

УДК 582.47:634.0.56(476)

## ПРОДУКЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЕЛИ ДЛЯ НАРАСТАНИЯ СТВОЛОВОЙ МАССЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

**Е. В. МАТЮШЕВСКАЯ<sup>1)</sup>, В. Н. КИСЕЛЁВ<sup>2)</sup>, А. Е. ЯРОТОВ<sup>1)</sup>, П. А. МИТРАХОВИЧ<sup>1)</sup>**

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

<sup>2)</sup>Белорусский государственный педагогический университет им. Максима Танка,  
ул. Советская, 18, 220030, Минск, Беларусь

Приведены результаты исследования динамики радиального прироста ели в зональных эдафических и климатических условиях Беларуси. Установлено, что ель реализует свой продукционный потенциал в увеличении максимального индивидуального радиального прироста независимо от изменчивости климатических условий как при похолодании, так и при потеплении, за исключением погодных экстремумов, в возрастной асинхронности с погодичной динамикой. Сделан вывод о том, что этот фактор обеспечивает ее устойчивость в непостоянных климатических условиях с оптимальным использованием ресурсов среды произрастания.

**Ключевые слова:** Республика Беларусь; ель; климат; радиальный прирост.

---

### Образец цитирования:

Матюшевская Е. В., Киселёв В. Н., Яротов А. Е., Митрахович П. А. Продукционный потенциал ели для нарастания ствольной массы в условиях изменяющегося климата // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 2. С. 3–12.

### For citation:

Matsiusheuskaya K. V., Kisialiou V. N., Jarotau A. E., Mitrachovich P. A. The potential productivity of spruce to rise of mass of tree trunk in a changing climate. *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2017. No. 2. P. 3–12 (in Russ.).

---

### Авторы:

**Екатерина Викторовна Матюшевская** – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры общего землеведения и гидрометеорологии географического факультета.

**Виктор Никифорович Киселёв** – доктор географических наук, профессор; руководитель временного научного коллектива «Дендроэкология».

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

**Петр Анисимович Митрахович** – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры физической географии мира и образовательных технологий географического факультета.

### Authors:

**Katsiaryna Matsiusheuskaya**, PhD (geography), docent; associate professor at the department of the general geography and hydrometeorology, faculty of geography.

*katerina.vn@icloud.com*

**Victar Kisialiou**, doctor of science (geography), full professor; head of the temporary scientific team «Dendroecology».

*kiselev-vn@yandex.ru*

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

*dehrono@mail.ru*

**Petr Mitrachovich**, PhD (biology), docent; associate professor at the department of physical geography of the world and educational technologies, faculty of geography.

*mitrakhovichpa@mail.ru*

## THE POTENTIAL PRODUCTIVITY OF SPRUCE TO RISE OF MASS OF TREE TRUNK IN A CHANGING CLIMATE

*K. V. MATSIUSHEUSKAYA<sup>a</sup>, V. N. KISIALIOU<sup>b</sup>, A. E. JAROTAU<sup>a</sup>, P. A. MITRACHOVICH<sup>a</sup>*

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

<sup>b</sup>*Belarusian State Pedagogical University named Maxim Tank,  
Sovetskaya Street, 18, 220030, Minsk, Belarus*

*Corresponding author: katerina.vm@icloud.com*

The results of the study of the dynamics of radial growth of spruce in the zonal edaphic and climatic conditions of Belarus. It was found that spruce realize its potential productivity in the growth of the individual maximum radial growth is not dependent on climate variability, as in cold weather, and when warming, excluding weather extremes, in the age of asynchrony year-dynamics. This ensures its stability in unstable environments with optimal use of resources growing environment.

**Key words:** Republic of Belarus; spruce; climate; tree ring.

### Введение

Среди экологических проблем современности возник потенциальный риск снижения устойчивости биосферы при изменяющихся климатических условиях, имеющий пространственное содержание. Состояние лесов умеренного климатического пояса служит симптомом современных изменений в биосфере. Динамичные процессы в лесах Беларуси могут отражать ситуацию с деградацией и отмиранием лесов Северного полушария в целом, занимающими заметное место в перечне экологических проблем планетарного масштаба начиная с 1980-х гг. До настоящего времени нет единого понимания причин этой деградации. О причинах деградации и отмирания лесов в Евразии и Северной Америке выдвинуто множество рабочих гипотез, в числе которых гелио- и геофизическая, погодно-климатическая, гидро-геологическая, озонная, эдафическая, ценотическая, биотическая, фитопатологическая, паразитальная, бактериальная, вирусная, антропогенно-экологическая и др., но ни одна из них не получила всеобщего признания [1; 2]. Большинство гипотез не подтверждены фактическим материалом или отвергнуты в результате проведенных другими авторами исследований [3].

Новые данные о состоянии лесов на региональном уровне следует рассматривать как очень важный этап в изучении происходящих в них динамичных процессов. Выявление всех причастных к усыханию факторов и сбор новых сведений служат базой для познания этого феномена.

