
ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

УДК 582.47:634.0.56(476)

АДАПТАЦИЯ СОСНЫ (*PINUS SYLVESTRIS*) К СОВРЕМЕННЫМ ЭКОЛОГИЧЕСКИМ РЕАЛИЯМ В БЕЛОРУССКОМ ПОЛЕСЬЕ

Е. В. МАТЮШЕВСКАЯ¹⁾, В. Н. КИСЕЛЕВ¹⁾, А. Е. ЯРОТОВ¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет,
пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Показаны результаты исследования современного состояния сосны (*Pinus sylvestris*) на Белорусском Полесье после завершения мелиоративного освоения болот и заболоченных земель в сельскохозяйственных целях. Особую остроту приобрела проблема ее адаптации к изменившимся гидрогеологическим реалиям полугидроморфного песчаного эдафотоп в изменяющихся климатических условиях. В качестве выявления ее адаптационных способностей использован максимальный, средний и минимальный радиальный прирост современных поколений сосны в Белорусском Полесье. Доказано, что адаптация сосны к изменяющимся климатическим условиям после завершения

Образец цитирования:

Матюшевская ЕВ, Киселев ВН, Яротов АЕ. Адаптация сосны (*Pinus sylvestris*) к современным экологическим реалиям в Белорусском Полесье. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2020;4:10–18.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-4-10-18>

For citation:

Matsiushevskaya KV, Kisialiou V N, Jarotau AY. Adaptation of scots pine (*Pinus sylvestris*) to modern environmental realities in the Belarusian Polesie. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2020;4:10–18. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-4-10-18>

Авторы:

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

Виктор Никифорович Киселев – доктор географических наук, профессор; научный консультант кафедры физической географии мира и образовательных технологий.

Алексей Евгеньевич Яротов – кандидат географических наук; доцент кафедры физической географии мира и образовательных технологий.

Authors:

Katsiaryna V. Matsiushevskaya, PhD (geography), docent; head of the department of physical geography of the world and educational technologies.

katerina.vn@gmail.com

Victar N. Kisialiou, doctor of science (geography), full professor; scientific consultant of the Department of physical geography of the world and educational technologies.

kiselev-vn@yandex.ru

Alaksey Ya. Jarotau, PhD (geography), docent; associate professor at the department of physical geography of the world and educational technologies.

dehrono@mail.ru

осушительной мелиорации выразилась в снижении радиального прироста во второй половине XX в. и в начале XXI в. Установлено, что при чувствительности к изменчивости условий увлажнения полугидроморфного эдафотопы как атмосферными осадками, так и грунтовыми водами, сосняк черничный демонстрирует большую адаптационную приспособляемость к изменившемуся почвенно-грунтовому водному фактору после осушительной мелиорации в динамичных климатических условиях в Белорусском Полесье. Выявлено, что потенциальные возможности для нарастания стволовой массы (максимального, среднего и минимального радиального прироста) деревьев сосняка черничного сокращаются в 1,5 раза при понижении грунтовых вод до 1,6–2,0 м от исходного уровня 0,35–0,5 м. Отмечено, что оптимальным для древостоя является майский уровень грунтовых вод 0,6 м, хотя не исключается его угнетение при обильных атмосферных осадках.

Ключевые слова: Белорусское Полесье; сосна; адаптация; климат; мелиорация; радиальный прирост.

ADAPTATION OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS*) TO MODERN ENVIRONMENTAL REALITIES IN THE BELARUSIAN POLESIE

K. V. MATSIUSHEVSKAYA^a, V. N. KISIALIOU^a, A. YA. JAROTAU^a

^aBelarusian State University,
4 Niezaliežnasci Avenue, 220030 Minsk, Belarus
Corresponding author: K. V. Matsiusheuskaya (katerina.vm@gmail.com)

The results of a study of the current state of pine (*Pinus sylvestris*) in the Belarusian Polesie after the completion of reclamation development of swamps and wetlands for agricultural purposes are shown. The problem of its adaptation to the changed hydrogeological realities of a semihydromorphic sand edaphotope in changing climatic conditions has become particularly acute. The maximum, average and minimum tree-ring growth of modern generations of pine in the Belarusian Polesie was used to identify its adaptive abilities. It is proved that the adaptation of pine trees to changing climatic conditions after the completion of drainage reclamation resulted in a decrease in tree-ring growth in the second half of the twentieth century and in the beginning of the twenty-first century. It was found that sensitive to the variability of the conditions of humidification of the semihydromorphic edaphotope, both by atmospheric precipitation and ground water, blueberry pine forest demonstrates greater adaptive adaptability to the changed soil-ground water factor after drainage reclamation in dynamic climatic conditions in the Belarusian Polesie. It was found that the potential for stem mass growth (maximum, average and minimum tree-ring growth) of blueberry pine forest trees is reduced by 1.5 times when the ground water is lowered to 1.6–2.0 m from the initial level of 0.35–0.5 m. It is noted that the May ground water level of 0.6 m is optimal for the stand, although its suppression is not excluded during heavy precipitation.

Keywords: Belarusian Polesie; pine; adaptation; climate; land reclamation; tree-ring growth.

