

Научная статья  
УДК 630.181  
EDN PBHNDH  
DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2025.1.04

## Потенциальная древесная продуктивность лесов Московской обл. в условиях изменения климата

**Николай Николаевич Дубенок<sup>1</sup>**  
доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН

**Александр Вячеславович Лебедев<sup>2</sup>**  
доктор сельскохозяйственных наук

**Дарья Юрьевна Гостева<sup>3</sup>**

**Аннотация.** Изменение климатических условий требует актуализации сведений о потенциальной продуктивности лесов Московской обл. на основе данных метеорологических наблюдений и прогнозных сценариев на 2071–2100 гг. При исследовании использованы многолетние ряды наблюдений, полученные с метеостанций ФГБУ «Центральное УГМС», и данные о приросте запаса древесины из Лесного плана Московской области. Отмечено повышение среднегодовой температуры воздуха в регионе в среднем на 2,2 °С и увеличение количества осадков на 100 мм. Для прогнозирования потенциальной продуктивности лесов использован климатический индекс Патерсона (CVP). Выявлено повышение потенциальной продуктивности лесов: в северной части региона – на 21%, в восточной – на 36%, в южной – на 34%, в западной – на 57%. Сопоставление средних значений потенциальной продуктивности лесов, рассчитанных на основе метеорологических данных и информации государственной лесной статистики, позволило определить нереализованную нишу прироста. Проанализированы материалы глобальной климатической базы Chelsa за 1981–2010 гг. и прогнозные оценки на 2071–2100 гг. для трёх сценариев. Установлено, что к 2100 г. ожидается рост потенциальной продуктивности лесов Подмосковья для сценария SSP1-RCP2.6 на 10%, сценария SSP3-RCP7.0 – на 26%, сценария SSP5-RCP8.5 – на 32%. Сделан вывод, что необходимо разработать специальный режим ведения лесного хозяйства на территории региона в условиях потепления климата и повышения потенциальной продуктивности лесов.

**Ключевые слова:** изменение климата, Московская область, потенциальная продуктивность лесов, климатический индекс.

**Для цитирования:** Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Гостева Д.Ю. Потенциальная древесная продуктивность лесов Московской обл. в условиях изменения климата. – Текст : электронный // Лесохозяйственная информация. 2025. № 1. С. 36–48. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2025.1.04. <https://elibrary.ru/pbhdnh>.

<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, заведующий кафедрой сельскохозяйственных мелиораций, профессор (Москва, Российская Федерация), [ndubenok@rgau-msha.ru](mailto:ndubenok@rgau-msha.ru)

<sup>2</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, доцент кафедры землеустройства и лесоводства, доцент (Москва, Российская Федерация), [alebedev@rgau-msha.ru](mailto:alebedev@rgau-msha.ru)

<sup>3</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, аспирант кафедры землеустройства и лесоводства (Москва, Российская Федерация), [d.gosteva@rgau-msha.ru](mailto:d.gosteva@rgau-msha.ru)

Original article

EDN PBHDNH

DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2025.1.04

## Potential Wood Productivity of Forests of Moscow region in Conditions of Changing Climate

**Nikolay N. Dubenok<sup>1</sup>**

*Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences*

**Aleksandr V. Lebedev<sup>2</sup>**

*Doctor of Agricultural Sciences*

**Darya Yu. Gosteva<sup>3</sup>**

**Abstract.** Changes in climatic conditions require updating of information on potential forest productivity. The aim of the study is to determine the potential productivity of Moscow Oblast forests as a result of climate change according to meteorological observations and forecast scenarios for 2071–2100. Long-term observation series obtained from meteorological stations of FGBU ‘Central UHMS’ and data on wood stock growth from the Forest Plan of the Moscow Region were used. The average annual air temperature in the region increased by an average of 2.2 °C and precipitation increased by 100 mm. The Paterson Climate Index (CVP) was used to predict potential forest productivity. An increase in potential forest productivity was found: in the northern part of the region by 21%, in the eastern part by 36%, in the southern part by 34%, and in the western part by 57%. Comparison of average values of potential forest productivity calculated on the basis of meteorological data and information from the state forest statistics allowed to determine the unrealised growth niche. Materials of the global climatic base Chelsa for the periods 1981–2010 and forecast estimates for 2071–2100 for three scenarios were analysed. It was found that by 2100 the potential productivity of forests in the Moscow region is expected to increase by 10% for the SSP1-RCP2.6 scenario, 26% for the SSP3-RCP7.0 scenario, and 32% for the SSP5-RCP8.5 scenario. It is necessary to transform the regime of forest management in the territory of the region in the conditions of climate warming and increase of potential forest productivity.

**Key words:** climate change, Moscow region, potential forest productivity, climate index

**For citation:** Dubenok N., Lebedev A., Gosteva D. Potential Wood Productivity of Forests of Moscow region in Conditions of Changing Climate. – Text : electronic // Forestry Information. 2025. № 1. P. 36–48. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2025.1.04. <https://elibrary.ru/pbhdnh>.

