулкана Тамбора в 1815 г., что вызвало экстремально холодную погоду. В древесно-кольцевой хронологии поколения 250-летних сосен холодный всемирный климат отмечен в 1814–1819 гг. депрессией радиального прироста. В 1831–1835 гг. она последовала за извержением центральноамериканского вулкана Косигуина.

Снижение максимального радиального прироста после 1852 г. было приурочено к началу наибольшего похолодания, сопровождавшегося непрерывными холодными дождями, на территории Восточно-Европейской равнины в малый ледниковый период.

В XX в. возникли более благоприятные условия, менее осложненные вулканическими событиями, для сосны, размещенной на верховом болоте, без антропогенного вмешательства в его естественный ход развития. Возможность реализации ею продукционного потенциала в нарастании стволовой массы увеличилась. У возрастных серий сосны, достигшей 140, 115 и 85 лет, показатели среднего годичного радиального прироста (0,37; 0,43 и 0,72 мм соответственно) оказались больше, чем аналогичное значение у поколения 250-летних сосен (0,34 мм).

Такая активизация в нарастании стволовой массы могла произойти в изменившихся водных условиях верхового болота (снижение его обводненности в результате так называемого общего осушения 1873–1898 гг., которое осуществлялось согласно Генеральному плану осушения Полесья, разработанному И. И. Жилинским). За 25 лет деятельности Западной экспедиции по осушению болот выполнены осушительные работы на территории площадью 1,5 млн десятин, расширены 127 верст малых рек и прорыты 4367 верст каналов. Хотя исследованное верховое болото не осушалось, оно оказалось на территории общего осушения, что не могло не сказаться на состоянии этого болота. Следовательно, его лесорастительные условия улучшились.

В 1898 г. после прекращения работы Западной экспедиции по осушению болот обводненность Белорусского Полесья уменьшилась. В экологическом отношении это оказалось значимым фактором при дальнейших водно-земельных мелиорациях.

Максимальный индивидуальный радиальный прирост древостоя в исследованных поколениях сосны, размещенной на верховом болоте, как и у насаждений сосны, расположенной на песчаных автоморфных и полугидроморфных почвах Белорусского Полесья, как правило, не имел одногодичной календарной привязки и менялся во времени. По этой причине сроки подавления продукционного потенциала сосны в нарастании стволовой массы в годы с повышенной увлажненностью не всегда совпадали.

