

## Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агроресомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация

Оригинальная статья

УДК 630.181(470.311)

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-118-124>



### ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛЕСОВ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА В СВЯЗИ С КЛИМАТИЧЕСКИМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ

*Дубенок Николай Николаевич, академик РАН, д-р с.-х. наук, профессор;*

WOSResearchID: AAC-7746-2020; Scopus AuthorID: 57200111134РИНЦИД: 315062; ndubenok@rgau-msha.ru

*Лебедев Александр Вячеславович, канд. с.-х. наук, доцент;*

WOSResearchID: AAX-9891-2020; Scopus AuthorID: 57214907823РИНЦИД: 738683; alebedev@rgau-msha.ru

*Градусов Виктор Михайлович, старший преподаватель;*

Scopus AuthorID: 57222573480; РИНЦ ID: 604352; vgradusov@rgau-msha.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

**Аннотация.** Результаты долговременных метеорологических наблюдений свидетельствуют о том, что потепление климата – это реальное явление, которое в последние десятилетия протекает со значительным ускорением. Климатические изменения создают новые условия для ведения лесного хозяйства. Цель исследований – определение потенциальной продуктивности лесов Московского региона и ее нереализованного потенциала в условиях происходящих климатических изменений. В работе используются результаты многолетних метеорологических наблюдений. Для оценки влияния изменений обеспеченности теплом и влагой на леса использованы методы, основанные на зависимости потенциальной производительности от климатических факторов. За последние 100 лет произошли значительные изменения климатических условий роста древостоев, проходящих на фоне увеличения концентраций в атмосфере парниковых газов: повышение среднегодовой температуры (более чем в 2 раза по сравнению с началом XX в.) и увеличение продолжительности вегетационного периода (в среднем на 30-40 дней); изменение годового количества осадков и их перераспределение по сезонам года. Вместе с тем за последние 120 лет, по произведенным расчетам, произошло увеличение потенциальной продуктивности лесов Московского региона в 1,6 раза. В условиях повышения среднегодовой температуры, количества осадков, продолжительности вегетационного периода важной задачей лесного хозяйства должно стать проведение лесохозяйственных мероприятий согласно текущим изменениям с целью повышения продуктивности лесов и уровня предоставления экосистемных услуг по адаптации лесного хозяйства к новым условиям.

**Ключевые слова:** изменение климата, потенциальная продуктивность лесов, Московская область, динамика климатических показателей

**Формат цитирования:** Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Градусов В.М. Потенциальная продуктивность лесов Московского региона в связи с климатическими изменениями // Природообустройство. 2023. № 5. С. 118-124. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-118-124>

© Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Градусов В.М., 2023

Original article

### POTENTIAL PRODUCTIVITY OF FORESTS OF THE MOSCOW REGION IN CONNECTION WITH CLIMATIC CHANGES

*Dubenok Nikolay Nikolaevich* , *academician of the Russian Academy of Sciences, doctor of agricultural sciences, professor;*

(WOSResearchID: AAZ-7746-2020; Scopus Author ID: 57200111134 RSCID: 315062); ndubenok@rgau-msha.ru

**Lebedev Aleksandr Vyacheslavovich** ✉, candidate of agricultural sciences, associate professor,  
(WS Research ID: AJAX-9891-2020; Scopus Author ID: 57214907823RINCID: 738683); alebedev@rgau-msha.ru

**Gradusov Viktor Mikhailovich**, senior lecturer,

Scopus Author ID: 57222573480; PRINCE ID: 604352; vgradusov@rgau-msha.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskaya str., 49, Russia

**Abstract.** *The results of long-term meteorological observations indicate that climate warming is a real phenomenon that has been accelerating significantly in recent decades. Climate change creates new conditions for forestry. The purpose of the study is to determine the potential productivity of the forests of the Moscow region and its unrealized potential in the conditions of ongoing climatic changes. The results of long-term meteorological observations are used in the work. To assess the impact of changes in the provision of heat and moisture on forests, methods based on the dependence of potential productivity on climatic factors were used. Over the past 100 years, there have been significant changes in the climatic conditions of the growth of stands, taking place against the background of increasing concentrations of greenhouse gases in the atmosphere: an increase in the average annual temperature (more than 2 times compared to the beginning of the XX century) and an increase in the duration of the growing season (on average by 30-40 days), changes in the annual amount of precipitation and their redistribution by seasons year. According to the calculations carried out, along with this, there has been an increase in the potential productivity of the forests of the Moscow region by 1.6 times over the past 120 years. In conditions of an increase in the average annual temperature, precipitation, and the duration of the growing season, an important task of forestry should be the adaptation of forestry measures to current changes in order to increase forest productivity and the level of provision of ecosystem services, to adapt forestry to new conditions.*