<sup>1</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Head of the Department of Agricultural Land Reclamation, Professor (Moscow, Russian Federation), [ndubenok@rgau-msha.ru](mailto:ndubenok@rgau-msha.ru)

<sup>2</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Associate Professor of the Department of Land Management and Forestry, Associate Professor (Moscow, Russian Federation), [alebedev@rgau-msha.ru](mailto:alebedev@rgau-msha.ru)

<sup>3</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Graduate Student of the Department of Land Management and Forestry (Moscow, Russian Federation), [d.gosteva@rgaumcxa.ru](mailto:d.gosteva@rgaumcxa.ru)

## Введение

В течение последних десятилетий проблема изменения климата приобрела глобальное значение, что проявляется через все климатические характеристики: температура и влажность воздуха, количество и равномерность осадков, атмосферное давление, скорость и направление ветра [1, 2]. Согласно данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с 1976 по 2020 г. среднегодовое повышение температуры воздуха в России составило 0,51 °С за десятилетие [3]. В большинстве регионов Российской Федерации за аналогичный период наблюдается тенденция увеличения годовых сумм атмосферных осадков в среднем со скоростью 2,2% за десятилетие. Однако в некоторых районах отмечено снижение количества осадков. Ещё одним проявлением изменения климата является увеличение частоты аномальных погодных явлений, таких как засухи, паводки, смерчи, ураганные ветры, стихийные пожары и др. [4].

Глобальное изменение климата представляет собой сложный многофакторный процесс. К основным причинам потепления климата относят естественные природные процессы, связанные с цикличностью климата [5], и антропогенное воздействие на окружающую среду, повышающее уязвимость лесов к климатическим изменениям [2]. Влияние хозяйственной деятельности человека на природную среду в дальнейшем может привести к серьёзным негативным последствиям для всего живого на Земле. Одним из проявлений антропогенного воздействия является накопление в атмосфере парниковых газов. Сжигание органического и углеводородного сырья, промышленные выбросы, автомобильные выхлопы, бурное развитие сельского хозяйства, рубка лесов и лесные пожары приводят к интенсивному выбросу в атмосферу таких газов, как диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ), окись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ), озон ( $\text{O}_3$ ) и хлорфторуглероды, которые способны поглощать и удерживать тепловое излучение, исходящее от земной поверхности. В результате повышается температура тропосферы

и изменяются климатические условия на планете, что в условиях растущей индустриализации и увеличения потребления энергии человеком может привести к глобальной катастрофе [6, 7].

Изменение климатических факторов оказывает существенное воздействие на леса: на видовое разнообразие лесных насаждений, продуктивность и рост древостоев, а также на выполнение лесохозяйственных мероприятий (изменение сроков лесозаготовок, проведения лесокультурных работ и др.) [8]. Засушливые периоды, характеризующиеся длительным отсутствием осадков, могут привести к учащению случаев возникновения лесных пожаров и появления очагов вредителей и болезней. Климатические изменения оказывают влияние на ареалы распространения древесных растений и границы распространения лесов, способствуя сокращению площади коренных лесов и распространению инвазивных видов растений [9–11]. Вследствие роста температуры в приземном слое атмосферы и уменьшения почвенной влаги возможна смена растительности полузасушливых зон на растительность аридных зон, а также полное исчезновение таежных лесов. Можно предположить, что лиственные породы деревьев окажутся более устойчивыми к условиям изменяющегося климата в отличие от хвойных. В результате площади, занятые погибшими хвойными насаждениями, в последующем могут зарости пионерными видами древесных пород [12].

В условиях изменения климата одной из приоритетных задач является повышение потенциальной продуктивности лесов и улучшение их состояния, что позволит сохранить экологическую устойчивость природных территорий [10]. При исследовании потенциальной продуктивности лесных экосистем необходимо принимать во внимание периодический закон географической зональности, который описывает разделение поверхности Земли на зоны в зависимости от количества поступающих тепла и влаги, а также соотношение этих показателей. Периодический закон географической зональности основывается на индексе радиационной сухости, который представляет собой количественную характеристику

соотношения тепла и увлажнения в данной местности [13]. Одним из самых известных климатических индексов для прогнозирования продуктивности лесов является индекс CVP (Climate Vegetation and Productivity) Патерсона [14]. С.С. Патерсон определил индекс CVP как один из важных методов оценки продуктивности лесных насаждений, основанный на зависимости потенциальной продуктивности от климатических факторов. Индекс CVP имеет ключевое значение для определения потенциала климатической продуктивности любого региона [15].

Цель исследования – определение потенциальной продуктивности лесов Московской обл. в результате климатических изменений по данным метеорологических наблюдений и прогнозных сценариев на 2071–2100 гг.

## Материалы и методы исследования

Материалами исследований стали многолетние ряды наблюдений, полученные с метеорологических станций ФГБУ «Центральное УГМС», и данные о среднем приросте запаса древесины, приведенные в Лесном плане Московской области на 2019–2028 гг. Для отражения разнообразия метеоклиматических условий региона на севере Подмосковья была выбрана метеостанция Клин, на востоке – Павловский Посад, на юге – Серпухов, на западе – метеостанция Можайск. В исследовании использовали метеоданные о среднемесячных и среднегодовых температурах атмосферного воздуха, месячных и годовых осадках с 1930-х гг. по настоящее время [16].

Климатический индекс Патерсона (CVP) применяется для прогнозирования максимального потенциального прироста древесного запаса в лесах [14] и рассчитывается по формуле:

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

где:

$I_{CVP}$  – индекс С.С. Патерсона;

$T_v$  – средняя температура самого теплого месяца, °С;

$P$  – годовое количество осадков, мм;

$G$  – продолжительность вегетационного периода, месяц;

$E$  – количество поступающей солнечной радиации относительно полюса;

$T_a$  – разность между средней температурой самого теплого и холодного месяцев, °С.