Современные динамичные климатические реалии Беларуси на фоне периодических изменений климата в Северном полушарии должны отразиться на состоянии природной среды, прежде всего на устойчивости лесов в настоящее время и ближайшей перспективе. Под устойчивостью лесов следует понимать сохранение ими способности реагировать на регулярную изменчивость погодно-климатических факторов в процессе реализации биопродукционного потенциала в нарастании стволовой массы (радиальном приросте).

Благодаря географическому положению Беларуси в лесной зоне умеренного климатического пояса существует возможность организовывать и проводить дендроиндикационные исследования, результаты которых способствуют расширению знаний о сущности временной и пространственной изменчивости природной среды, а также пониманию роли антропогенных факторов в ее динамике.

Наиболее сложным и слабо разработанным вопросом является оценка ресурсных и экологических последствий для лесов под влиянием современных климатических изменений. Чтобы определить способности лесных биогеоценозов сохранять ресурсный потенциал в условиях изменяющегося климата и антропогенных воздействий, необходим надежный индикатор. Таким индикатором служит годичное кольцо, позволяющее обнаруживать закономерности роста и развития лесных биогеоценозов в современных климатических и антропогенно-экологических реалиях.

Изменчивости прироста деревьев в настоящее время посвящено множество публикаций, однако некоторые вопросы остаются дискуссионными или слабоосвещенными, что связано с разнообразием как лесных биогеоценозов, так и характера экологических воздействий на них, а также подходов исследователей к поставленной задаче. Есть ли общие закономерности в ритмике роста деревьев, присутствуют ли в ней строго детерминированные компоненты и какова их природа – однозначного ответа на эти вопросы пока нет [4].

При сравнительно небольшой площади равнинной территории (протяженность с запада на восток составляет 650 км, с севера на юг – 560 км) климатические условия Беларуси, несмотря на пространственную и временную изменчивость, характеризуются относительной однородностью. Горизонтальный градиент температуры в восточном направлении составляет  $-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в южном направлении достигает  $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  на 100 км. Согласно концепции дендроклиматического мониторинга [5] результаты изучения связи «климат – радиальный прирост» на тест-полигоне в центральной части Беларуси на плакоре, где растительность реализует климатический потенциал, отражают динамические процессы в лесах на равнинной территории с удалением до 250 км, т. е. на расстоянии, в пределах которого изменение метеорологических величин незначительно.

### Материалы и методика исследования

Согласно климатогенно-ривалитатной теории В. С. Гельмана [6] в качестве эдификатора евразийского доминиона темнохвойных лесов на территории Беларуси привлечена ель европейская (*Picea abies* L.). Исследование выполнялось на тест-полигоне в Логойском лесхозе, расположенном на локальной платообразной возвышенности в пределах Белорусской гряды (Минская возвышенность), в 22 км северо-северо-восточнее Минска и в 5 км южнее Логойска. Влияние антропогенных факторов, кроме тех, которые непосредственно связаны с ведением лесного хозяйства, здесь исключается. Существовавшие по склонам и в овражно-балочной сети с весенними временными водотоками ключи и выходы верховодки за последние 15 лет исчезли (высохли).

Абсолютные отметки плакора с исследованным лесным массивом составляют 278 м. Локальная возвышенность окружена имеющей временные водотоки овражно-балочной сетью с глубиной вреза до 20–30 м. Покровными породами являются лессовидные суглинки мощностью 0,3–0,5 м, ниже сменяемые моренными супесями и суглинками. Почва дерново-палево-подзолистая; дифференцирована на следующие горизонты:

- $A_0$  (0–4 см, лесная подстилка с грубым гумусом);
- $A_1$  (4–7 см, темно-серый суглинок, рыхлый);
- $A_2$  (7–41 см, лессовидный суглинок серовато-палевый, непрочный-комковатый, влажный);
- $B_2$  (41–100 см, суглинок моренный с валунами и галькой, красновато-бурый, сверху – с серовато-палевыми включениями).

Типы леса – ельник мшистый и ельник кисличный. Древостой – бонитета  $I^a$ .

Образцы древесины ели отобраны у 64 деревьев в 2015 г. возрастным буравом на высоте 1,3 м. После измерения ширины годовых колец они были объединены в возрастные группы (серии): 75 лет (20 деревьев); 85 лет (14 деревьев) и 105 лет (15 деревьев). Кроме того, привлечена дендрометрическая информация по 90-летнему сухостою (15 деревьев; образцы древесины отобраны после его усыхания в 2002 г.). Средний диаметр стволов по данным группам составил 20 и 51 см (наибольший), 30 и 30 см соответственно. Причиной усыхания ели стали аномальные морозы декабря 2002 г. (среднемесячная температура зафиксирована на отметке  $-9,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в отдельные сутки температура опускалась до  $-37,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). При малом количестве осадков в ноябре (27 мм) и декабре (14 мм) в условиях жаркого и сухого вегетационного периода наступило крупномасштабное усыхание ельников на лессовидно-суглинистом плакоре [7].