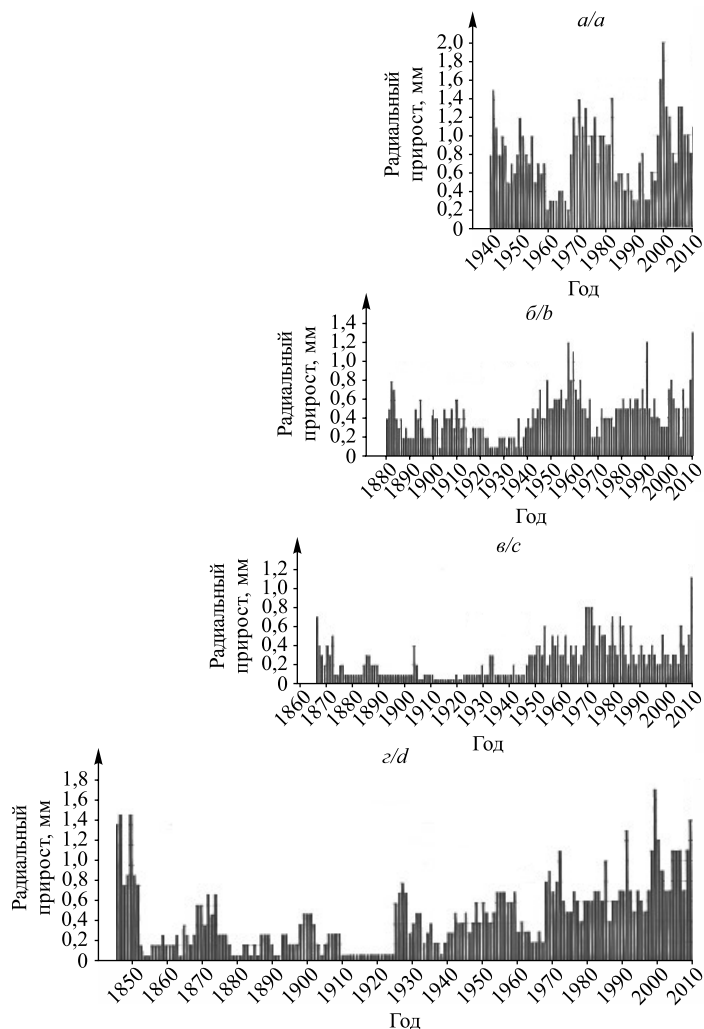


Рис. 2. Многолетний погодичный ход изменчивости максимального индивидуального радиального прироста возрастных серий сосны на территории верхового болота Круки:  
а – 65 лет; б – 115 лет; в – 140 лет; з – 170 лет

Fig. 2. Multiyear course of variability of maximum individual tree-ring growth of pine trees age series of on the upland bog Kruki:  
а – 65 years; б – 115 years; в – 140 years; д – 170 years

В 1914 г., когда среднегодовое количество осадков составило 828 мм, а количество осадков за вегетационный период – 457 мм, депрессия радиального прироста случилась у поколения 115-летних сосен. Аномально суровые зимние холода негативно отразились на радиальном приросте поколений 140- и 115-летних сосен. Угнетение поколения 85-летних сосен также вызвано аномальным количеством осадков в 1953 г., когда их среднегодовой объем достиг 905 мм, а объем осадков за период с мая по сентябрь – 527 мм.

После 1974 г., отличавшегося большой увлажненностью вегетационного периода (количество осадков в это время составило 422 мм при среднегодовом объеме осадков 618 мм), не последовало продолжительного снижения качества жизненного состояния трех поколений сосен. Эта тенденция сохранялась и после 1977 г., когда количество осадков за период с мая по сентябрь достигло 449 мм при среднегодовом объеме осадков 707 мм. На угнетенное состояние древостоя не влияло затопление болота во время осенне-зимнего наводнения 1974–1975 гг. и весеннего паводка 1975 г., в результате которых под водой оказались обширные низменные пространства Белорусского Полесья. Только после 1980 г. (среднегодовой объем осадков составил 735 мм, а объем осадков за вегетационный период – 496 мм), когда произошло извержение вулкана Сент-Хеленс, началось постепенное снижение стволовой продуктивности поколений 140- и 85-летних сосен. В засушливом, 1963-м, году (среднегодовое количество осадков равнялось 416 мм, количество осадков за период с мая по июнь – 63 мм, а за период с мая по сентябрь – 169 мм), когда извергался вулкан Агунг, радиальный прирост сосны, расположенной на верховом болоте, достиг, по всей видимости, минимальных возможных значений (0,2–0,3 мм).

Дендрокольцевые хронологии сосны на верховых болотах включают летопись лесных пожаров, которые на территории Белорусского Полесья в историческом прошлом и после осушительной мелиорации приобретали опустошительный масштаб. Дендрохронологический анализ многолетней динамики минимального радиального прироста сосны, размещенной на верховом болоте, позволил установить последовательность фиксированных пожаров во времени (1839, 1868, 1881, 1925, 1959, 1986, 2007) [31].

### Заключение

Многолетний ход изменчивости максимального и минимального радиального прироста отражает сложный, в отдельные временные отрезки циклический характер реализации сосной своего продукционного потенциала. Цикличность радиального прироста, по-видимому, отличается спонтанностью, в условиях относительного постоянства экологической обстановки он не подвергался прямому мелиоративному воздействию верхового болота на общем фоне современных климатических изменений. Неблагоприятные условия для сосны, расположенной на верховом болоте, приобретают экстремальный характер (понижение температуры воздуха, увеличение объема осадков) после мощных вулканических извержений. Влияние вулканического сигнала на изменчивость годового кольца древесины способствует корректной интерпретации экологических и природоресурсных проблем, возникновение которых обусловлено возрастающей и разнонаправленной антропогенной нагрузкой на биоценозы с учетом существующей естественной динамики природной среды, и их прогнозированию.