Для оценки потенциальной продуктивности древостоев (текущий прирост по запасу древесины) использовали эмпирическое уравнение зависимости от индекса CVP [17]:

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

где:

$Y$  – потенциальная продуктивность лесов, м<sup>3</sup>/га/год;

$I_{CVP}$  – индекс Патерсона.

Исследование пространственной неоднородности потенциальной продуктивности лесов осуществлялось с использованием климатических данных глобальной базы Chelsa [18] за 1981–2010 гг. и прогнозных оценок на 2071–2100 гг. для трех сценариев: SSP1-RCP2.6, SSP3-RCP7.0 и SSP5-RCP8.5. Для классификации сценариев в структуре SSP-RCP применяют два индекса. Первый означает номер пути социально-экономического развития (SSP) (от 1 до 5), а второй – величину радиационного воздействия (RCP), достигаемого к 2100 г. [19]. Из базы данных Chelsa для исследования были отобраны следующие тематические слои: bio5 (средняя температура самого теплого месяца), bio6 (средняя температура самого холодного месяца), bio12 (годовое количество осадков) и gsl (продолжительность вегетационного периода).

## Результаты и обсуждение

Для понимания региональных процессов изменения климата необходимо учитывать трансформацию среднегодовой температуры воздуха и годовой суммы осадков. Динамика среднегодовой температуры в Московской обл. с 1930 г. по настоящее время, приведенная на

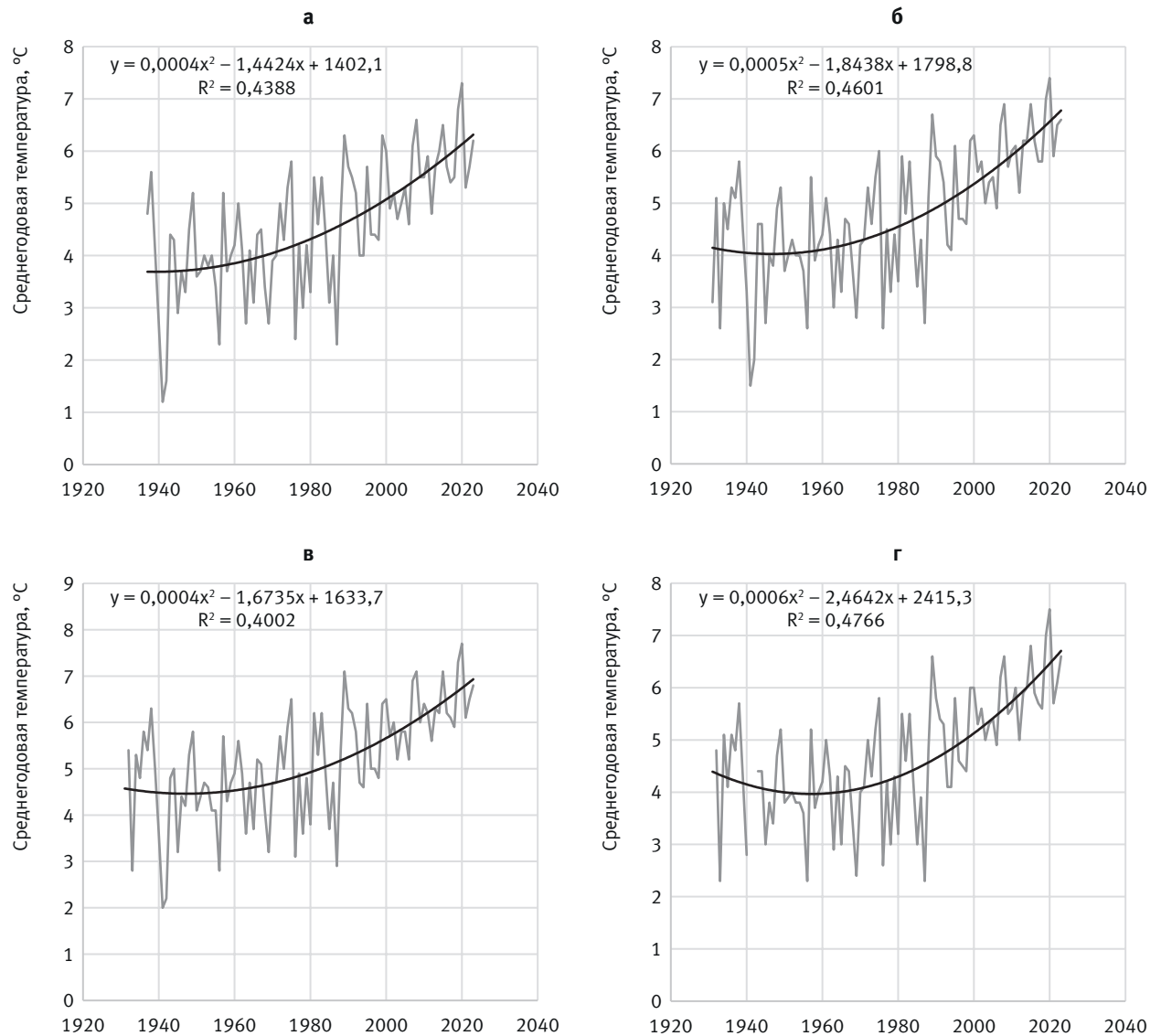
рис. 1, показывает ее увеличение в среднем на 2,2 °С. Среднегодовая температура для севера области возросла с 4,6 до 6,2 °С, востока – с 4,2 до 6,6 °С, юга – с 4,5 до 6,8 °С, запада – с 4,4 до 6,6 °С.