**Key words:** *climate change, potential forest productivity, Moscow region, dynamics of climatic indicators*

**Format of citation:** *Dubenok N.N., Lebedev A.V., Gradusov V.M. Potential productivity of forests of the Moscow region in connection with climatic changes // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 5. P. 118-124. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-118-124>*

**Введение.** Результаты долговременных метеорологических наблюдений свидетельствуют о том, что потепление климата – это реальное явление, которое в последние десятилетия протекает со значительным ускорением [1-3]. Климатические изменения создают новые условия для ведения лесного хозяйства. Увеличение осадков атмосферного азота и потепление климата считаются основными факторами, ускоряющими рост лесов и приводящими к изменению их производительности в Европе [4-6]. Кроме того, с потеплением климата и изменением количества осадков связаны накопление лесной биомассы и углерод депонирующие функции лесов [7, 8]. Для территории России прогнозируется [9], что климатические изменения приведут к расширению площади лесов на границе с тундрой, а в южной части на границе со степью произойдет усиление процессов усыхания лесов. Отмечается расширение площадей широколиственных пород на южной границе распространения хвойных и темнохвойных пород в зоне мерзлотных лиственничников. На фоне этого может возрасти количество лесных пожаров и вспышек насекомых-вредителей и болезней леса.

Причины происходящих глобальных климатических изменений остаются

дискуссионными. Можно выделить две основные точки зрения, согласно которым объясняются причины потепления климата: i) естественные природные процессы; ii) антропогенное воздействие. К первой концепции относятся теории, связанные с наличием цикличности климата. Например, З.М. Гудкович и соавт. [10] объяснили потепление климата проявляющимися 60-летними и 200-летними циклами, которые обусловлены ветровым полем планеты. Малый (60-летний цикл) связан с изменениями интенсивности вихрей (в периоды потепления происходит углубление), а большой (200-летний) – с модификациями их пространственного положения (при потеплении они расширяются). В качестве внешней причины возникновения цикличности рассматривается ритмика солнечной активности. Схожие обоснования представлены и в других работах: например, S.-I. Akasofu [11], Л.Б. Кляшторина [12].

К одной из основных версий, объясняющих климатические изменения, относится антропогенное воздействие на окружающую среду, и прежде всего – влияние парниковых газов [13-15]. В естественном состоянии атмосфера Земли обладает значительными парниковыми свойствами за счет естественной эмиссии и содержания пара воды [16-18]. Начиная с середины

XX в. произошла интенсификация сжигания ископаемых органических видов топлива (нефть, уголь, газ). В результате атмосфера существенно обогатилась парниковыми газами, и главным образом – диоксидом углерода ( $\text{CO}_2$ ). В дальнейшем было показано, что помимо  $\text{CO}_2$ , мощным парниковым эффектом обладают метан ( $\text{CH}_4$ ), закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) и другие газы, а их концентрации повышаются. Использование глобальных климатических моделей позволило выявить, что с 1951 г. доминирующим фактором потепления является антропогенное усиление парникового эффекта [17].

Изменение климата – повсеместное явление, но в каждой географической области проявляющееся по-разному. Тенденции хода средних годовых температур воздуха относятся к важному индикатору масштабов изменения климата и его возможных последствий. В Пятом оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата с 1880 по 2012 годы констатируется, что повышение средней глобальной температуры составило  $0,85^\circ\text{C}$  [19]. Для сдерживания климатических изменений в 2015 г. принято Парижское соглашение, основная цель которого – недопущение глобального повышения средней температуры к 2100 году более чем на  $2^\circ\text{C}$  по сравнению с доиндустриальным уровнем.

**Цель исследований:** определение потенциальной продуктивности лесов Московского региона и ее нереализованного потенциала в условиях происходящих климатических изменений.

#### Материалы и методы исследований.

В работе используются результаты многолетних наблюдений на Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева [20], метеостанции ВДНХ и архивные данные метеостанции Константиновского межевого института.

Для оценки влияния изменений обеспеченности теплом и влагой на леса применяются методы, основанные на зависимости потенциальной производительности от климатических факторов. К наиболее известным методам относится климатический индекс, разработанный S.S. Paterson [21], или климатическая модель продуктивности растительности CVP (Climate Vegetation Productivity). S.S. Paterson [21] отмечал, что производительность древостоя определяется преимущественно климатическими факторами (например, солнечной радиацией, благоприятной температурой, осадками и продолжительностью вегетационного периода) в любых регионах, где сформировались почвы. Модель (индекс) CVP

разработана для прогнозирования максимального потенциального прироста древесины по запасу. Показатель рассчитывается по формуле:

$$I_{CVP} = \frac{T_v \times P \times G \times E}{T_a \times 12}, \quad (1)$$

где  $I_{CVP}$  – индекс S.S. Paterson;  $T_v$  – средняя температура самого теплого месяца,  $^\circ\text{C}$ ;  $T_a$  – разность между средней температурой самого теплого и холодного месяцев,  $^\circ\text{C}$ ;  $P$  – годовое количество осадков, мм;  $G$  – продолжительность вегетационного периода, месяц;  $E$  – количество поступающей солнечной радиации относительно полюса.