Согласно рабочей гипотезе для выполнения исследования принято, что продукционный потенциал ели для увеличения стволовой массы в условиях изменяющегося климата определяется наиболее высокими значениями радиального прироста отдельного (главного) дерева по сравнению с другими в одно-возрастной группе. Поэтому наша задача заключалась в выявлении этого показателя в годичной привязке как потенциала нарастания стволовой массы. В остальные годы значение радиального прироста не должно было превышать его наибольших показателей по данной возрастной группе. Нами определялись годичный максимальный индивидуальный (по одному дереву) радиальный прирост за время роста и развития насаждения и его значение по серии в сравнении со средним (табл. 1).

Таблица 1

Годичный\* и сериальный\*\* максимальный индивидуальный радиальный прирост деревьев, мм

Table 1

Definition of the annual\* and serial\*\* individual maximum tree ring growth, mm

Год	Номер дерева										Прирост за год	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Максимальный	Средний
2014	1,5	1,3	1,2	1,5	1,1	1,9	1,4	<b>2,0</b>	1,7	0,9	<b>2,0</b>	1,4
2013	2,0	2,1	2,7	1,6	2,7	1,8	3,1	<b>3,6</b>	2,3	1,7	<b>3,6</b>	2,4

Год	Номер дерева										Прирост за год	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Максимальный	Средний
2004	3,4	<b>6,0</b>	3,7	1,5	<b>5,5</b>	2,7	3,9	3,2	3,7	1,8	<b>6,0</b>	3,5
2003	2,7	<b>4,4</b>	3,4	1,2	1,5	3,5	1,6	1,0	2,2	2,6	<b>4,4</b>	2,4
1995	5,5	4,6	4,5	3,4	4,1	3,8	2,5	<b>5,6</b>	2,7	2,5	<b>5,6</b>	3,9
1983	7,2	<b>7,4</b>	5,0	<b>6,2</b>	4,3	2,8	4,1	5,1	3,5	3,0	<b>7,4</b>	4,9
1892	<b>6,4</b>	6,0	3,7	4,3	4,1	4,1	<b>5,8</b>	4,7	3,3	5,9	<b>6,4</b>	4,8
1968	<b>7,8</b>	6,2	2,6	5,0	4,9	<b>6,1</b>	3,3	3,4	5,0	<b>6,8</b>	<b>7,8</b>	5,1
1959	<b>8,2</b>	5,4	3,5	5,0	5,1	4,4	3,2	4,5	3,8	5,6	<b>8,2</b>	4,9
1958	5,9	<b>6,0</b>	3,5	5,5	5,1	3,7	4,2	4,4	5,5	5,9	<b>6,0</b>	5,0
1957	4,1	6,2	3,9	4,0	3,2	3,6	4,6	5,5	<b>6,4</b>	3,2	<b>6,4</b>	4,6
1956	4,4	<b>11,0</b>	<b>9,5</b>	3,7	3,7	5,0	5,1	3,2	2,8	3,9	<b>11,0</b>	5,2
1955	4,3	<b>8,0</b>	4,5	3,9	4,0	2,8	1,6	4,3	2,8	2,6	<b>8,0</b>	3,9
Максимальный прирост	<b>8,2</b>	<b>11,0</b>	<b>9,5</b>	<b>6,2</b>	<b>5,5</b>	<b>6,1</b>	<b>5,8</b>	<b>5,6</b>	<b>6,4</b>	<b>6,8</b>	–	–

\*Выделен полужирным прямым шрифтом; \*\*выделен полужирным курсивом.

Представлялось также необходимым исследовать многолетний ход изменчивости наибольшего (по сравнению с другими деревьями) радиального прироста конкретного дерева на фоне осредненной регулярной изменчивости ширины годичных колец всей группы деревьев. Важно было выяснить, какие климатические условия могут приводить к подавлению продукционного потенциала ели.

Рост и развитие насаждения происходили при нестабильной климатической обстановке двух эпох: влажной (до 1940 г.) и неустойчиво влажной (после 1940 г.), разделенных краткосрочным похолоданием с самыми холодными в XX в. 1941–1943 гг. [6]. Вторая эпоха началась с незначительного похолодания и сокращения осадков в 1941–1976 гг. по сравнению с предыдущим периодом (табл. 2). Ее 20-летнее продолжение (1977–1997) с относительным потеплением и увеличением осадков сменило это похолодание. При существенном потеплении климата с предыдущей позиции до 1998 г. месяцы вегетационного (май – сентябрь) и безлиственного (октябрь – апрель) периодов и гидрологический год в целом сопровождался повышением температуры и увеличением осадков.