Изменение годовой суммы осадков на территории Московской обл. иллюстрирует рис. 2. Линейный тренд показывает увеличение количества осадков на территории региона от начала рассматриваемого периода до настоящего времени. Однако для восточной части Подмосковья с 2005 г. отмечается снижение годовой суммы осадков. Анализ графиков позволяет сделать вывод о том, что в среднем по Московской обл.

за рассматриваемый период количество осадков увеличилось на 100 мм.

Динамика потенциальной продуктивности лесов, рассчитанная на основании индекса Патерсона для территории Московской обл., показана на рис. 3. Усредненный тренд временного ряда демонстрирует увеличение этого показателя для северной части региона на 21% (с 3,3 до 4,0 м<sup>3</sup>/га/год), для восточной – на 36% (с 3,3 до 4,5 м<sup>3</sup>/га/год), для южной – на 34% (с 2,9 до 3,9 м<sup>3</sup>/га/год), для западной – на 57% (с 2,8 до 4,4 м<sup>3</sup>/га/год).

Расчетные значения потенциальной продуктивности лесов согласуются с данными о среднем



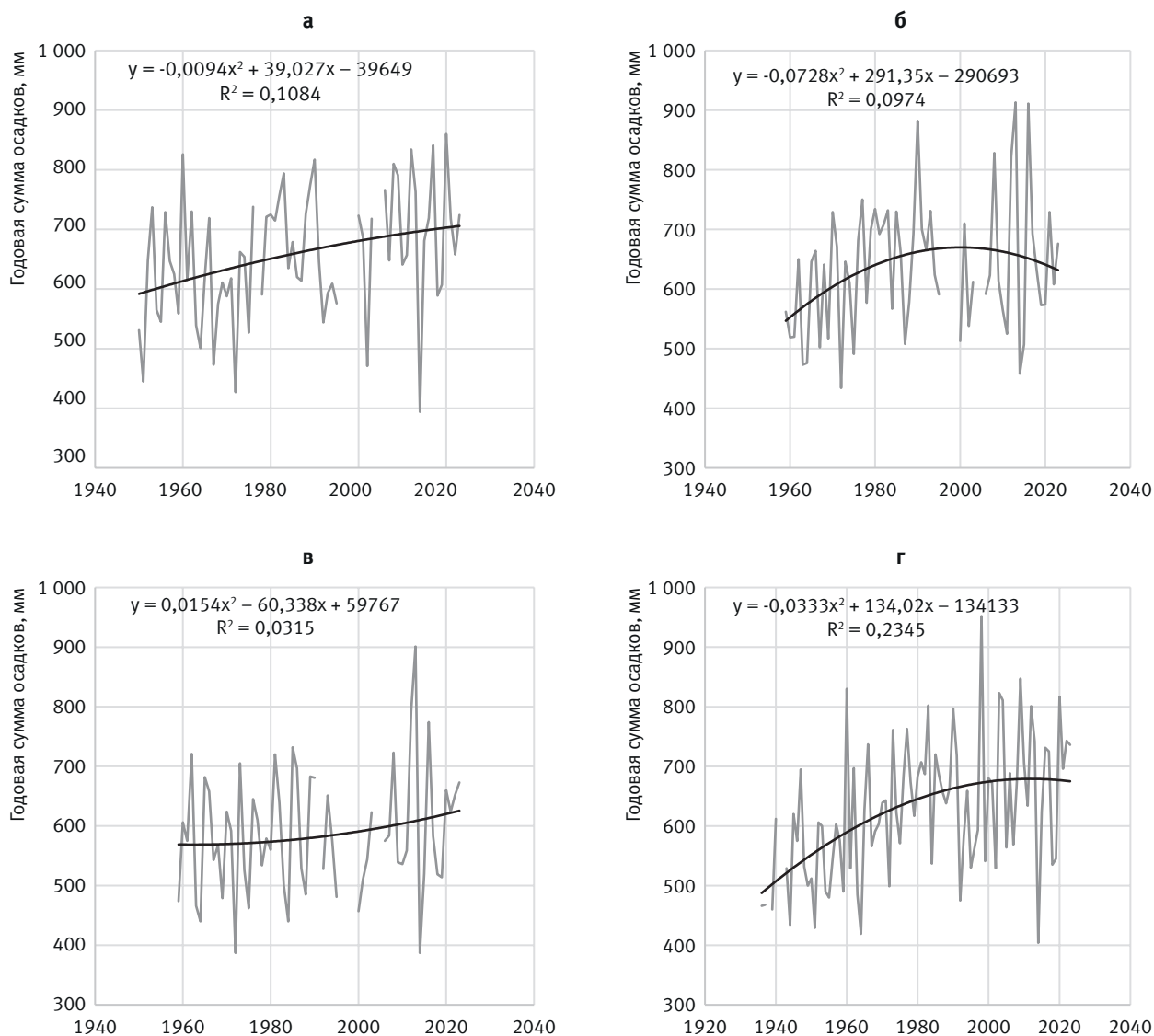
**Рис. 1. Динамика среднегодовой температуры воздуха в Московской обл. по данным метеостанций: а) Клин, б) Павловский Посад, в) Серпухов, г) Можайск**

приросте запаса лесных насаждений по лесничествам Московской обл. (таблица). С 2013 по 2018 г. произошло увеличение прироста древесины для Подмоскovie в среднем на 0,4 м<sup>3</sup>/га, однако в Звенигородском, Истринском и Подольском лесничествах отмечено его снижение в среднем на 0,2 м<sup>3</sup>/га.