Продолжительность вегетационного периода оценивалась по критерию [22, 23], согласно которому сезон вегетации охватывает месяцы: i) со средней температурой от  $6^\circ\text{C}$ ; ii) с достаточным количеством осадков. Обеспеченность осадками определяется по индексу E. De Martonne [24], который должен составлять более 20 [23]:

$$I = \frac{12 \times P}{T + 10}, \quad (2)$$

где  $I$  – индекс E. De Martonne,  $\text{мм}^\circ\text{C}$ ;  $P$  – месячная сумма осадков, мм;  $T$  – средняя месячная температура,  $^\circ\text{C}$ .

В зарубежных исследованиях показана [22, 23] целесообразность замены показателя инсоляции  $E$ , отвечающего за интенсивность эвапотранспирации [21], на модифицированный показатель  $f$  [26], который позволяет лучше отражать особенности небольших территорий. Показатель  $f$  определяется по формуле [23]:

$$f = \frac{2500}{n_{sun} + 1000}, \quad (3)$$

где  $f$  – модифицированный показатель инсоляции;  $n_{sun}$  – годовое количество часов солнечного сияния.

Для CVP имеется ряд ограничений, которые связаны с тем, что он не учитывает почвенные условия, а для расчета используются климатические параметры, исключаяющие, например, влияние экспозиции склонов, изолированность участков [27]. Но поскольку расчет индекса не зависит от конкретных условий, то он не зависит от свойств отдельных лесных насаждений и эдафических факторов [28]. Для индекса CVP существует связь с потенциальной производительностью древостоев (текущий прирост по запасу древесины), которая выражается уравнением [21, 26]:

$$Y = 5,20 \times \log I_{CVP} - 7,25, \quad (4)$$

где  $Y$  – потенциальная продуктивность лесов,  $\text{м}^3 \times \text{га}^{-1} \times \text{год}^{-1}$ ;  $I_{CVP}$  – индекс S.S. Paterson.

**Результаты и их обсуждение.** Наиболее продолжительные ряды наблюдений за климатическими параметрами в Европейской части

России накоплены для Москвы. Изменение среднегодовой температуры с 1821 г. и годового количества осадков с 1881 г. показано на рисунке 1. Усредненная динамика временного ряда изменения среднегодовой температуры демонстрирует, что с 1821 по 1875 гг. произошло ее уменьшение с 4,8°C до 3,8°C. В период между 1875 и 1910 гг. среднегодовая температура стабилизировалась (около 3,7°C), а в дальнейшем начался ее рост, который наиболее интенсивно происходил после 1950 г.

Таким образом, в среднем к 2020 г. среднегодовая температура повысилась до 7,2°C. За последние 120 лет в среднем температура воздуха увеличилась на 3,3°C, или на 0,28°C за десятилетие. Если рассматривать только линейную зависимость динамики среднегодовых температур с 1976 по 2020 гг., то за этот промежуток они в Москве возросли на 2,6°C, или рост составил 0,60°C за десятилетие, что превышает среднее значение за аналогичный временной период для всей территории России.

Для территории России преобладающей является тенденция повышения выпадающих осадков с 1976 г.: изменение составляет 2,2% от нормы за 10 лет [29]. Наиболее значительные изменения характерны для регионов Средней (3,3% от нормы за 10 лет) и Восточной Сибири (3,0% от нормы за 10 лет). Для Европейской части России увеличение составило 0,9% от нормы за 10 лет, но для регионов Центрального, Приволжского и Южного федерального округов наблюдается незначительное убывание (-1,1...-0,2% от нормы за 10 лет). Региональные изменения количества осадков проявляются на фоне существенных колебаний с периодом в несколько десятилетий. Поэтому достоверно можно судить только о проявлении определенной фазы таких колебаний.