Таблица 2

Среднестатистические показатели изменчивости климата (по наблюдениям на метеостанции Минска)

Table 2

Average statistical indicators of climate variability (according to observations at the weather station Minsk)

Год	Температура, °С				Осадки, мм			
	Октябрь – апрель	Май – июнь	Май – сентябрь	Среднегодовое значение	Октябрь – апрель	Май – июнь	Май – сентябрь	Среднегодовое значение
1892–1906	–1,1	14,5	15,0	5,7	341	143	363	704
1907–1940	–1,3	14,7	15,0	5,4	348	149	397	741
1941–1976	–1,3	14,0	14,8	5,4	286	140	353	639
1977–1997	–0,2	14,6	15,0	5,7	312	142	366	678
1998–2014	0,7	15,1	16,1	6,7	345	159	373	718
За период наблюдений								
1892–2014	–0,8	14,5	15,0	5,8	330	146	371	701

Анализ изменчивости максимального индивидуального радиального прироста, отражающего биопродукционный потенциал ели при разных климатических условиях, охватывал период до 1998 г., когда наблюдались относительно однородные климатические условия, и после этого года, когда наступило

заметное потепление. Представлялось также необходимым исследовать многолетний ход изменчивости наибольшего (по сравнению с другими деревьями) радиального прироста конкретного дерева на фоне осредненной регулярной изменчивости ширины годичных колец всей возрастной группы деревьев.

### Обсуждение результатов

В многолетнем ходе изменчивости сериального прироста ели вне антропогенного влияния его максимальные индивидуальные (одного дерева) значения не приурочены к одному конкретному году с оптимальными параметрами погодно-климатических условий, а проявляются в течение всего периода роста и развития насаждения (рис. 1). Возраст древостоя, при котором происходило максимальное нарастание стволовой массы, не совпадал: у 105-летних деревьев он составлял от 45 до 75 лет; 75-летних – от 15 до 50 лет; 85- и 90-летних – почти одинаков: от 30 до 65 и от 35 до 75 лет соответственно.

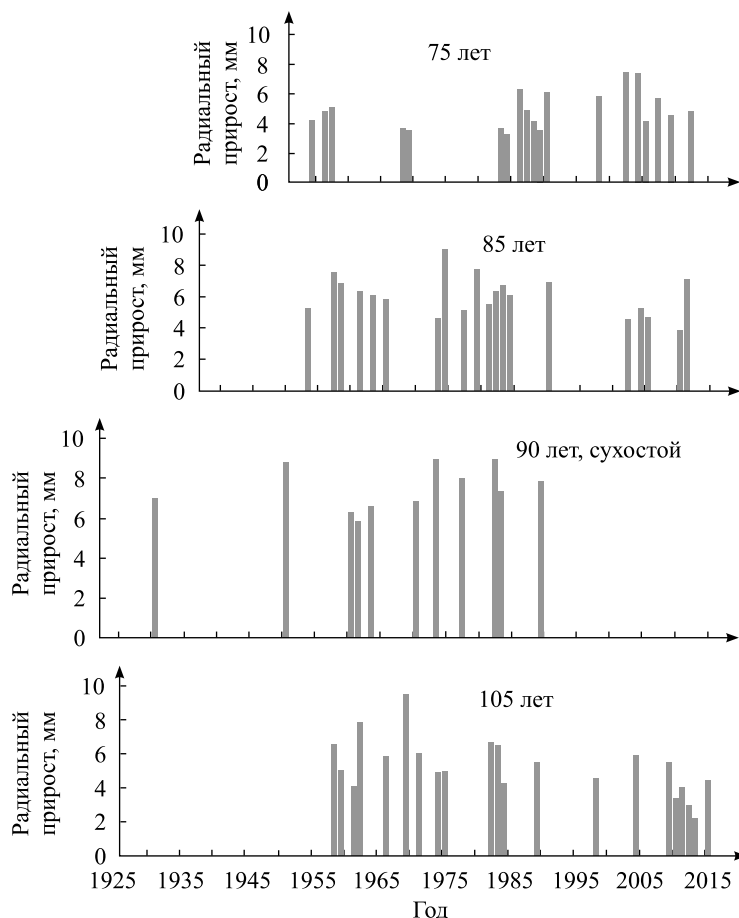


Рис. 1. Многолетний ход изменчивости сериального максимального индивидуального прироста ели вне техногенного загрязнения на логойском тест-полигоне  
Fig. 1. Long-term variation of the serial maximum individual tree-ring growth of spruce outside man-made contamination at the Logoisk test-site

Ель реализовывала свой биопродукционный потенциал в радиальном приросте независимо от изменчивости погодно-климатических условий. До 1998 г. в сравнительно однородном климате диапазон максимального индивидуального радиального прироста в трех возрастных группах, кроме 75-летней, изменялся в относительно однозначных показателях: 4,1–9,5 мм (105 лет); 4,6–9,0 мм (85 лет) и 5,8–9,0 мм (90 лет). При этом показатели среднего по серии радиального прироста отличались незначительно: 3,0–3,9; 2,9–4,5 и 3,4–4,5 мм. Деревья 75-летнего возраста по нарастанию стволовой массы существенно уступали деревьям старших возрастных групп: 3,3–5,9 мм при диапазоне среднего значения по серии от 1,5 до 3,1 мм, также наименьшего в насаждении (табл. 3).