Введение

Современные напряженные экологические реалии Белорусского Полесья, являющегося самым южным лесо-болотным сегментом европейских полесий, которые отражены в состоянии его лесного фонда, имеют достаточно длительную историю своего возникновения. Они – порождение почти трехвековой практически повсеместной вырубке лесов и крупномасштабной осушительной мелиорации (после аварии на Чернобыльской АЭС добавилось радиоактивное загрязнение). Колонизация Россией Причерноморья, потребность Черноморского флота и экспорт леса на лесотоварные биржи в Сардинии, Мальте и Марселе – основные причины истощения к середине XIX в. лесных ресурсов Полесья – одного из ведущих лесопромышленных районов России [1].

Начиная с этого времени нарастание экологических проблем Полесья происходило в несколько этапов. После вырубки лесов вдоль рек и уже существовавших каналов возникла необходимость в дополнительных лесосплавных каналах. Эту задачу решила Западная экспедиция И. И. Жилинского по осушению болот (1873–1898 гг.), одновременно создав предпосылки для развития сельского хозяйства. Не имевшая в мире аналогов по масштабам осушительная мелиорация в Полесье породила острую дискуссию о ее последствиях для самого региона, водности Днепра и климата земледельческой части европейской России [2].

Возобновившаяся в первом десятилетии XX в. вырубка лесов и осушительная мелиорация имели значительно меньшие масштабы, которые увеличились в 1920–1930 гг.

Взросшее до предела эксплуатация лесных ресурсов, начавшаяся с 1945 г. (для восстановления народного хозяйства Белоруссии и Украины), интенсификация использования освоенных болот и заболоченных земель в сельскохозяйственных целях, обострило возникшие экологические проблемы в результате

крупномасштабной водно-земельной мелиорации, вырубкой лесов и потерей истощенных сельскохозяйственных угодий («сырых песков»), оказавшихся в зоне снижения приповерхностных грунтовых вод [3].

Одной из наиболее значимых возникла проблема адаптации формации сосны – важнейшей лесобразующей породы в регионе к изменившимся гидрогеологическим условиям произрастания в современной климатической динамике. Ведущее положение в ней занимает сосняк черничный на полугидроморфном эдофотопе, наиболее подверженном изменению глубины залегания приповерхностных грунтовых вод. Цель исследования заключалась в выяснении причин изменчивости его стволовой продуктивности после завершения мелиоративных работ в изменяющихся погодно-климатических условиях.

Материалы и методы исследования

Для выявления состояния и ресурсного потенциала в нарастании стволовой массы сосняка черничного привлечен текущий максимальный, средний и минимальный радиальный прирост 75 образцов (кернов), отобранных деревьев при исключении их взаимного влияния на высоте 1,3 м у насаждений на песчаных междуречьях канализированных рек Ипы, Виши, Тремли и Нератовки (Октябрьский и Светлогорский лесхозы) с удалением до 1,0 км от используемых в сельском хозяйстве осушенных земель. Они объединены в разновозрастные серии: в возрасте 145 лет – 17 образцов (диаметр 56–72 см), 115 – 20 (40–52 см), 95 – 10 (20–28 см), 75 – 16 (34–40 см) и 65 лет – 12 (34–40 см). Генерация этих современных поколений древостоя прямо или косвенно связана со временем осушения болот и рубок леса: в возрасте 145 лет – в 1873–1878 гг., 115 лет – в 1901–1910 гг., 95 лет – в 1920–1930 гг., 75 и 65 лет – после 1945 г.

Водно-земельные мелиорации на территории исследования окончательно завершены в 1952 г. (мелиоративный объект «Ипа–Виша») с последующей реконструкцией осушительной сети в 1952 г. (объект «Нератовка») [3]. Грунтовые воды в мае оказались на глубине 1,6 м у 145-летнего поколения, 2,1 м – у 115- и 95-летнего, 0,6 м – у 75- и 65-летних поколений. Методической предпосылкой достижения поставленной цели послужили основные положения дендроклиматических исследований [4–10]. Сложность анализа взаимосвязи радиального прироста с погодно-климатическими условиями такова, что, несмотря на ее известность с середины XIX в., эта проблема не может считаться решенной [11]. Потребность проведения данных целенаправленных исследований в лесах умеренного климатического региона определяется проблемами в знаниях [12].

Результаты исследования и их обсуждение

Выполненные в первой половине 1970-х гг. исследования привели к выводу, что изменения в продуцировании древесной массы нельзя объяснить только действием осушительной мелиоративной сети, так как на него могли оказать влияние возникавшие климатические аномалии. Если выявленная тенденция к снижению прироста массы сохранится, потери, вероятно, могут возрасти с изменением климата [13]. После этих исследований прошло 40 лет, в течение которых стабилизировался понижавшийся уровень грунтовых вод, изменился климат и, главное, лесные экосистемы развиваются в новых экологических условиях. Сосняки черничные выступают индикаторами этих последствий (изменение стволовой продуктивности лесов) в изменившемся климате и под влиянием, ведущего для этого региона антропогенного фактора – уже завершенной осушительной мелиорации.

За историю инструментальных метеорологических наблюдений, начиная с 1879 г., в региональном климате Белорусского Полесья прослеживаются две эпохи [14]: холодная влажная до резкого похолодания в начале 1940-х гг.) и температурно неустойчивая с сокращением осадков с фазами похолодания и потепления (до и после 1977 г.). Потепление после 1998 г. с предыдущих позиций оказалось более выраженным с различающимися десятилетиями (до и после 2009 г.): с увеличением увлажненности (в среднем до 680 мм осадков за год) и последовавшим ее уменьшением (до 499 мм).