Для территории Москвы в изменении количества осадков с 1881 по 2020 гг. прослеживается линейная зависимость. В среднем в год увеличение количества осадков составило 1,1 мм. Таким образом, если в 1881 г. в среднем выпадало 579 мм, то в 2020 г. – 729 мм (+150 мм), или рост составил 1,5% от нормы за 10 лет. Если отдельно вы-

делить только динамику с 1976 по 2020 гг. ( $y = -0,815x + 2343,4$ ;  $R^2 = 0,008$ ), то за этот промежуток количество осадков в Москве уменьшилось в среднем на 35 мм в год, или изменение составило -1,2% от нормы за 10 лет.

Согласно произведенным расчетам вместе с увеличением среднегодовой температуры воздуха и количества осадков за последние 100 лет произошло увеличение вегетационного периода, которое составило приблизительно 20 дней. На рисунке 2 представлена динамика индекса CVP, рассчитанного по климатическим данным для Москвы. Часть криволинейной зависимости показывает, что с 1881 по 1940 гг. значение индекса оставалось приблизительно стабильным и составляло около 125. После 1940 г. началось его увеличение, а максимальная интенсивность роста наблюдается после 1980 г. Таким образом, к началу 2020 г. усредненная оценка CVP приблизилась к 225. С 1881 по 2020 гг. увеличение CVP составило в среднем 100.

В конце XIX в. потенциальная продуктивность лесов в условиях Москвы составляла в среднем  $3,1 \text{ м}^3 \times \text{га}^{-1} \times \text{год}^{-1}$  (рис. 2). К середине XX в. она приблизилась к  $4,0 \text{ м}^3 \times \text{га}^{-1} \times \text{год}^{-1}$  и к началу 2020 г. возросла до  $5,0 \text{ м}^3 \times \text{га}^{-1} \times \text{год}^{-1}$ . Таким образом, за последние 120 лет в среднем потенциальная продуктивность лесов увеличилась на  $1,9 \text{ м}^3 \times \text{га}^{-1} \times \text{год}^{-1}$ .

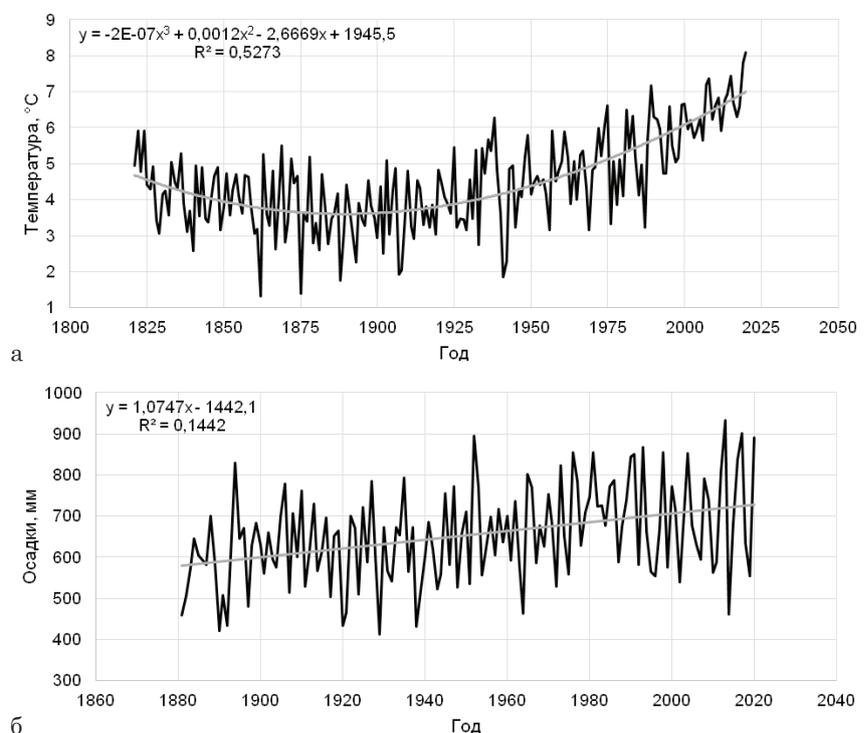


Рис. 1. Динамика климатических показателей в Москве: а) среднегодовая температура; б) годовое количество осадков

Fig. 1. Dynamics in climatic indicators in Moscow: a) average annual temperature, b) annual precipitation