### Библиографические ссылки

1. Битвинькас ТТ. *Дендроклиматические исследования*. Ленинград: Гидрометеиздат; 1974. 172 с.
2. Русаленко АИ. *Годичный прирост деревьев и влагообеспеченность*. Минск: Наука и техника; 1986. 238 с.
3. Смоляк ЛП. *Болотные леса и их мелиорация*. Юркевич ИД, редактор. Минск: Наука и техника; 1969. 209 с.
4. Матюшевская ЕВ, Яротов АЕ. Жизненные формы сосны *Pinus sylvestris* на верховых болотах Белорусского Полесья. В: Воробьев ДС, редактор. *Актуальные вопросы устойчивого природопользования: научно-методическое обеспечение и практическое решение. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию НИЛ экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики БГУ; 9–11 ноября 2022 г.; Минск, Беларусь*. Минск: БГУ; 2022. с. 139–142.
5. Ваганов ЕА, Плешиков ФИ. Система мониторинга лесов как основа их рационального использования и устойчивого развития. *Сибирский экологический журнал*. 1998;5(1):3–8.
6. Auclair AND, Lill JT, Revenga C. The role of climate variability and global warming in the dieback of Northern Hardwoods. *Water, Air and Soil Pollution*. 1996;91(3–4):163–186.
7. Boryczka J, Stopa-Boryczka M. Natural and anthropogenic changes of climatic in Europe. *Acta Universitatis Carolinae. Geographica*. 1997;32:57–64.
8. Fisher M. Decline in the juniper woodlands of Raydah Reserve in southwestern Saudi Arabia: a response to climate changes? *Global Ecology and Biogeography Letters*. 1997;6(5):379–386. DOI: 10.2307/2997338.
9. Holtmeier F-K. *Mountain timberlines: ecology, patchiness, and dynamics*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 2003. 369 p. (Advances in Global Change Research; volume 14).
10. Hüttl RT, Schneider BU, Farrell EP. Forests of the temperate region: gaps in knowledge and research needs. *Forest Ecology and Management*. 2000;132(1):83–96. DOI: 10.1016/S0378-1127(00)00381-9.
11. Gramer H, Gramer-Middendorf M. Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Schadensperioden und Klimafaktoren in mitteleuropäischen Forsten seit 1851. *Pflanzenschutz Nachrichten Bayer*. 1984;37(2):208–334.
12. Korpel S. Dinamika prirodneho smrekoveho lesa v zapadnych Tatrach na priklade SPR Kotlový Zlab. *Zborník prac o Tatranskom narodnom parku*. 1993;33:193–225.
13. Kullman L. Recent cooling and recession of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the forest-alpine tundra ecotone of the Swedish Scandes. *Journal of Biogeography*. 1996;23(6):843–854.
14. Lebourgeois F. Climatic signals in earlywood, latewood and total ring widths of Corsican pine from western France. *Annals of Forest Science*. 2000;57(2):155–164. DOI: 10.1051/forest:2000166.
15. Parmesan C, Yoho G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*. 2003;421:37–42. DOI: 10.1038/nature01286.
16. Schweingruber F. *Tree-rings and environment. Dendroecology*. Berne: Paul Haupt; 1996. 609 p.
17. Treter U. Dendroökologische Untersuchungen in Flechten-Fichten-Waldland in Zentral-Labrador (Ungava, Kanada). *Heidelberger Geographische Arbeiten*. 1996;104:529–542.
18. Бекетов АН. О влиянии климата на возрастание сосны и ели. В: Бекетов АН, редактор. *Труды Первого съезда русских естествоиспытателей в Санкт-Петербурге, происходившего с 28 декабря 1867 по 4 января 1868 г. Отделение ботаники*. Санкт-Петербург: Типография Императорской академии наук; 1868. с. 111–163.
19. Douglass AE. *Tree-rings and chronology*. Tucson: University of Arizona; 1937. 36 p. (University of Arizona Bulletin; volume 8, No. 4).
20. Fritts HC. *Tree-rings and climate*. London: Academic Press; 1976. 567 p.
21. Киселев ВН, Чубанов КД. *Ландшафтно-экологические исследования Белорусского Полесья*. Минск: Наука и техника; 1979. 104 с.
22. Смоляк ЛП, Болботунов АА, Романов ВС. Влияние рельефа на изменчивость радиального прироста сосны. В: Кайрюкшис ЛА, редактор. *Дендрохронология и дендроклиматология*. Новосибирск: Наука; 1986. с. 114–122.