В многолетней изменчивости максимального и среднего радиального прироста сосны отражены особенности нарастания ее стволовой массы до и после осушительной мелиорации при разных метеорологических условиях (рис. 1). Наиболее примечательной является динамика старейшей 145-летней группы деревьев, рост и развитие которой было более продолжительным до завершения мелиоративных работ в 1952 г. по сравнению с менее возрастными сериями.

Угнетение в начале роста этого поколения вероятно связано с самым холодным одиннадцатилетием 1883–1893 гг., при которых температура в среднем за год ($6,0^{\circ}\text{C}$) и безлиственный период ($-0,8^{\circ}\text{C}$) имели наименьшие значения (табл. 1). Максимальный радиальный прирост увеличился при потеплении в 1894–1904 гг. В эти годы среднегодовая температура возросла до $6,4^{\circ}\text{C}$ и до начала 1940-х гг. оставалась неизменной. Средний серийный прирост не столь заметно возрос (табл. 1).

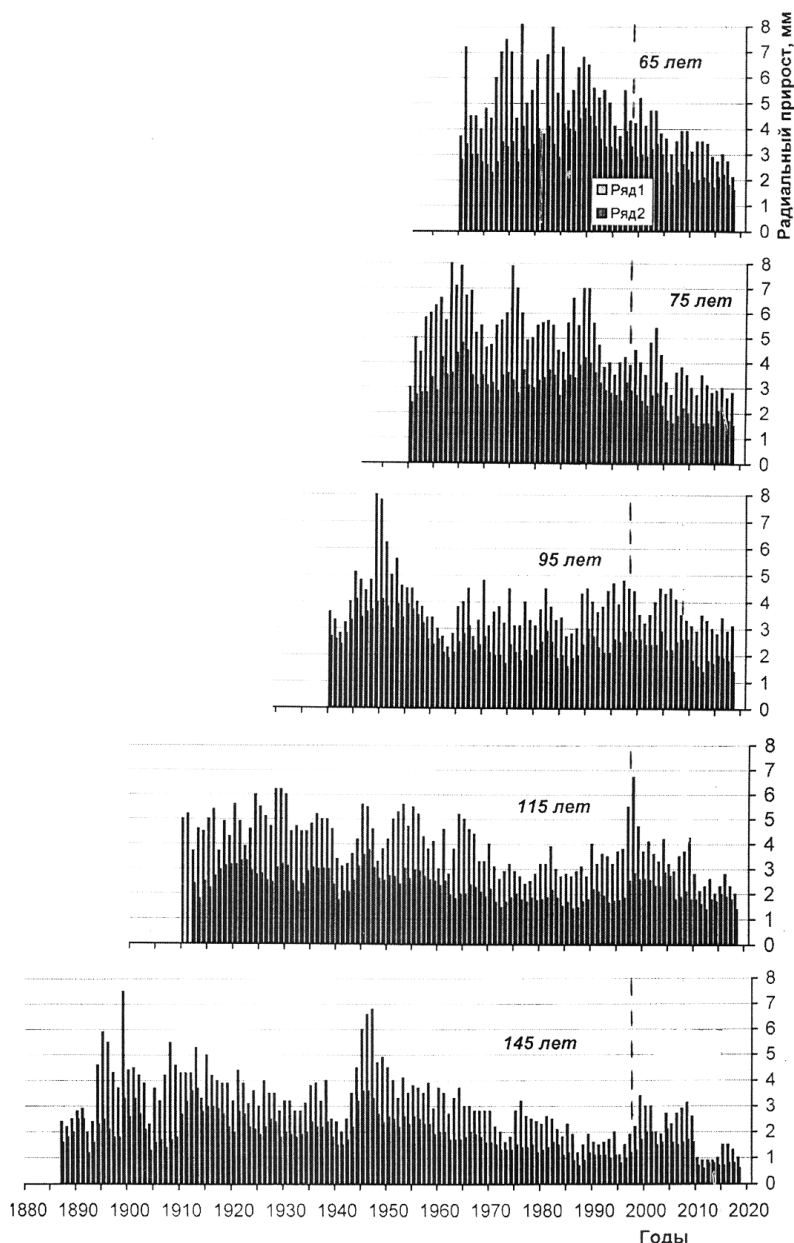


Рис. 1. Многолетний ход изменчивости максимального (ряд 1) и среднего (ряд 2) радиального прироста возрастных серий сосняка черничного. Вертикальной штриховой линией показан 1998 г.

Fig. 1. Long-term variability of the maximum (row 1) and average (row 2) radial growth of age series of blueberry pine. The vertical dashed line shows 1998

Депрессия этих двух показателей стволовой продуктивности наступила в 1905 г. и у среднего продолжалась до 1910 г. Рекордное за весь период метеонаблюдений выпадение осадков в 1905–1910 гг. (в среднем за год 804 мм, за месяцы безлиственного периода 395 мм, вегетационного 409 мм) при краткосрочном похолодании этого периода ($-0,5^{\circ}\text{C}$) не могло не привести к подтоплению корневой системы сосны при естественном неглубоком залегании грунтовых вод, что и вызвало угнетение древостоя. Однако этот погодный фактор не у всех деревьев вызвал однозначную реакцию даже при условии его экстремального проявления.