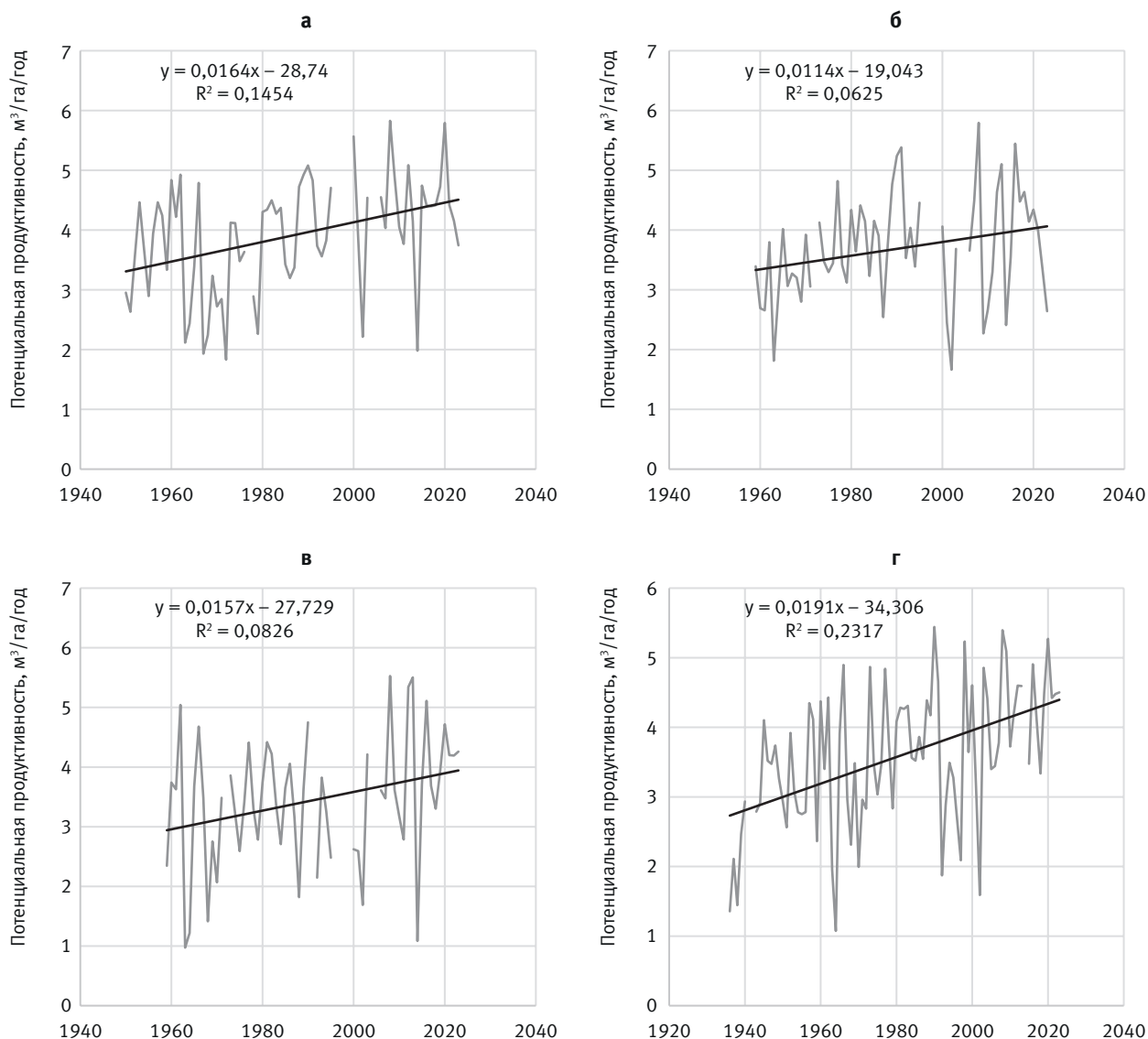
На основании данных метеорологических наблюдений и государственной лесной статистики были сопоставлены значения среднего и текущего приростов запаса древесины. Для Клинского лесничества (ст. Клин) расхождение между фактическим и расчетным значениями составило 0,8 м<sup>3</sup>/га/год (22%), для лесничества

«Русский лес» (ст. Серпухов) – 0,2 м<sup>3</sup>/га/год (4%), для Ногинского лесничества (ст. Павловский Посад) – 0,5 м<sup>3</sup>/га/год (10%), для Бородинского лесничества (ст. Можайск) – 0,1 м<sup>3</sup>/га/год (3%). Сравнение значений показателей фактического и потенциального приростов позволило выявить нереализованную нишу прироста. Повышение уровня фактической древесной продуктивности может быть обеспечено путём реализации комплекса лесохозяйственных мероприятий.

На рис. 4 представлены модельные оценки потенциальной продуктивности лесов (м<sup>3</sup>/га/год) Московской обл. В XXI в. в условиях стабильного социально-экономического развития и снижения



**Рис. 2. Динамика годовой суммы осадков в Московской обл. по данным метеостанций: а) Клин, б) Павловский Посад, в) Серпухов, г) Можайск**



**Рис. 3. Динамика потенциальной продуктивности лесов Московской обл.: а) Клин, б) Павловский Посад, в) Серпухов, г) Можайск**