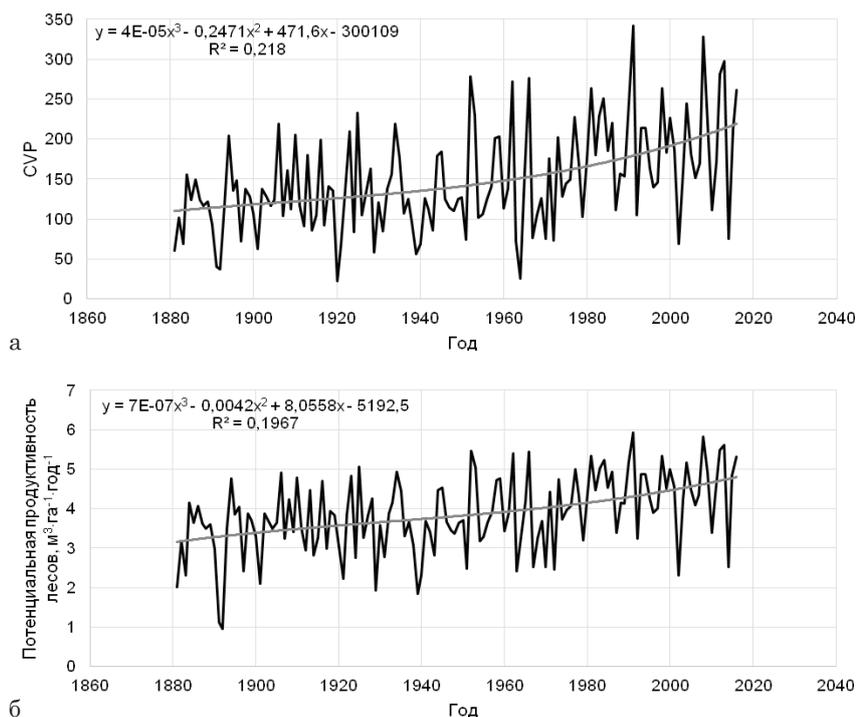


Рис. 2. Изменение:

- а) индекса CVP;  
б) потенциальной продуктивности лесов в условиях Москвы

Fig. 2. Changes in:

- а) the CVP index  
and б) the potential productivity of forests in the conditions of Moscow

В лесохозяйственных исследованиях не существует единого показателя, основанного на параметрах окружающей среды, который представлял бы достаточную точность в оценке продуктивности лесов. Значения прироста лесов, полученные на основании CVP, не учитывают влияние хозяйственной деятельности, загрязнений окружающей среды, поэтому по ним можно судить только об изменениях годовых запасов древесины на фоне климатических параметров, участвующих в расчете.

Площадь лесов Подмоскovie составляет 2179,4 тыс. га, а ежегодный прирост – 6,6 млн м<sup>3</sup> [30], поэтому прирост в год на 1 га площади составляет 3,0 м<sup>3</sup>. Отсюда нереализованный потенциал прироста древесины в настоящее время составляет около 2,0 м<sup>3</sup>×га<sup>-1</sup>×год<sup>-1</sup>. С учетом прогнозируемых климатических изменений М.С. Солдатов и соавт. [31] отмечают, что прирост

древесины в лесах Московской области к 2045-2065 гг. увеличится до 4,96 м<sup>3</sup>×га<sup>-1</sup>×год<sup>-1</sup>. В условиях увеличения среднегодовой температуры, количества осадков, продолжительности вегетационного периода важной задачей лесного хозяйства должна являться адаптация лесохозяйственных мероприятий к текущим изменениям с целью повышения продуктивности лесов и уровня предоставления экосистемных услуг [32, 33].

С учетом прогнозируемых климатических изменений [9] к первоочередным хозяйственным мероприятиям стоит отнести регулирование породного состава с целью недопущения нежелательной смены древесных пород, охрану лесов от пожаров, проведение лесозащитных мероприятий, направленных на профилактику болезней и вспышек численности вредителей, а также последствий неблагоприятных погодных явлений.

## Выводы

За последние 100 лет произошли значительные изменения климатических условий роста древостоев, протекающих на фоне увеличения концентраций в атмосфере парниковых газов: повышение среднегодовой температуры (более чем в 2 раза по сравнению с началом XX в.) и увеличение продолжительности вегетационного периода (в среднем на 30-40 дней); изменение годового количества осадков и их перераспределение по сезонам года.

Вне зависимости от того, каким образом климатические изменения будут происходить в будущем, в ближайшие десятилетия необходимы мероприятия, направленные на адаптацию лесного хозяйства к новым условиям.

## References

- Список использованных источников**
1. **Замолодчиков Д.Г.** Естественная и антропогенная концепции современного потепления климата // Вестник Российской академии наук. 2013. Т. 83, № 3. С. 227-235.
  2. **Снакин В.В.** Глобальные изменения климата: прогнозы и реальность // Жизнь Земли. 2019. Т. 41, № 2. С. 148-164.
  3. **Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Чистяков С.А.** Влияние климатических изменений на динамику природных процессов в заповеднике «Кологривский лес»

1. **Zamolodchikov D.G.** Natural and anthropogenic concepts of modern climate warming // Bulletin of the Russian academy of sciences. 2013. Vol. 83, No. 3. P. 227-235.
2. **Snakin V.V.** Global climate changes: forecasts and reality // Life of the Earth. 2019. Vol. 41, No. 2. P. 148-164.
3. **Dubenok N.N., Lebedev A.V., Chistyakov S.A.** Influence of climatic changes on the dynamics of natural processes in the reserve "Kologrivskiy les" // Usage and protection of of natural resources in Russia. 2022. No 3(171). P. 52-56.