23. Петров ЕГ. *Водный режим и продуктивность лесных фитоценозов на почвах атмосферного увлажнения*. Минск: Наука и техника; 1983. 213 с.
24. Киселев ВН, Матюшевская ЕВ. *Экология ели*. Логинов ВФ, редактор. Минск: БГУ; 2004. 217 с.
25. Киселев ВН, Матюшевская ЕВ, Яротов АЕ, Митрахович ПА. *Хвойные леса Беларуси в современных климатических условиях (дендроклиматический анализ)*. Киселев ВН, редактор. Минск: Право и экономика; 2010. 202 с.
26. Демаков ЮП. *Диагностика устойчивости лесных экосистем (методологические и методические аспекты)*. Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл; 2000. 416 с.
27. Воейков АИ. Климат Полесья. В: Жилинский ИИ, составитель. *Приложения к очерку работ Западной экспедиции по осушению болот, 1873–1892 гг.* Санкт-Петербург: Издание Министерства земледелия и государственных имуществ; 1899. с. 1–132.
28. Киселев ВН, Матюшевская ЕВ, Яротов АЕ, Митрахович ПА. Особенности радиального прироста сосны на верховых болотах Белорусского Полесья. *Весті БДПУ. Серыя 3, Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія*. 2010;3:35–39.
29. Боков ВН, Воробьев ВН. Изменчивость атмосферной циркуляции и изменение климата. *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2010;13:83–88.
30. Гирс АА. *Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные метеорологические прогнозы*. Ленинград: Гидрометеониздат; 1971. 280 с.
31. Матюшевская ЕВ. *Факторы изменчивости радиального прироста деревьев*. Киселев ВН, редактор. Минск: БГУ; 2017. 231 с.
32. Матюшевская ЕВ, Дорошко НВ. Вулканические извержения как фактор изменчивости стволовой продуктивности сосны на верховых болотах Беларуси. В: Фаргышев АН, редактор. *Сибирь и Дальний Восток России в формирующемся пространстве Большой Евразии. Материалы XX юбилейной научной конференции (с международным участием) молодых географов Сибири и Дальнего Востока; 24–29 мая 2021 г.; Иркутск, Россия*. Иркутск: Издательство Института географии имени В. Б. Сочавы СО РАН; 2021. с. 60–63.