По всей видимости, температурный фактор месяцев безлиственного периода оказывался более значимым для стволовой продуктивности и состояния сосняка черничного, чем гидрометеорологический. Потепление в октябре–апреле десятилетия 1911–1921 гг. активизировало продукционный процесс в нарастании стволовой массы, несмотря на снижение средней температуры за вегетационные месяцы (до $15,0^{\circ}\text{C}$) и месяцы активного роста ($14,6^{\circ}\text{C}$) и сокращением осадков (до 745 мм).

Таблица 1

Метеорологические условия лет угнетения (выделены полужирным курсивом) и увеличения максимального и среднего радиального прироста деревьев в 145-летнем сосняке черничном

Table 1

Meteorological conditions of the years of oppression (highlighted in bold italics) and the increase in the maximum and average radial growth of trees in the 145-year-old blueberry pine forest

Годы	Температура, t °C				Осадки, мм			
	X–IV	V–VI	V–IX	Год	X–IV	V–VI	V–IX	Год
<i>1887–1893</i>	<i>-0,8</i>	<i>15,5</i>	<i>15,7</i>	<i>6,0</i>	–	–	–	–
1894–1904	-0,3	15,2	15,6	6,4	291	157	382	673
<i>1905–1910</i>	<i>-0,5</i>	<i>16,2</i>	<i>15,9</i>	<i>6,4</i>	<i>395</i>	<i>149</i>	<i>409</i>	<i>804</i>
1911–1920	0,1	14,6	15,0	6,4	361	133	384	745
<i>1921–1939</i>	<i>-0,6</i>	<i>15,4</i>	<i>15,9</i>	<i>6,3</i>	<i>297</i>	<i>142</i>	<i>382</i>	<i>679</i>
<i>1940–1942</i>	<i>-3,1</i>	<i>13,9</i>	<i>15,2</i>	<i>5,1</i>	–	–	–	–
1943–1952	-0,2	15,2	15,4	6,4	245	122	292	537
<i>1953–1960</i>	<i>-0,8</i>	<i>15,4</i>	<i>15,8</i>	<i>6,4</i>	<i>262</i>	<i>131</i>	<i>347</i>	<i>609</i>
<i>1961–1998</i>	<i>0,1</i>	<i>15,6</i>	<i>15,8</i>	<i>6,6</i>	<i>286</i>	<i>138</i>	<i>348</i>	<i>634</i>
1999–2009	1,5	15,5	16,4	7,7	351	127	324	680
<i>2010–2019</i>	<i>1,4</i>	<i>16,7</i>	<i>17,2</i>	<i>8,0</i>	<i>279</i>	<i>90</i>	<i>220</i>	<i>499</i>

В двадцатилетнее (1921–1939 гг.) с похолоданием безлиственного периода (до -0,6 °C) максимальный и средний радиальный прирост оказались более низкими без резких метрических возмущений, чем при предыдущем менее холодным 10-летнем временным отрезком. Средний радиальный прирост оказался в прямой корреляционной связи ($r = 0,48$ при $P = 0,05$) с осадками этих безлиственных месяцев, которых выпало на 99 мм меньше, чем в 1905–1910 гг.

Явным подтверждением лимитирующего влияния низких температур безлиственного периода на стволовую продуктивность сосняка черничного при естественном режиме питающих грунтовых вод служит резко выраженная депрессия радиального прироста не только у 145-летнего поколения, но и у 115-летнего в аномально холодных 1940–1942 гг. Средняя температура морозного безлиственного периода была самой низкой в XX в. (-3,1 °C). Скачкообразное похолодание распространилось на месяцы вегетационного периода (15,2 °C) и, особенно, на май и июнь (13,9 °C). Это трехлетие оказалось наиболее холодным в XX в. – среднегодовая температура составила только 5,1 °C.

Деревья 115 лет до начала 1940-х гг. не испытывали столь заметных возмущений в дендрометрических рядах, как их старшее поколение в сопоставимом возрасте (после 1910 г.). Их осредненный максимальный радиальный прирост (5,0 мм) превышал такой показатель у 145-летней серии (3,4 мм). Его среднее значение отвечало этому различию (2,8 и 2,2 мм соответственно). Между этими поколениями отсутствовала синхронность в изменчивости текущего среднего радиального прироста ($r = -0,26$). Различие в меньшем значении этих двух показателей стволовой продуктивности (максимальной и средней) возникло в результате негативной реакции 145-летнего поколения на температурные условия безлиственного периода.

После температурного провала 1940–1942 гг. среднегодовое количество осадков до 1998 г. на Полесье резко уменьшилось, наступивший климат оказался относительно засушливым (свежим по лесоводственно-экологической типологии [15]) и, как отмечалось, температурно неустойчивым (возросла амплитуда среднегодовой температуры воздуха), но несколько теплее предшествующего.

В возникших климатических условиях и при дальнейшем потеплении климата после 1998 г., судя по достоверности коэффициентов корреляции Спирмена (табл. 2), у 145-, 115- и 95-поколений сосны возникла синхронность в погодичной изменчивости как максимального, так и среднего радиального прироста. Она не распространилась на 75- и 65-летние серии, у которых нарастание стволовой массы за эти годы оказалась синхронной только между ними. Причина этого совпадения или несовпадения заключена в условиях водного питания – в глубине залегания грунтовых вод после осушительной мелиорации.