// Использование и охрана природных ресурсов в России. 2022. № 3(171). С. 52-56.

4. **Pretzsch H., Biber P., Schütze G., Uhl E., Rötzer T.** Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870 // Nature Communications. 2014. № 5. Article number 4967. DOI: 10.1038/ncomms5967.

5. **Socha J., Solberg S., Tymińska-Czabańska L., Tompalski P., Vallet P.** Height growth rate of Scots pine in Central Europe increased by between 1900 and 2000 due to changes in site productivity // Forest Ecology and Management. 2021. Vol. 490. id 119102. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119102.

6. **Lebedev A.V.** Changes in the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in an urban environment in European Russia since 1862 // Journal of Forestry Research. 2022. DOI: 10.1007/s11676-022-01569-z.

7. **Лебедев А.В., Кузьмичев В.В.** Изменения биомассы деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Европе с 1940 года // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. № 234. С. 6-22. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.234.6-22.

8. **Lebedev A., Kuzmichev V.** Changes of tree stem biomass in European forests since 1950 // Journal of Forest Science. 2022. Vol. 68, № 3. Pp. 107-115. DOI: 10.17221/135/2021-JFS.

9. **Замолодчиков Д.Г., Краев Г.Н.** Влияние изменения климата на леса России: зафиксированные воздействия и прогнозные оценки // Устойчивое лесопользование. 2016. № 4. С. 23-31.

10. **Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М., Фролов И.Е.** Что происходит с климатом Земли? // Экологический вестник России. 2012. № 5. С. 34-41.

11. **Akasofu S.** – I. On the recovery from the Little Ice Age // Natural Science. 2010. Vol. 2, № 11. Pp. 1211-1224. DOI: 10.4236/ns.2010.211149.

12. **Кляшторин Л.Б.** Сравнительная динамика глобального и арктического климата. Возможность прогнозирования // Глобальные экологические процессы: материалы Международной научной конференции. М.: Academia, 2012. С. 46-52.

13. **Hansen J., Sato M., Ruedy R., Lacis A., Oinas V.** Global warming in the twenty-first century: An alternative scenario // PNAS. 2000. № 97(18). Pp. 9875-9880. DOI: 10.1073/pnas.170278997.

14. **Котляков В.М.** О причинах и следствиях современных изменений климата Котляков // Солнечно-земная физика. 2012. Вып. 21. С. 110-114.

15. **Бондаренко Л.В., Маслова О.В., Белкина А.В., Сухарева К.В.** Глобальное изменение климата и его последствия // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. 2018. № 2. С. 84-93. DOI: 10.21686/2413-2829-2018-2-84-93.

16. **Шрайбер В.М.** Из истории исследований парникового эффекта земной атмосферы // Биосфера. 2013. Т. 5, № 1. С. 37-46.

17. **Семенов С.М.** Парниковый эффект: открытие, развитие концепции, роль в формировании глобального климата и его антропогенных изменений // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. Т. 2. С. 103-126.

18. **Денисов С.Н., Елисеев А.В., Мохов И.И.** Вклад естественных и антропогенных эмиссий CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в атмосферу с территории России в глобальные изменения климата в XXI веке // Доклады Академии наук. 2019. Т. 488, № 1. С. 74-80. DOI: 10.31857/S0869-5652488174-80.

19. **Лукина Н.В.** Глобальные вызовы и лесные экосистемы // Вестник РАН. 2020. Т. 90, № 6. С. 528-532. DOI: 10.31857/S0869587320060080.

4. **Pretzsch H.** Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870 / H. Pretzsch, P. Biber, G. Schütze, E. Uhl, T. Rötzer // Nature Communications. 2014. № 5. Article number 4967. – DOI: 10.1038/ncomms5967.

5. **Socha J.** Height growth rate of Scots pine in Central Europe increased by between 1900 and 2000 due to changes in site productivity / J. Socha, S. Solberg, L. Tymińska-Czabańska P., Tompalski P. Vallet // Forest Ecology and Management. 2021. Vol. 490. id 119102. – DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119102.

6. **Lebedev A.V.** Changes in the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in an urban environment in European Russia since 1862 // Journal of Forestry Research. 2022. – DOI: 10.1007/s11676-022-01569-z.