## References

1. Bitvinskas TT. *Dendroklimaticheskie issledovaniya* [Dendroclimatic studies]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1974. 172 p. Russian.
2. Rusalenko AI. *Godichniy prirost derev'ev i vlagoobespechennost'* [Annual growth of trees and moisture availability]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1986. 238 p. Russian.
3. Smolyak LP. *Bolotnye lesa i ikh melioratsiya* [Swamp forests and their reclamation]. Yurkevich ID, editor. Minsk: Nauka i tekhnika; 1969. 209 p. Russian.
4. Matsiusheuskaya KV, Yarotov AE. [Life forms of pine *Pinus sylvestris* in the upland bogs of the Belarusian Polesie]. In: Vorob'ev DS, editor. *Aktual'nye voprosy ustoychivogo prirodopol'zovaniya: nauchno-metodicheskoe obespechenie i prakticheskoe reshenie. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 60-letiyu NIL ekologii landshaftov fakul'teta geografii i geoinformatiki BGU; 9–11 noyabrya 2022 g.; Minsk, Belarus'* [Actual issues of sustainable nature management: scientific and methodological support and practical solution. Proceedings of the International scientific and practical conference devoted to the 60<sup>th</sup> anniversary of the Research Institute of Landscape Ecology of the faculty of geography and geoinformatics of the Belarusian State University; 2022 November 9–11; Minsk, Belarus]. Minsk: Belarusian State University; 2022. p. 139–142. Russian.
5. Vaganov EA, Pleshikov FI. [Forest monitoring system as a basis for their rational use and sustainable development]. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*. 1998;5(1):3–8. Russian.
6. Auclair AND, Lill JT, Revenga C. The role of climate variability and global warming in the dieback of Northern Hardwoods. *Water, Air and Soil Pollution*. 1996;91(3–4):163–186.
7. Boryczka J, Stopa-Boryczka M. Natural and anthropogenic changes of climatic in Europe. *Acta Universitatis Carolinae. Geographica*. 1997;32:57–64.
8. Fisher M. Decline in the juniper woodlands of Raydah Reserve in southwestern Saudi Arabia: a response to climate changes? *Global Ecology and Biogeography Letters*. 1997;6(5):379–386. DOI: 10.2307/2997338.
9. Holtmeier F-K. *Mountain timberlines: ecology, patchiness, and dynamics*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 2003. 369 p. (Advances in Global Change Research; volume 14).
10. Hüttl RT, Schneider BU, Farrell EP. Forests of the temperate region: gaps in knowledge and research needs. *Forest Ecology and Management*. 2000;132(1):83–96. DOI: 10.1016/S0378-1127(00)00381-9.
11. Gramer H, Gramer-Middendorf M. Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Schadensperioden und Klimafaktoren in mitteleuropäischen Forsten seit 1851. *Pflanzenschutz Nachrichten Bayer*. 1984;37(2):208–334.
12. Korpel S. Dinamika prirodneho smrekoveho lesa v zapadnych Tatrach na priklade SPR Kotlový Zlab. *Zbornik prac o Tatranskom narodnom parku*. 1993;33:193–225.
13. Kullman L. Recent cooling and recession of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the forest-alpine tundra ecotone of the Swedish Scandes. *Journal of Biogeography*. 1996;23(6):843–854.
14. Lebourgeois F. Climatic signals in earlywood, latewood and total ring widths of Corsican pine from western France. *Annals of Forest Science*. 2000;57(2):155–164. DOI: 10.1051/forest:2000166.
15. Parmesan C, Yohe G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*. 2003;421:37–42. DOI: 10.1038/nature01286.
16. Schweingruber F. *Tree-rings and environment. Dendroecology*. Berne: Paul Haupt; 1996. 609 p.
17. Treter U. Dendroökologische Untersuchungen in Flechten-Fichten-Waldland in Zentral-Labrador (Ungava, Kanada). *Heidelberger Geographische Arbeiten*. 1996;104:529–542.
18. Beketov AN. [On the influence of climate on the growth of pine and spruce]. In: Beketov AN, editor. *Trudy Pervogo s'ezda russkikh estestvoispytatelei v Sankt-Peterburge, proiskhodivshogo s 28 dekabrya 1867 po 4 yanvarya 1868 g. Otdelenie botaniki* [Proceedings of the First congress of Russian naturalists in Saint Petersburg, which took place from 1867 December 28 to 1868 January 4. Department of botany]. Saint Petersburg: Tipografiya Imperatorskoi akademii nauk; 1868. p. 111–163. Russian.