В 1943–1952 гг., до завершения осушительной мелиорации, показатели стволовой продуктивности сосны значительно возросли у 145-летних деревьев и особенно у 95-летних, достигнув предельных значений (см. рис. 1). Вероятная причина не столько в возникшем потеплении безлиственного периода (до -0,2 °C), сколько в сокращении осадков (за гидрологический год на 142 мм, за безлиственный период на 64 мм), снизившем переувлажненность эдафотопы.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции Спирмена максимального и среднего радиального прироста между возрастными сериями деревьев сосняка черничного в 1943–2018 гг.

Table 2

Spearman's correlation coefficients of maximum and average tree-ring growth between age series of blueberry pine forest trees in 1943–2018

Возраст, лет	Коэффициент корреляции							
	максимального радиального прироста				среднего радиального прироста			
	Возраст, лет							
	115	95	75	65	115	95	75	65
145	0,60	0,48	0.30	0,14	0,87	0,83	0,28	0,15
115	–	0,48	0,18	0,07	–	0,84	0,06	0,10
95	–	–	-0,05	0,14	–	–	0,23	0,26
75	–	–	–	0,58	–	–	–	0,80

Угнетение сосняка черничного в период его приспособления к изменяющимся условиям грунтового увлажнения после осушительной мелиорации при заметном похолодании безлиственного периода (до -0,8 °C) завершилось депрессией радиального прироста в засушливом 1960 г. (421 мм осадков), наиболее четко заметное у 95-летнего поколения. Малое выпадение осадков особенно за октябрь–апрель (176 мм), усугубило в последующем эту ситуацию.

После ввода мелиоративной сети в эксплуатацию в 1952 г. возможность реализации сосной потенциала стволовой продуктивности у возрастных поколений в 145, 115 и 95 лет сократилась до 1998 г.: максимальный и средний радиальный прирост уменьшились почти в 1,5 раза (табл. 3). В насаждении с 75- и 65-летними деревьями, под которыми снижение грунтовых вод не было столь значительным, как у старших поколений (0,6 м по сравнению с 1,6–2,1 м), показатель потенциала стволовой продуктивности до этого года (5,5–5,7 мм) превосходил его у более возрастных поколений (3,9–4,8 мм). Средний радиальный прирост, хотя и незначительно, также оказался больше (3,3–3,5 мм и 2,3–3,3 мм соответственно).

Таблица 3

Сравнительное соотношение осредненных максимального и среднего радиального прироста возрастных серий деревьев сосняка черничного по временным отрезкам с разными климатическим условиям до и после осушительной мелиорации

Table 3

Comparative ratio of the average maximum and average tree-ring growth of age series of blueberry pine forest trees over time periods with different climatic conditions before and after drainage reclamation

Возраст, лет	Осредненные значения, мм							
	максимального радиального прироста				среднего радиального прироста			
	До 1952 г.	1953–1998 гг.	1999–2009 гг.	2010–2018 гг.	До 1952 г.	1953–1998 гг.	1999–2018 гг.	2010–2018 гг.
145	3,9	2,5	2,9	1,2	2,3	1,5	2,5	0,7
115	4,7	3,6	3,7	2,3	2,8	2,1	2,4	1,7
95	4,8	3,7	3,9	2,5	3,3	2,5	3,1	1,7
75	–	5,5	3,9	2,2	–	3,3	2,9	1,7
65	–	5,7	4,1	2,7	–	3,5	3,0	1,9

Корреляционный анализ показал, что функция отклика сосны на метеорологические факторы после завершения осушительной мелиорации определялась возрастом древостоя и глубиной нахождения грунтовых вод (табл. 4). У всех исследованных возрастных групп существовала отрицательная корреляция с температурой (у 145- и 75-летних поколений статистически значимая за месяцы безлиственного периода при $P = 0,05$). В частности, заметно выраженная депрессия радиального прироста у 145-, 115- и 95-летних поколений в 1987 г. (после аварии на Чернобыльской АЭС в апреле 1986 г.) могла быть вызвана одним из резких похолоданий (-2,7 °C) за всю историю инструментальных наблюдений безлиственного периода и всего года (4,7 °C).

Таблица 4

Коэффициенты корреляции Спирмена максимального радиального прироста
возрастных серий сосны в сосняке черничном в 1953–2018 гг. после осушительной мелиорации

Table 4

Spearman's correlation coefficients of the maximum tree-ring growth
of pine age series in blueberry pine forest in 1953–2018 after drainage reclamation

Возраст, лет	Коэффициент корреляции							
	с t °C				с осадками			
	Месяцы							
	X–IV	V–VI	V–IX	Год	X–IV	V–VI	V–IX	Год
145	-0,31	-0,18	-0,22	-0,33	-0,03	-0,12	-0,01	-0,05
115	-0,18	-0,12	-0,12	-0,15	0,06	-0,04	0,20	0,17
95	0,09	-0,08	-0,04	0,03	0,24	0,13	0,31	0,42
75	-0,31	-0,14	-0,31	-0,35	-0,31	-0,23	-0,03	-0,29
65	-0,09	-0,11	-0,34	-0,22	-0,40	0,06	-0,24	-0,16

Наиболее чувствительное лимитирующее влияние осадков за безлиственный период сказалось для насаждений с 75- и 65-летними деревьями (при $P = 0,05$ и $P = 0,01$). Очевидная причина заключена в возникшем подтоплении корневой системы в результате подъема грунтовых вод после осадков за октябрь – апрель. Потепление после 1998 г. не оказалось однородным в гидротермическом отношении, что по-разному отразилось на стволовой продуктивности сосняка черничного в зависимости от увлажнения грунтовыми водами. Увеличение осадков в 1999–2009 гг. (в среднем за месяцы безлиственного периода до 351 мм, за год до 680 мм) активизировало радиальный прирост (максимальные и средние показатели) у старших поколений сосны с глубоким залеганием грунтовых вод по сравнению с предшествующими годами (см. табл. 4). У насаждений с неглубоким залеганием грунтовых вод (возраст 75 и 65 лет) продолжалось поступательное снижение радиального прироста.