7. **Lebedev A.V.** Changes in the biomass of trees of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Europe since 1940 / A.V. Lebedev, V.V. Kuzmichev // Izvestiya of Saint-Peterburg forestry academy. 2021. № 234. P. 6-22. – DOI: 10.21266/2079-4304.2021.234.6-22.

8. **Lebedev A.** Changes of tree stem biomass in European forests since 1950 / A. Lebedev, V. Kuzmichev // Journal of Forest Science. 2022. Vol. 68, No. 3. P. 107-115. – DOI: 10.17221/135/2021-JFS.

9. **Zamolodchikov D., Kraev G.** Influence of climate changes on the forests of Russia: fixed impacts and prognostic estimates. 2016. № 4. P. 23-31.

10. **Gudkovich Z.M.** What is happening to the Earth's climate? / Z.M. Gudkovich, V.P. Karklin, V.M. Smolyanitskiy, I.E. Frolov // Ekologicheskii Vestnik of Russia. 2012. № 5. P. 34-41.

11. **Akasofu S.** – I. On the recovery from the Little Ice Age / S. – I. Akasofu // Natural Science. 2010. Vol. 2, № 11. P. 1211-1224. – DOI: 10.4236/ns.2010.211149.

12. **Klyashtorin L.B.** Comparative dynamics of global and arctic climate. Possibility of forecasting // Global ecological processes: proceedings of the International scientific conference. Moscow, Academia Publ., 2012. P. 46-52.

13. **Hansen J.** Global warming in the twenty-first century: An alternative scenario / J. Hansen, M. Sato, R. Ruedy, A. Lacis, V. Oinas // PNAS. 2000. № 97(18). P. 9875-9880. – DOI: 10.1073/pnas.170278997.

14. **Kotlyakov V.M.** On the causes and consequences of modern climate changes // Solar-terrestrial physics. 2012. Iss. 21., pp. 110-114.

15. **Bondarenko L.V.** Global climate change and its consequences / L.V. Bondarenko, O.V. Maslova, A.V. Belkina, K.V. Sukhareva // Vestnik of the Russian economic university named after G.V. Plekhanov. 2018. № 2. P. 84-93. – DOI: 10.21686/2413-2829-2018-2-84-93.

16. **Shreiber V.M.** From the history of research of the greenhouse effect of the earth's atmosphere. 2013. Vol. 5, No. 1. P. 37-46.

17. **Semenov S.M.** Greenhouse effect: discovery, development of the concept, role in the formation of global climate and its anthropogenic changes // Fundamental and applied climatology. 2015. V. 2. P. 103-126.

18. **Denisov S.N.** Contribution of natural and anthropogenic emissions of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> to the atmosphere from the territory of Russia to global climate changes in the XXI century / S.N. Denisov., A.V. Eliseev, I.I. Mokhov Reports of the Academy of Sciences. 2019. Vol. 488, No. 1, P. 74-80. – DOI: 10.31857/S0869-5652488174-80.

19. **Lukina N.V.** Global challenges and forest ecosystems // Vestnik of RAS. 2020. V. 90, № 6. P. 528-532. – DOI: 10.31857/S0869587320060080.

20. Сенников В.А., Чирков Ю.И., Ларин Л.Г., Огородников Б.И., Полад-заде М.В. Использование агроклиматической информации (по данным 100-летних наблюдений метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона) // Известия ТСХА. 1988. Вып. 3.

21. Paterson S.S. The forest area of the world and its potential productivity: Doctoral thesis. Göteborg: Goteburg University Press, 1956.

22. Benavides R., Roig S., Osoro K. Potential productivity of forested areas based on a biophysical model. A case study of a mountainous region in northern Spain // *Annals of Forest Science*. 2009. № 66 (1). P. 1. DOI: 10.1051/forest/2008080.

23. Diodato N., Bellocchi G. Spatial probability modelling of forest productivity indicator in Italy // *Ecological Indicators*. 2020. № 108. Pp. 105721. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.105721.

24. De Martonne E. Aréisme et index d'aridité // *Comptes Rendus de L'Académie des Sciences*. 1926. № 182. Pp. 1395-1398.

25. Pardé J. A new concept and fruitful: the index C.V.P. // *Rev for Franc*. 1958. № 10. Pp. 195-201.

26. Gandullo J.M., Serrada R. Mapa de productividad potencial forestal de la España peninsular Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, 1977.

27. Rahman Md.S., Akter S., Al-Amin M. Forest and agro-ecosystem productivity in Bangladesh: a climate vegetation productivity approach // *Forest Science and Technology*. 2015. № 11 (3). Pp. 126-132. DOI: 10.1080/21580103.2014.957358.