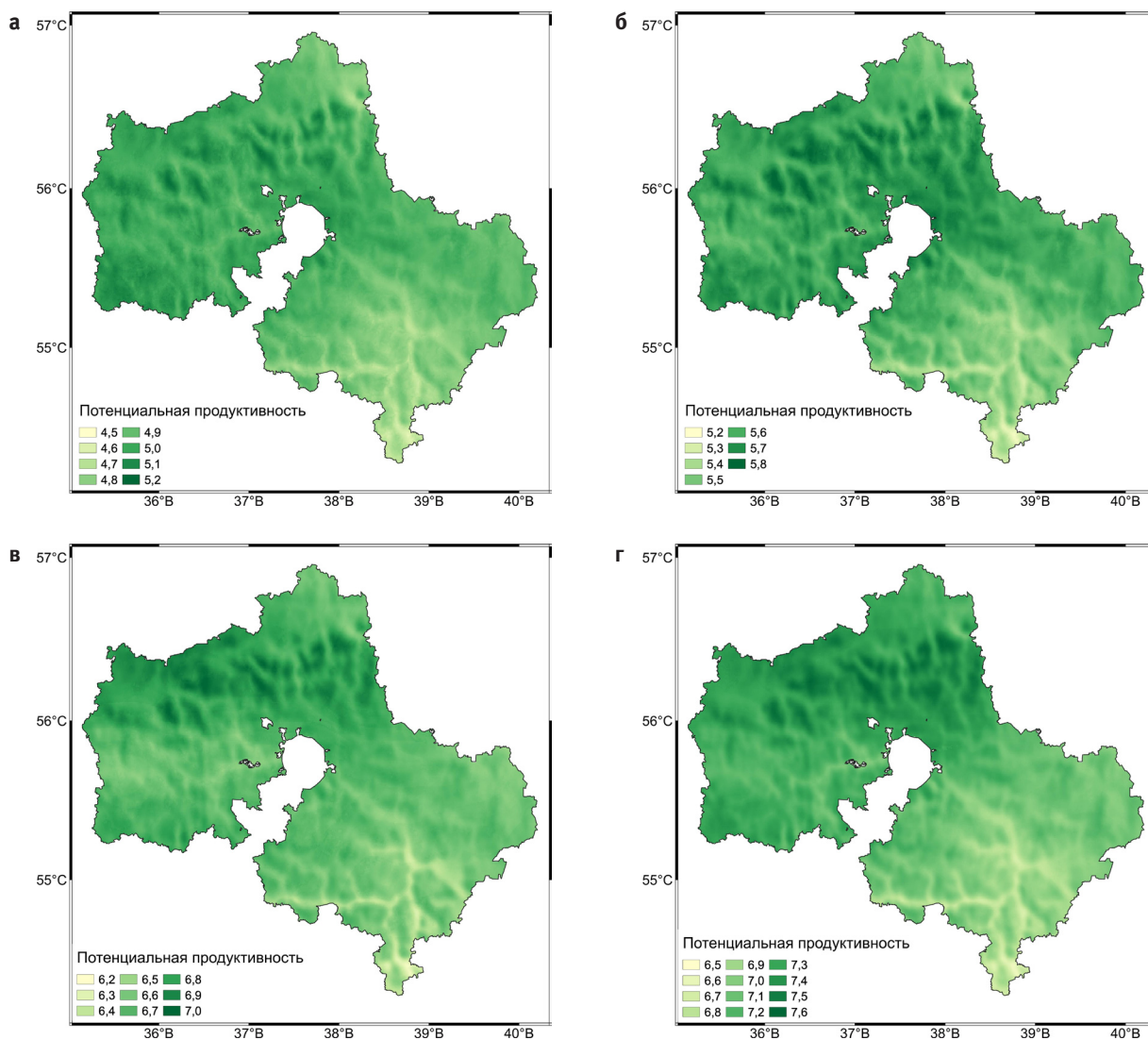
**Динамика изменения среднего прироста запаса лесных насаждений по лесничествам Московской обл. с 2013 по 2018 г.**

Лесничество	Средний прирост запаса древесины, м³/га		Разница, м³/га
	На 01.01.2013	На 01.01.2018	
Бородинское	3,7	4,0	0,3
Виноградовское	3,1	3,8	0,7
Волоколамское	3,5	3,8	0,3
Дмитровское	3,4	3,8	0,4
Егорьевское	3,6	3,8	0,2
Звенигородское	3,4	3,2	-0,2
Истринское	3,4	3,1	-0,3
Клинское	3,4	3,6	0,2
Луховицкое	3,4	3,9	0,5



ОКОНЧАНИЕ ТАБЛИЦЫ

ЛЕСНИЧЕСТВО	СРЕДНИЙ ПРИРОСТ ЗАПАСА ДРЕВЕСИНЫ, М <sup>3</sup> /ГА		РАЗНИЦА, М <sup>3</sup> /ГА
	НА 01.01.2013	НА 01.01.2018	
Наро-Фоминское	3,5	3,6	0,1
Ногинское	3,2	3,8	0,6
Орехово-Зуевское	3,3	3,6	0,3
Подольское	3,5	3,3	-0,2
Сергиево-Посадское	2,9	3,5	0,6
Ступинское	3,4	3,9	0,5
Талдомское	2,9	3,5	0,6
«Русский лес»	3,4	4,0	0,6
Шатурское	3,5	3,8	0,3
Московское учебно-опытное	3,0	3,6	0,6



**Рис. 4. Модельные оценки потенциальной продуктивности лесов (м³/га/год) Московской обл. (условные обозначения в соответствии с легендами карт): а) климат 1981–2010 гг., б) сценарий SSP1-RCP2.6 на 2071–2100 гг., в) сценарий SSP3-RCP7.0 на 2071–2100 гг., г) сценарий SSP5-RCP8.5 на 2071–2100 гг.**