После 2009 г. возникло общее угнетение для всех поколений сосны независимо от глубины залегания грунтовых вод, выразившееся в подавлении потенциала стволовой продуктивности до наименьших значений за все время роста и развития насаждений.

При продолжающемся после этого года потеплении климата неблагоприятные лесорастительные условия усилились аномально холодными и малоснежными зимними месяцами: января в 2010 г. (-11,4 °C, 26 мм осадков), 2014 г. (-6,7 °C, 26 мм), 2016 г. (-8,1 °C, 27 мм), февраля в 2011 г. (-11,7 °C, 27 мм) и 2012 г. (-11,9 °C, 68 мм), что вызвало дальнейшее сокращение увлажненности эдафотопы. За 2010–2018 гг. осадки в среднем за год уменьшились до 499 мм (за май–июнь до 90 мм, май–сентябрь до 220 мм и за октябрь–апрель до 279 мм). Особо засушливым за всю историю инструментальных наблюдений оказалось пятилетие 2014–2018 гг. со среднегодовым количеством осадков 331 мм (47 мм, 150 мм и 181 мм соответственно месяцам, привлеченных для дендроклиматического анализа).

Таким образом, суммация возникших при потеплении климата неблагоприятных гидротермических условий с последствиями снижения грунтовых вод в результате осушительной мелиорации явилась причиной снижения продукционного потенциала в нарастании стволовой массы сосняка черничного. Изменчивость радиального прироста на высоте отбора образцов (1,3 м) вызывается не только климатическими факторами, как это представляется [16], но и антропогенным вмешательством в водное питание ценоза.

Одно только сокращение осадков в изменяющихся климатических условиях не могло привести к данному результату. Как показали исследования, у сосняка черничного в возрасте от 95 до 175 лет без вмешательства мелиоративных работ в гидрогеологическую обстановку, при неизменной глубине нахождения грунтовых вод такого падения радиального прироста не прослеживается: его временные ряды имели вид ломаной линии, у которой присутствуют только годовичные малоамплитудные (до 1,5 мм) подъемы и падения [14]. Выявленное сокращение стволовой продуктивности сосны на полугидроморфном эдафотопе после 1952 г. является прежде всего следствием именно антропогенного фактора (осушительной мелиорации), усиленного изменившимися климатическими условиями. Исследуемая измененная мелиорацией территория Полесьяполнила перечень природно-антропогенных ландшафтов Беларуси [17].

Многолетняя динамика минимального радиального прироста уточняет реакцию сосны на понижение грунтовых вод в результате осушительной мелиорации (рис. 2). Наибольшее угнетение минимального прироста у сосен старших поколений (145, 115 и 95 лет) в погодичной изменчивости наступало в разные годы. Наиболее контрастно выраженным оно оказалось у 95-летнего поколения в 1970 г. Следует указать, что до этого года у всех серий отмечено только несколько эпизодов минимального индивидуального радиального прироста, за которыми не последовало постоянное его угнетение.

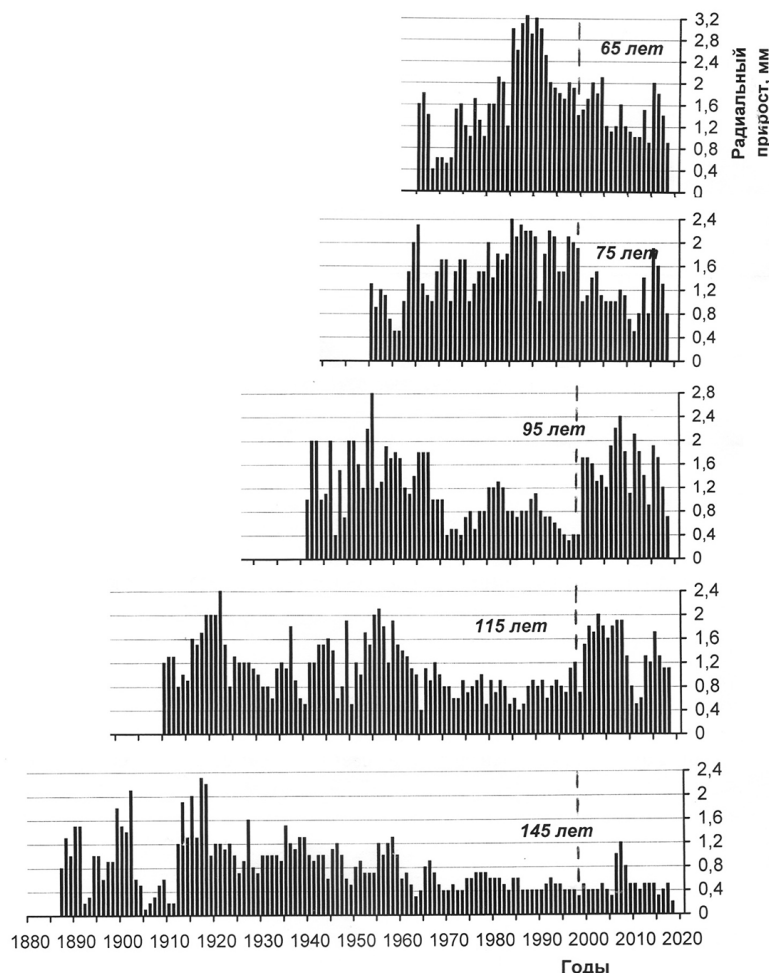


Рис. 2. Многолетний ход изменчивости минимального радиального прироста возрастных серий сосняка черничного