28. Vanclay J.K. Modelling Forest growth and yield, applications to mixed tropical forests. Wallingford: CAB International, 1994. 313 p.

29. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. М., 2021. 104 с.

30. Пашков А.В. Биоресурсный потенциал лесов Подмосквья как перспектива для ведения лесного хозяйства в регионе // *Лесной вестник*. 2014. № 2-S. С. 91-96.

31. Солдатов М.С., Малхазова С.М., Румянцев В.Ю., Леонова Н.Б. Прогноз изменения прироста древесины в лесах Европейской части России в связи с глобальным потеплением // *Известия РАН. Серия «Географическая»*. 2014. № 2. С. 96-102.

32. Dubenok N.N. Climate Change and Dynamics of the Forest Area at the Forest Experimental Station of the Timiryazev Agricultural Academy since 1862 / N.N. Dubenok, A.V. Lebedev, A.V. Gemonov // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021. P. 012025. – DOI: 10.1088/1755-1315/852/1/012025.

33. Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Гемонов А.В. Гидрологическая роль лесных насаждений малого водосборного бассейна // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2021. № 3. С. 3-6. DOI: 10.31857/S2500262721030017.

20. Sennikov V.A. Use of agroclimatic information (according to the data of 100-year observations of meteorological observatories named after V.A. Mikhelson): methodical instructions / V.A. Sennikov Yu.I. Chirkov, L.G. Larin, B.I. Ogorodnikov, M.V. Polad-zade: *Izvestiya TSHA*, Iss. 3, 1988.

21. Paterson S.S. The forest area of the world and its potential productivity: Doctoral thesis. Göteborg: Goteburg University Press, 1956.

22. Benavides R., Roig S., Osoro K. Potential productivity of forested areas based on a biophysical model. A case study of a mountainous region in northern Spain / R. Benavides, S. Roig, K. Osoro // *Annals of Forest Science*. 2009. № 66 (1). P. 1. – DOI: 10.1051/forest/2008080.

23. Diodato N. Spatial probability modelling of forest productivity indicator in Italy / N. Diodato, G. Bellocchi // *Ecological Indicators*. 2020. № 108. P. 105721. – DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.105721.

24. De Martonne E. Aréisme et index d'aridité / E. De Martonne // *Comptes Rendus de L'Académie des Sciences*. 1926. № 182. P. 1395-1398.

25. Pardé J. A new concept and fruitful: the index C.V.P. / J. Pardé // *Rev for Franc*. 1958. № 10. P. 195-201.

26. Gandullo J.M. Mapa de productividad potencial forestal de la España peninsular / J.M. Gandullo, R. Serrada. Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, 1977.

27. Rahman Md.S. Forest and agro-ecosystem productivity in Bangladesh: a climate vegetation productivity approach / Md.S. Rahman, S. Akter, M. Al-Amin // *Forest Science and Technology*. 2015. № 11 (3). P. 126-132. – DOI: 10.1080/21580103.2014.957358.

28. Vanclay J.K. Modelling Forest growth and yield, applications to mixed tropical forests / J.K. Vanclay. Wallingford: CAB International, 1994. 313 p.

29. Report on climate features in the Russian Federation for 2020. Moscow, 2021. 104 p.

30. Pashkov A.V. Bioresource potential of the forests of the Moscow region as a perspective for forest management in the region. 2014. No. 2-S. P. 91-96.

31. Soldatov M.S. Forecast of changes in wood growth in the forests of the European part of Russia in connection with global warming / M.S. Soldatov, S.M. Malkhazova., V.Yu. Rumyantsev. N.B. Leonova. *Izvestiya of RAS. The series is geographical*. 2014. № 2. P. 96-102.

32. Dubenok N.N. Climate Change and Dynamics of the Forest Area at the Forest Experimental Station of the Timiryazev Agricultural Academy since 1862 / N.N. Dubenok, A.V. Lebedev, A.V. Gemonov // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021. P. 012025. – DOI: 10.1088/1755-1315/852/1/012025.

33. Dubenok N.N. Hydrological role of forest plantations of the small water basin / N.N. Dubenok, A.V. Lebedev, A.V. Gemonov // *Russian agricultural science*. 2021. No 3. P. 3-6. – DOI: 10.31857/S2500262721030017.

#### Критерии авторства / Authorship criteria

Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Градусов В.М. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись.

Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Градусов В.М. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов /

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 17.04.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 28.08.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 28.08.2023

Dubenok N.N., Lebedev A.V., Gradusov V.M. carried out theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote a manuscript.

Dubenok N.N., Lebedev A.V., Gradusov V.M. have a copyright to the article and are responsible for plagiarism.