выбросов парниковых газов (SSP1-RCP2.6) можно предположить, что изменение климата будет происходить относительно медленно и сопровождаться незначительным ростом потенциальной продуктивности лесных экосистем. В то же время, согласно сценариям SSP3-RCP7.0 и SSP5-RCP8.5, предполагающим рост населения и интенсивное экономическое развитие при высоком уровне радиационного воздействия 7,0 и 8,5 Вт/м<sup>2</sup> соответственно, можно прогнозировать усиление глобального потепления, что, в свою очередь, приведет к увеличению потенциальной древесной продуктивности лесов. Анализ изменения потенциальной продуктивности лесов (м<sup>3</sup>/га/год) по сценариям позволяет сделать вывод о росте данного показателя к 2100 г.: в первом случае – на 10% (с 5,2 до 5,8 м<sup>3</sup>/га/год) (рис. 4б), во втором – на 26% (с 5,2 до 7,0 м<sup>3</sup>/га/год) (рис. 4в), в третьем – на 32% (с 5,2 до 7,6 м<sup>3</sup>/га/год) (рис. 4г). Наиболее высокая потенциальная продуктивность лесов характерна для северных и западных районов Подмосковья, в южных и восточных районах значение этого показателя ниже.

Результаты исследования показали, что повышение продуктивности лесов вследствие изменения климата сопровождается трансформацией породного состава и их структуры [20]. Значительная часть лесов Московской обл. относится к зоне хвойно-широколиственных лесов с преобладанием в составе ели, сосны, берёзы и осины [21, 22]. Наиболее уязвимыми породами являются хвойные породы, а именно – ель и сосна [3]. В результате быстрых климатических изменений у сосны и ели наблюдается задержка в адаптации во многих частях природного ареала [23, 24], что сопровождается усилением отпада и снижением прироста. В ближайшие десятилетия требуется разработка комплекса

мероприятий по сохранению биологической устойчивости хвойных насаждений и проведение мониторинга санитарного состояния для своевременного выявления возможных очагов усыхания и развития вредных организмов. Эффективным способом мониторинга в настоящее время считается анализ спутниковых снимков [25]. В случае реализации пессимистических климатических сценариев, облик лесов региона в будущем будут формировать деревья широколиственных (липа, клён, вяз) и мягколиственных (берёза, осина) пород.

## Заключение

Изменение климата в сторону потепления, наблюдаемое в настоящее время, будет способствовать увеличению потенциальной продуктивности лесов, о чем свидетельствует анализ многолетних данных метеорологических наблюдений. Сопоставление рассчитанных и статистических данных позволило выявить нереализованную нишу прироста древесины, что требует адаптации ведения лесного хозяйства в Московской обл. к новым климатическим условиям. В связи с этим необходимо разработать комплекс мероприятий, направленных на снижение негативного воздействия изменения климата на леса и повышение их устойчивости. Следует оптимизировать проведение рубок спелых и перестойных лесных насаждений с научной точки зрения. Важно уделить внимание разработке технологии прогнозирования лесопатологической ситуации и совершенствованию системы для оперативного выявления очагов распространения вредителей и болезней леса. Кроме того, необходимо усилить охрану лесов от пожаров, повышая оперативность обнаружения и ликвидации возгораний.

## Список источников

1. Socha, J. Dynamic site index model and trends in changes of site productivity for *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. in southern Poland / J. Socha, W. Ochał // *Dendrobiology*. – 2017. – Vol. 77. – P. 45–57. – DOI: 10.12657/denbio.077.004.
2. Замолодчиков, Д.Г. Потенциальные уязвимости и адаптация лесов Приморского края к изменениям климата / Д.Г. Замолодчиков // *Вестник ИРГСХА*. – 2013. – № 54. – С. 56–63.
3. Прожерина, Н.А. Изменение климата и его влияние на адаптацию и внутривидовую изменчивость хвойных пород Европейского Севера России / Н.А. Прожерина, Е.Н. Наквасина // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. – 2022. – № 2(386). – С. 9–25. – DOI 10.37482/0536-1036-2022-2-9-25.
4. Роль лесов в адаптации природных систем к изменениям климата / О.Н. Липка, М.Д. Корзунин, Д.Г. Замолодчиков [и др.] // *Лесоведение*. – 2021. – № 5. – С. 531–546. – DOI 10.31857/S0024114821050077.
5. Высоцкая, А.С. Вопросы сохранения и повышения продуктивности лесов в связи с глобальным изменением климата / А.С. Высоцкая, И.В. Овсянников, Т.Г. Коршунова // *Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная : материалы VI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной году экологии в России (Брянск, 26–28 апреля 2017)*. – Брянск : Брянский государственный инженерно-технологический университет, 2017. – С. 35–39.
6. Домрачев, Д.Г. Правовой режим ограничения выбросов парниковых газов как инструмент защиты климата / Д.Г. Домрачев, А.А. Кирилловых // *Теоретическая и прикладная экология*. – 2022. – № 1. – С. 191–197. – DOI 10.25750/1995-4301-2022-1-191-197.
7. Глобальное изменение климата и его последствия / Л.В. Бондаренко, О.В. Маслова, А.В. Белкина, К.В. Сухарева // *Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова*. – 2018. – № 2(98). – С. 84–93.
8. Дубенок, Н.Н. Потенциальная продуктивность лесов Московского региона в связи с климатическими изменениями / Н.Н. Дубенок, А.В. Лебедев, В.М. Градусов // *Природообустройство*. – 2023. – № 5. – С. 118–124. – DOI 10.26897/1997601120235-118-124.
9. Константинов, А.В. Адаптационный потенциал лесных экосистем Российской Федерации в условиях изменений климата : дисс. ... д-ра биол. наук: 06.03.02 / Артем Васильевич Константинов. – Воронеж, 2022. – 458 с.
10. Мартынюк, А.А. Изменения климата и леса: возможные последствия и план действий / А.А. Мартынюк, А.Н. Филипчук // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. – 2017. – Т. 5. – № 1(27). – С. 276–279.
11. Established Invasive Tree Species Offer Opportunities for Forest Resilience to Climate Change. – Текст : электронный / B. Nyssen, J.D. Ouden, A. Bindewald, P.H.S. Brancalion, K. Kremer, K. Lapin, L. Raats, E. Schatzdorfer, J.A. Stanturf, K. Verheyen, B. Muys // *Current Forestry Reports*. – 2024. – Vol. 10. – P. 456–486. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s40725-024-00232-6>.
12. Оценка влияния ожидаемых изменений климата на лесное хозяйство / И.О. Торжков, Е.А. Кушнир, А.В. Константинов [и др.] // *Метеорология и гидрология*. – 2019. – № 3. – С. 40–49.
13. Авла, А.Х.К. Оценка потенциала роста лесов в Иракском Курдистане на основе анализа метеоклиматических данных / А.Х.К. Авла, А.С. Алексеев // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. – 2024. – № 249. – С. 38–54. – DOI 10.21266/2079-4304.2024.249.38-54.
14. Paterson, S.S. The forest area of the world and its potential productivity: Doctoral thesis / S.S. Paterson. – Göteborg : Goteburg University Press, 1956.
15. 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.
16. Лебедев, А.В. Изучение климатических изменений заповедника «Кологривский лес» на основе анализа метеоданных / А.В. Лебедев, В.В. Гостев // *Вклад особо охраняемых природных территорий в экологическую*