Fig. 2. Long-term course of variability of the minimum radial growth of the blueberry pine series

Именно во временном отрезке от 1970 г. до 1998 г. минимальный радиальный прирост деревьев этих серий в среднем значении опустился до предельно низких показателей (0,5–0,8 мм) в погодно-климатических условиях после осушительной мелиорации по сравнению с предшествовавшими годами (0,8–1,5 мм). У 75- и 65-летнего поколений он, наоборот, увеличился до 1,7–1,9 мм и имел большее значение как до (1,1–1,2 мм), так и после (1,2–1,4 мм) этих лет. В данном случае неглубокое залегание грунтовых вод (0,6 м) явилось оптимальным для реализации сосной потенциала стволовой продуктивности по сравнению с понизившимися до 1,6–2,1 м в результате осушительной мелиорации у более возрастных серий, оказавшихся под воздействием естественных (климатических) и антропогенного (осушительная мелиорация) факторов.

Альтернативность в динамике минимального радиального прироста в возникших условиях грунтового водного питания сохранилась при увеличении осадков в начале потепления климата после 1998 г. У 115-летних и 95-летнего поколения он увеличился до значений 1943–1970-х гг. (1,4–1,5 мм), оставаясь неизменным у 145-летних деревьев (0,5 мм). Угнетенность возникла у средневозрастных 75- и 65-летних деревьев (1,2–1,4 мм).

Заключение

При чувствительности к изменчивости условий увлажнения полугидроморфного эдафотопы как атмосферными осадками, так и грунтовыми водами, сосняк черничный продемонстрировал большую адаптационную приспособляемость к изменившемуся почвенно-грунтовому водному фактору после осушительной мелиорации в динамичных климатических условиях в Белорусском Полесье. Его потенциальные возможности для нарастания стволовой массы (максимального, среднего и минимального радиального прироста) сократились в 1,5 раза в результате понижения грунтовых вод до 1,6–2,0 м (при исходном уровне 0,35–0,5 м). Оптимальным для древостоя является майский уровень грунтовых вод 0,6 м, хотя не исключается его угнетение при обильных атмосферных осадках.

Библиографические ссылки

1. Зеленский И. *Материалы для географии, статистике России, собранные офицерами Генерального штаба: Минская губерния*. Санкт-Петербург: Военная типография. 1864. 701 с.
2. Жилинский ИИ. *Очерк работ Западной экспедиции по осушению болот (1873–1898)*. Санкт-Петербург: Издание Министерства земледелия и государственных имуществ. 1899. 744 с.
3. Киселев ВН. *Белорусское Полесье: экологические проблемы мелиоративного освоения*. Минск: Наука и техника; 1987. 154 с.
4. Douglass AE. Climatic cycles and tree growth. Washington: Carnegie Institution; 1936. Volume 3. 289 p.
5. Битвинский ТТ. *Дендроклиматические исследования*. Ленинград: Гидрометеиздат; 1974. 172 с.
6. Fritts HC. Tree rings and climate. London: Academic Press; 1976. 567 p.
7. Шиятов СГ, Ваганов ЕА. Методические основы организации системы дендроклиматического мониторинга в лесах азиатской части России. *Сибирский экологический журнал*. 1998;5(1):31–38.
8. Ваганов ЕА, Плешиков ФИ. Система мониторинга лесов как основа их рационального использования и устойчивого развития. *Сибирский экологический журнал*. 1998;5(1):3–8.
9. Cook ER, Kairiukstis LA. Methods of Dendrochronology. Applications in Environmental Scientists. Boston, London: Kluwer Academic Publishers; 1990. p. 46–80.
10. Rubino DL, McCarthy DL. Comparative analysis of dendroecological method used to assess disturbance events. *Dendrochronologia*. 2004;21:97–115.
11. Вишнякова ТВ. *Индикация тепловлагообеспеченности по радиальному приросту деревьев, применительно к исследованиям изменения климата отдельных регионов России [автореферат диссертации]*. Санкт-Петербург: [б. и.] 2005. 24 с.
12. Hüttl RT, Schneider BU, Farrell EP. Forests of the temperate region: gaps in knowledge and research needs. *Forest Ecology Management*. 2000;132:83–96.
13. Киселев ВН, Чубанов КД. *Ландшафтно-экологические исследования Белорусского Полесья*. Минск: Наука и техника; 1979. 104 с.
14. Матюшевская ЕВ. *Факторы изменчивости радиального прироста деревьев*. Минск: БГУ; 2017. 231 с.
15. Воробьев ДВ, Остапенко БФ. Классификационная схема лесоводственно-экологической типологии. В: *Повышение продуктивности и защитной роли лесных насаждений: Труды Харьковского сельскохозяйственного института им. В. В. Докучаева*. Харьков: [б. и.] 1976. Том 225. с. 6–14.
16. Демаков ЮП. *Диагностика устойчивости лесных экосистем (методологические и методические аспекты)*. Йошкар-Ола: Периодика Марий-Эл; 2004. 415 с.
17. Скачкова АС, Курлович ДМ. Природно-антропогенные ландшафты Белорусской возвышенной провинции: классификация, пространственная структура, районирование. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2017;1:3–13.