С потеплением климата после 1998 г. ситуация изменилась: уже 75-летние деревья демонстрируют наибольшую энергию в реализации биопродукционного потенциала по сравнению с более возрастными группами. Их максимальный индивидуальный радиальный прирост варьируется в диапазоне

от 3,9 до 7,2 мм при среднем значении по серии от 2,9 до 4,2 мм. У 85-летних деревьев он близок к этим показателям (4,1–6,9 мм при среднем диапазоне 2,9–3,8 мм). Наименьшее значение прироста – у 105-летних деревьев (3,1–6,0 мм при среднем диапазоне 2,2–3,4 мм), в этом случае не исключается влияние возраста. Максимальный радиальный прирост деревьев в одной возрастной группе не имеет одного года привязки, а «кочует» во времени.

Таблица 3

**Максимальный индивидуальный радиальный прирост  
ели на логойском тест-полигоне, мм**

Table 3

**Years with the maximum individual tree-ring growth  
of spruce at the Logoisk test-site, mm**

Возрастная группа деревьев, лет											
105			85			75			90, сухостой		
Возраст древостоя в годы максимального радиального прироста до 1998 г., кол-во лет											
45–75			30–65			15–50			35–75		
Год	Прирост		Год	Прирост		Год	Прирост		Год	Прирост	
	Максимальный	Средний по группе		Максимальный	Средний по группе		Максимальный	Средний по группе		Максимальный	Средний по группе
<i>До 1998 г.</i>											
1958	6,5	3,4	1953	5,2	3,3	1954	4,1	1,6	1950	8,8	3,4
1961	4,1	3,6	1957	7,4	3,9	1956	4,7	1,5	1960	6,3	3,7
1962	7,8	3,7	1958	6,8	4,4	1957	5,0	1,8	1961	5,8	3,9
1966	5,8	3,7	1961	6,3	4,0	1968	3,6	2,2	1963	6,6	3,6
1969	9,5	3,7	1963	6,0	4,5	1969	3,4	2,2	1970	6,9	4,1
1971	6,0	3,9	1965	5,8	3,7	1983	3,5	–	1973	8,9	–
1974	4,9	3,6	1973	4,6	3,8	1984	3,1	2,7	1977	8,0	3,4
1975	5,0	3,4	1974	9,0	3,6	1988	4,0	2,8	1982	9,0	3,9
1982	6,7	3,4	1977	5,0	3,3	1989	3,3	3,1	1983	7,4	4,5
1983	6,5	3,9	1979	7,6	3,9	1990	5,9	3,3	1989	7,9	3,5
1984	4,3	3,5	1981	5,2	3,4	–	–	–	–	–	–
1989	5,6	3,0	1982	6,2	4,1	–	–	–	–	–	–
–	–	–	1983	6,6	4,0	–	–	–	–	–	–
–	–	–	1990	6,8	2,9	–	–	–	–	–	–
Диапазон	4,1–9,5	3,0–3,9	–	4,6–9,0	2,9–4,5	–	3,3–4,7	1,5–3,1	–	5,8–9,0	3,4–4,5
<i>После 1998 г.</i>											
1998	4,6	2,2	2002	4,4	2,9	1998	4,0	2,9	–	–	–
2004	6,0	3,1	2004	5,1	3,4	2002	7,0	3,5	–	–	–
2005	4,6	3,3	2005	4,5	3,8	2004	7,2	4,2	–	–	–
2009	5,6	3,4	2010	4,1	3,0	2005	3,9	3,4	–	–	–
2010	3,5	3,0	2011	6,9	2,4	2007	5,4	3,1	–	–	–
2011	4,2	2,7	–	–	–	2012	4,6	3,0	–	–	–
2012	3,1	2,6	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2013	4,0	2,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Диапазон	3,1–6,0	2,2–3,4	–	4,1–6,9	2,4–3,8	–	3,9–7,2	2,9–4,2	–	–	–

Диапазон изменчивости годовых метеорологических значений климата, при которых формировался максимальный прирост, колебался в существенных пределах, хотя его средние показатели в целом за эти годы мало отличались от среднееголетних (табл. 4). Следовательно, максимально возможная



реализация биопродукционного потенциала ели осуществляется при любых метеорологических условиях (за исключением экстремальной погодной обстановки) без одновременной годичной привязки.

Таблица 4

**Динамика метеорологических условий по годам с максимальным индивидуальным радиальным приростом ели вне техногенного загрязнения воздушной среды на логойском тест-полигоне**

Table 4

**Meteorological conditions for years with the maximum individual tree-ring growth of spruce without technogenic contamination of the air environment at the Logoisk test-site**