19. Douglass AE. *Tree-rings and chronology*. Tucson: University of Arizona; 1937. 36 p. (University of Arizona Bulletin; volume 8, No. 4).
20. Fritts HC. *Tree-rings and climate*. London: Academic Press; 1976. 567 p.
21. Kiselev VN, Chubanov KD. *Landshaftno-ekologicheskie issledovaniya Belorusskogo Poles'ya* [Landscape-ecological studies of the Belarusian Polesie]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1979. 104 p. Russian.
22. Smolyak LP, Bolbotunov AA, Romanov VS. [Relief influence on the variability of radial growth of pine]. In: Kairyukshtis LA, editor. *Dendrokronologiya i dendroklimatologiya* [Dendrochronology and dendroclimatology]. Novosibirsk: Nauka; 1986. p. 114–122. Russian.
23. Petrov EG. *Vodnyi rezhim i produktivnost' lesnykh fitotsenozov na pochvakh atmosfernogo uvlazhneniya* [Water regime and productivity of forest phytocenoses on soils of atmospheric moistening]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1983. 213 p. Russian.
24. Kiselev VN, Matsiusheuskaya KV. *Ekologiya eli* [Ecology of a spruce tree]. Loginov VF, editor. Minsk: Belarusian State University; 2004. 217 p. Russian.
25. Kiselev VN, Matsiusheuskaya KV, Yarotov AE, Mitrakhovich PA. *Khvoynye lesa Belarusi v sovremennykh klimaticheskikh usloviyakh (dendroklimaticheskii analiz)* [Coniferous forests of Belarus in modern climatic conditions (dendroclimatic analysis)]. Kiselev VN, editor. Minsk: Pravo i ekonomika; 2010. 202 p. Russian.
26. Demakov YuP. *Diagnostika ustoychivosti lesnykh ekosistem (metodologicheskie i metodicheskie aspekty)* [Diagnostics of stability of forest ecosystems (methodological and methodological aspects)]. Ioshkar-Ola: Periodika Marii El; 2000. 416 p. Russian.
27. Voeikov AI. [Climate of Polesie]. In: Zhilinskii II, compiler. *Prilozheniya k ocherku rabot Zapadnoi ekspeditsii po osusheniyu bolot, 1873–1892 gg.* [Appendices to the Sketch of the western expedition to drain the swamps, 1873–1892]. Saint Petersburg: Izdanie Ministerstva zemledeliya i gosudarstvennykh imushchestv; 1899. p. 1–132. Russian.
28. Kiselev VN, Matsiusheuskaya KV, Yarotov AE, Mitrakhovich PA. [Peculiarities of radial growth of pine on the upland bogs of Belarusian Polesie]. *Vesci BDPU. Series 3, Physics. Mathematics. Informatics. Biology. Geography*. 2010;3:35–39. Russian.
29. Bokov VN, Vorobyev VN. Variability of atmospheric circulation and variability of a climate. *Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University*. 2010;13:83–88. Russian.
30. Girs AA. *Mnogoletnie kolebaniya atmosfernoj tsirkulyatsii i dolgosrochnye meteorologicheskie prognozy* [Multiyear variations of atmospheric circulation and long-term meteorological forecasts]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1971. 280 p. Russian.
31. Matsiusheuskaya KV. *Faktory izmenchivosti radial'nogo prirosta derev'ev* [Factors of tree radial growth variability]. Kiselev VN, editor. Minsk: Belarusian State University; 2017. 231 p. Russian.
32. Matsiusheuskaya KV, Dorozhko NV. Volcanic eruptions as a factor of variability of pine stem productivity in the upper swamps of Belarus. In: Fartyshev AN, editor. *Siberia and the Far East of Russia in the emerging space of Greater Eurasia. Proceedings of the 20<sup>th</sup> anniversary scientific conference (with international participation) of young geographers of Siberia and the Far East; 2021 May 24–29; Irkutsk, Russia*. Irkutsk: Izdatel'stvo Instituta geografii imeni V. B. Sochavy SO RAN; 2021. p. 60–63. Russian.

Получена 02.05.2023 / исправлена 21.09.2023 / принята 27.09.2023.  
Received 02.05.2023 / revised 21.09.2023 / accepted 27.09.2023.