References

1. Zelenskiy I. *Materialy dlya geografii, statistike Rossii, sobrannyye ofitserami General'nogo shtaba: Minskaya guberniya* [Materials for geography, statistics of Russia, collected by officers of the General Staff: Minsk province]. Saint Petersburg: Military typography; 1864. 701 p. Russian.
2. Zhilinskiy II. *Ocherk rabot Zapadnoy ekspeditsii po osusheniyu bolot (1873–1898)* [Essay on the work of the Western expedition to drain the swamps (1873–1898)]. Saint Petersburg: Publication of the Ministry of Agriculture and State Property; 1899. 744 p. Russian.
3. Kiselev VN. *Belorusskoye Poles'ye: ekologicheskiye problemy meliorativnogo osvoiniya*. [Belarusian Polesie: environmental problems of land reclamation]. Minsk, Nauka i tekhnika; 1987. 154 p. Russian.
4. Bitvinskis TT. *Dendroklimaticheskiye issledovaniya*. [Dendroclimatic studies]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1974. 172 p. Russian.
5. Douglass AE. Climatic cycles and tree growth. Washington: Carnegie Institution; 1936. Volume 3. 289 p.
6. Fritts HC. Tree rings and climate. London: Academic Press; 1976. 567 p.
7. Shiyatov SG, Vaganov YeA. *Metodicheskiye osnovy organizatsii sistemy dendroklimaticheskogo monitoringa v lesakh aziatskoy chasti Rossii* [Methodological basis for the organization of the dendroclimatic monitoring system in the forests of the Asian part of Russia]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*. 1998;5(1):31–38. Russian.
8. Vaganov YeA, Pleshikov FI. *Sistema monitoringa lesov kak osnova ikh ratsional'nogo ispol'zova-niya i ustoychivogo razvitiya* [Forest monitoring system as the basis for their rational use and sustainable development]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*. 1998;5(1):3–8. Russian.
9. Cook ER, Kairiukstis LA. Methods of Dendrochronology. Applications in Environmental Scientists. Boston, London: Kluwer Academic Publishers; 1990. p. 46–80.
10. Rubino DL. Comparative analysis of dendroecological method used to assess disturbance events. *Dendrochronologia*. 2004;21:97–115.
11. Vishnyakova TV. *Indikatsiya teplovлагоobespechennosti po radial'nomu prirostu de-rev'yev, primenitel'no k issledovaniyam izmeneniya klimata ot-del'nykh regionov Rossii* [Indication of heat and moisture supply by the radial growth of trees, as applied to studies of climate change in individual regions of Russia]. [PhD thesis]. Saint Petersburg: [publisher unknown]; 2005. 24 p. Russian.
12. Hüttl RT, Schneider BU, Farrell EP. Forests of the temperate region: gaps in knowledge and research needs. *Forest Ecology Management*. 2000;132:83–96.
13. Kiselev VN, Chubanov KD. *Landshaftno-ekologicheskiye issledovaniya Belorusskogo Poles'ya* [Landscape-ecological studies of the Belarusian Polesie]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1979. 104 p. Russian.
14. Matyushevskaya YeV. *Faktory izmenchivosti radial'nogo prirosta derev'yev* [Factors of variability of radial growth of trees]. – Minsk: BSU; 2017. 231 p. Russian.
15. Vorob'yev DV, Ostapenko BF. *Klassifikatsionnaya skhema lesovodstvenno-ekologicheskoy tipologii. V: Povysheniye produktivnosti i zashchitnoy roli lesnykh nasazhdeniy. Trudy Khar'kovskogo sel'skokhozaystvennogo instituta imeni V. V. Dokuchayeva* [Classification scheme of forestry-ecological typology. In: Improving the productivity and protective role of forest stands: Scientific works of Kharkov agricultural Institute named V. V. Dokuchaev]. Khar'kov: [publisher unknown]; 1976. Part. 225. p. 6–14. Russian.
16. Demakov Yu.P. *Diagnostika ustoychivosti lesnykh ekosistem (metodologicheskiye i metodicheskiye aspekty)* [Diagnostics of the sustainability of forest ecosystems (methodological and methodological aspects)]. Ioshkar-Ola: Periodika Mariy-El; 2000. 415 p. Russian.
17. Skachkova AS, Kurlovich DM. *Prirodno-antropogennyye landshafty Belorusskoy vozvyshennoy provintsii: klassifikatsiya, prostranstvennaya struktura, rayonirovaniye* [Natural and anthropogenic landscapes of the Belorussian elevated province: classification, spatial structure, regionalization]. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Geografiya. Geologiya*. [Journal of the Belarusian State University. Geography. Geology]. 2017;1:3–13. Russian.

Статья поступила в редколлегию 07.11.2020.
Received by editorial board 07.11.2020.