Год	Температура, °C				Осадки, мм			
	Октябрь – апрель	Май – июнь	Май – сентябрь	Среднее значение	Октябрь – апрель	Май – июнь	Май – сентябрь	Среднее значение
<i>До 1998 г.</i>								
1950	-0,1	14,2	14,2	5,8	246	80	372	618
1953	-1,6	14,2	15,0	5,3	290	116	263	553
1954	-3,4	16,5	16,0	4,7	133	114	370	503
1956	-3,0	15,0	14,0	4,1	280	163	382	662
1957	-0,2	13,6	14,4	5,9	248	109	389	662
1958	-1,1	16,8	14,1	5,2	348	173	333	691
1960	-2,3	14,6	14,8	4,8	278	151	434	712
1961	1,5	14,5	14,7	7,0	373	147	361	734
1962	0,6	12,6	13,4	5,2	214	213	518	732
1963	-3,2	15,7	16,8	5,2	256	161	308	564
1965	-1,1	11,9	13,6	5,0	329	152	342	671
1966	-0,8	15,8	15,4	5,9	355	158	326	681
1969	-3,2	13,6	14,4	4,1	274	165	354	628
1970	-2,0	14,6	14,9	5,0	390	92	318	708
1971	-0,8	15,0	15,3	5,9	332	90	207	539
1973	-0,8	16,0	16,3	6,3	296	130	377	673
1974	0,5	14,3	14,5	6,3	303	212	546	849
1975	-0,4	12,4	14,0	5,6	236	184	431	667
1977	-0,7	14,8	13,9	5,4	366	139	494	860
1979	-1,7	17,0	15,6	5,5	283	50	366	649
1981	-0,5	16,1	15,8	6,3	313	196	351	664
1982	-0,5	13,1	14,8	5,9	397	230	419	816
1983	1,8	15,8	16,2	7,8	385	103	229	614
1984	0,7	14,0	14,5	6,5	259	229	402	661
1988	-0,2	15,8	16,0	6,6	325	158	359	684
1989	1,7	15,5	15,6	7,5	312	184	417	729
1990	2,7	14,0	14,0	7,4	314	88	446	760
<b>Среднее значение</b>	<b>-0,7</b>	<b>14,7</b>	<b>14,9</b>	<b>5,8</b>	<b>301</b>	<b>148</b>	<b>375</b>	<b>676</b>
<b>Диапазон</b>	<b>-3,4...+2,7</b>	<b>12,4...16,8</b>	<b>13,4...16,8</b>	<b>4,1...7,5</b>	<b>133...397</b>	<b>50...230</b>	<b>207...518</b>	<b>503...860</b>
<i>После 1998 г.</i>								
1998	0,9	15,4	15,0	6,8	614	278	364	978
2002	1,5	16,2	17,2	8,1	325	120	227	552

Год	Температура, °С				Осадки, мм			
	Октябрь – апрель	Май – июнь	Май – сентябрь	Среднее значение	Октябрь – апрель	Май – июнь	Май – сентябрь	Среднее значение
2004	0,2	12,4	14,5	6,2	405	110	408	813
2005	0,6	13,8	15,6	6,9	313	210	456	769
2007	2,5	16,6	16,7	7,5	269	121	284	553
2009	1,4	14,2	15,6	6,5	259	254	519	778
2010	-0,3	16,5	17,7	6,4	385	272	537	922
2011	-0,4	16,2	16,8	6,4	265	148	407	672
2012	0,4	15,1	16,5	6,5	360	176	372	732
2013	-0,4	18,0	16,9	6,7	385	156	320	703
<b>Среднее значение</b>	<b>0,6</b>	<b>15,4</b>	<b>16,2</b>	<b>6,8</b>	<b>358</b>	<b>184</b>	<b>389</b>	<b>747</b>
<b>Диапазон</b>	<b>-0,4...+2,5</b>	<b>12,4...18,0</b>	<b>14,5...17,7</b>	<b>6,2...8,1</b>	<b>259...614</b>	<b>110...278</b>	<b>227...537</b>	<b>552...978</b>

Изменение климата в тех параметрах, в которых оно произошло, не следует рассматривать как угрожающий для этой древесной породы фактор. Более того, потепление климата после 1998 г. оказало благоприятное воздействие на ель наиболее молодого возраста в исследованном насаждении (75 лет) в плане радиального прироста: рост температуры сопровождался увеличением осадков в годы его наибольшего значения.

Максимальный радиальный прирост у дерева ели может формироваться при разных, необязательно оптимальных, метеорологических условиях [8]. В 105-летней динамике индивидуального максимального радиального прироста до 1998 г. выделяется его выявленное выдающееся значение (9,5 мм) в 1969 г., которое можно рассматривать как возможный потенциал стволовой продуктивности ели в качестве эдификатора природной зоны на территории Беларуси.

По сравнению со среднемноголетними значениями этот год был одним из самых холодных в XX в. (4,1 °С) – с холодным безлиственным периодом (-3,2 °С), месяцами активного роста в мае и июне (13,6 °С) и месяцами вегетации в целом (14,4 °С) при относительно небольшом недоборе осадков (за год выпало 628 мм).

Несколько меньшее значение (9,0 мм) определено у 85-летнего поколения в 1974 г. и 90-летней сухостойной группы в 1982 г. Их ведущая отличительная особенность заключается в большом количестве осадков, выпавших за два этих года: 849 и 816 мм соответственно (при среднем значении 676 мм), из них в вегетационные месяцы – 546 мм (рекордное значение) и 419 мм, за безлиственные периоды – 303 и 397 мм соответственно.

С потеплением климата максимальная ширина годичного кольца (7,2 мм) сформировалась у 75-летнего дерева в 2004 г. с самыми низкими параметрами температуры, свойственными месяцам активного роста (12,4 °С), вегетационному (14,5 °С) и безлиственному (0,2 °С) периодам и году в целом (6,2 °С), но с большим количеством осадков (813 мм).

Погодичный ход изменчивости индивидуального максимального прироста (рис. 2) синхронен с динамикой среднего прироста по каждой группе: для 105-летней группы коэффициент корреляции  $r$  равен 0,75; 85-летней – 0,76; 75-летней – 0,82 и усохшей 90-летней – 0,65.

Динамика этого реализованного потенциала продуктивности ели была синхронной не для всех серий. Ее синхронность выявлена только для 105-летней группы с 85-летней ( $r = 0,57$ ) и 90-летней ( $r = 0,85$ ) группами, а также для 85- и 90-летней групп ( $r = 0,63$ ). Погодичная изменчивость максимального радиального прироста 75-летней группы не была синхронна с его значениями для 85-летней группы ( $r = 0,11$ ) и была асинхронна с 90-летней группой ( $r = -0,32$ ). Наблюдается следующая тенденция: возраст древостоя имеет значение для синхронной изменчивости максимальной индивидуальной стволовой продуктивности ели.

С уменьшением возраста синхронность сокращается и может трансформироваться в асинхронность. Причины этого неясны, для их обнаружения требуются дополнительные исследования. Однако данное явление привело к тому, что с потеплением климата после 1998 г. у 75-летних деревьев максимальный индивидуальный радиальный прирост увеличился, а у деревьев старших возрастных групп – сократился, хотя различия в возрасте незначительны. Таким образом, подтверждается вывод о том, что реакция ели на потепление климата, как и на его похолодание, зависит от возраста древостоя.



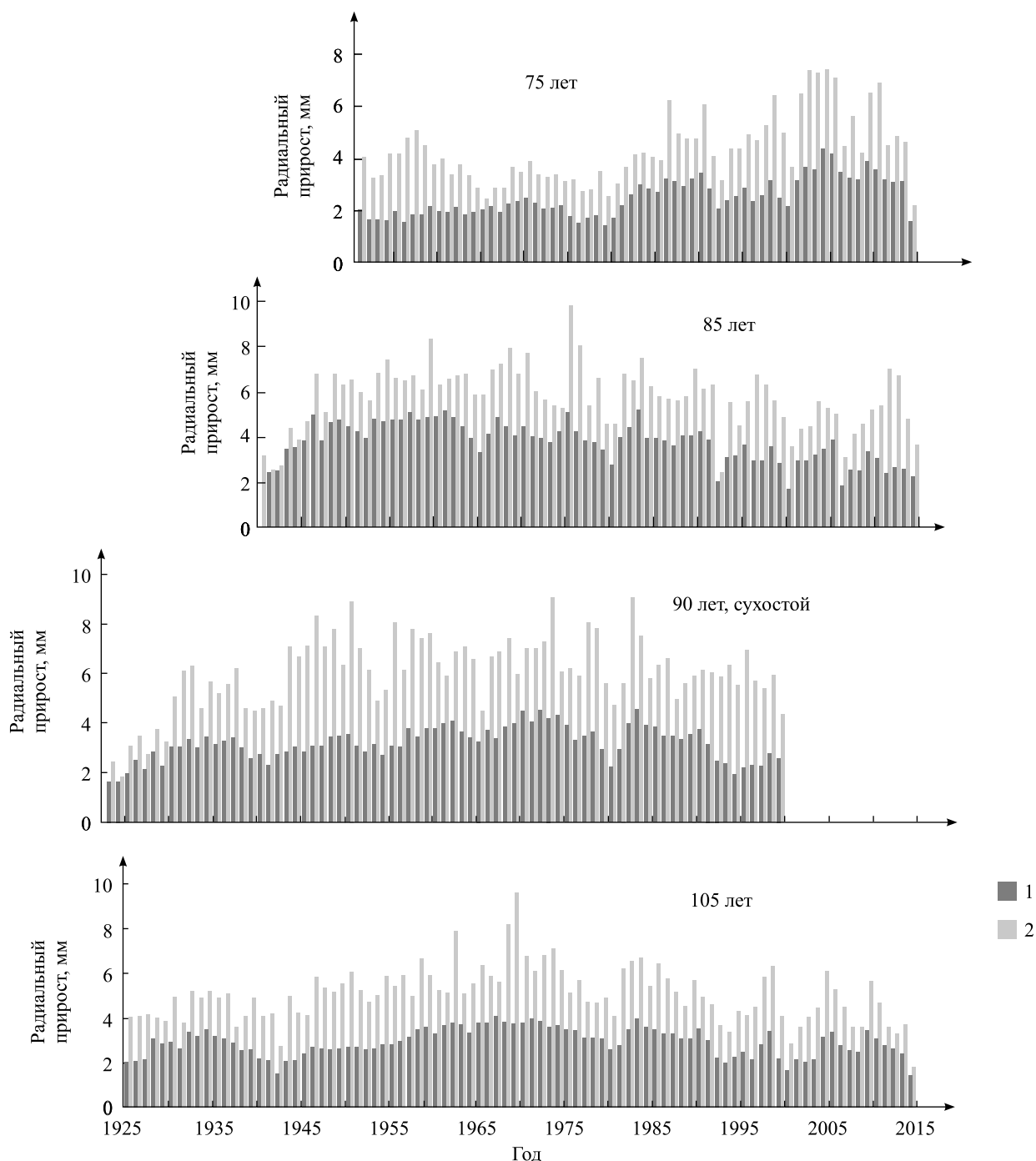


Рис. 2. Погодичный ход изменчивости максимального индивидуального (1) и среднего (2) радиального прироста возрастных групп ели на логойском тест-полигоне

Fig. 2. Annual variability of the maximum individual (1) and average (2) tree-ring growth of age series of spruce at the Logoisk test-site

Корреляционный анализ выявил неоднозначность реакции возрастных групп на изменчивость климатических факторов. Похолодание 1941–1976 гг. поставило максимальный индивидуальный радиальный прирост 85-летнего поколения в статистически значимую прямую зависимость при  $n = 36$  от температуры безлиственного периода ( $r = 0,56$ ;  $p = 0,001$ ), мая и июня ( $r = 0,57$ ;  $p = 0,001$ ), вегетационного периода ( $r = 0,43$ ;  $p = 0,01$ ); гидрологического года в целом ( $r = 0,55$ ;  $p = 0,001$ ) и осадков безлиственного периода ( $r = 0,50$ ;  $p = 0,001$ ), но при этом в обратную зависимость от осадков месяцев вегетации ( $r = -0,41$ ;  $p = 0,01$  и  $r = -0,51$ ;  $p = 0,001$ ). Осадки безлиственного периода при потеплении климата в 1977–1997 гг. были более значимы для погибшего древостоя ( $r = 0,61$  при  $n = 21$ ;  $p = 0,01$ ), чем для выжившего, после экстремальных морозов декабря 2002 г.

Таким образом, реакция ели на плакоре с зональными эдафическими и климатическими условиями вне антропогенного влияния (осушительная мелиорация, техногенное загрязнение), по-разному проявленная на похолодание (1941–1977) и потепление (после 1998 г.), зависит от возрастных поколений древостоя.

### Заключение

Ель на плакоре с зональными эдафическими и климатическими условиями на территории Беларуси реализует свой продукционный потенциал в увеличении максимального индивидуального радиального прироста независимо от изменчивости климатических величин как при похолодании, так и при потеплении, за исключением погодных экстремумов, в возрастной асинхронности с погодичной динамикой. Этот фактор обеспечивает ее устойчивость в непостоянных климатических условиях с оптимальным использованием ресурсов среды произрастания.

### Библиографические ссылки

1. Манько Ю. И., Гладкова Г. А. Усыхание ели в свете глобального ухудшения темнохвойных лесов. Владивосток, 2001.
2. Schmidt-Vogt H. Die Fichte. Hamburg ; Berlin, 1989. Bd. 2/2 : Krankheiten. Schaden. Fichtensterben.
3. Rehfuess K. E. Review of forest decline research activities and results in the Federal Republic of Germany // *J. Environ. Sci. Health*. 1991. Vol. 26, № 3. P. 415–445.
4. Демаков Ю. П. Диагностика устойчивости лесных экосистем (методологические и методические аспекты). Йошкар-Ола, 2004.
5. Ваганов Е. А., Шиятов С. Г., Мазепа С. П. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской субарктике. Новосибирск, 1996.
6. Гельтман В. С. Географический и типологический анализ лесной растительности Беларуси. Минск, 1982.
7. Киселев В. Н., Матюшевская Е. В. Экология ели. Минск, 2004.
8. Казимиров Н. И. Ельники Карелии. Л., 1971.

### References

1. Manko Y. I., Gladkova G. A. [Drying of spruce in the light of the global deterioration of dark coniferous forests]. Vladivostok, 2001 (in Russ.).
2. Schmidt-Vogt H. Die Fichte. Hamburg ; Berlin, 1989. Bd. 2/2 : Krankheiten. Schaden. Fichtensterben (in Ger.).
3. Rehfuess K. E. Review of forest decline research activities and results in the Federal Republic of Germany. *J. Environ. Sci. Health*. 1991. Vol. 26, No. 3. P. 415–445.
4. Demakov Y. P. [Diagnosis of forest ecosystems stability (methodological and methodical aspects)]. Ioshkar-Ola, 2004 (in Russ.).
5. Vaganov E. A., Shiyatov S. G., Mazepa S. P. [Dendroclimatic research Uralo-Siberian sub-arctic]. Novosibirsk, 1996 (in Russ.).
6. Gel'tman V. S. [Geographical and typological analysis of forest vegetation in Belarus]. Minsk, 1982 (in Russ.).
7. Kiselev V. N., Matyushevskaya E. V. [Ecology of spruce]. Minsk, 2004 (in Russ.).
8. Kazimirov N. I. [Spruce forests of Karelia]. Leningrad, 1971 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 25.11.2016.  
Received by editorial board 25.11.2016.