устойчивость регионов: Современное состояние и перспективы : материалы Всероссийской (с международным участием) конференции. – Кологрив : Государственный природный заповедник «Кологривский лес» имени М.Г. Синицына, 2018. – С. 88–92.

17. Gandullo, J.M. Mapa de productividad potencial forestal de la Espana peninsular / J.M. Gandullo, R. Serrada. – Madrid : Instituto Nacional de Investigacion y Tecnologia Agraria y Alimentaria, 1977.

18. CHELSA-W5E5: Daily 1km meteorological forcing data for climate impact studies / D.N. Karger, S. Lange, C. Hari, C.P.O. Reyer, O. Conrad, N.E. Zimmermann, K. Frieler // Earth System Science Data. – 2023. – Vol. 15(6). – P. 2445–2464. DOI: 10.5194/essd-15-2445-2023.

19. Сценарные прогнозы изменений климата на территории России в XXI веке на основе ансамблевых расчетов с моделями СМIP6 / В.М. Катцов, Т.В. Павлова, В.А. Говоркова [и др.] // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 2022. – № 604. – С. 5–54.

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

21. Дубенок, Н.Н. Динамика показателей земель лесного фонда и санитарного состояния лесов Московской области / Н.Н. Дубенок, А.В. Лебедев, Д.Ю. Гостева // Орошаемое земледелие. – 2024. – № 2(45). – С. 60–67. – DOI 10.35809/2618-8279-2024-2-10.

22. Коротков, С.А. Смена состава древостоев и устойчивость защитных лесов центральной части Русской равнины / С.А. Коротков. – Москва : АНО «Доблесть эпох», 2023. – 168 с.

23. Прожерина, Н.А. Изменение климата и его влияние на адаптацию и внутривидовую изменчивость хвойных пород Европейского Севера России / Н.А. Прожерина, Е.Н. Наквасина // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2022. – № 2(386). – С. 9–25. – DOI: 10.37482/0536-1036-2022-2-9-25.

24. Range margin populations show high climate adaptation lags in European trees / T. Fréjaville, N. Vizcaino-Palmar, B. Fady, A. Kremer, M. Benito Garzón // Global Change Biology. – 2020. – Vol. 26. – P. 484–495. DOI: 10.1111/gcb.14881.

25. Гостева, Д.Ю. Использование спутниковых данных для мониторинга санитарного состояния лесов / Д.Ю. Гостева, А.В. Лебедев // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : материалы XXI Международной научно-технической конференции. – Вологда : Вологодский государственный университет, 2023. – С. 378–380.

## References

1. Socha, J. Dynamic site index model and trends in changes of site productivity for *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. in southern Poland / J. Socha, W. Ochal // Dendrobiology. – 2017. – Vol. 77. – P. 45–57. – DOI: 10.12657/denbio.077.004.

2. Zamolodchikov, D.G. Potencial'nye uyazvimosti i adaptaciya lesov Primorskogo kraja k izmeneniyam klimata / D.G. Zamolodchikov // Vestnik IrGSHA. – 2013. – № 54. – С. 56–63.

3. Prozherina, N.A. Izmenenie klimata i ego vliyanie na adaptaciyu i vnutrividovuyu izmenchivost' hvoynyh porod Evropejskogo Severa Rossii / N.A. Prozherina, E.N. Nakvasina // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal. – 2022. – № 2(386). – С. 9–25. – DOI 10.37482/0536-1036-2022-2-9-25.

4. Rol' lesov v adaptacii prirodnyh sistem k izmeneniyam klimata / O.N. Lipka, M.D. Korzuhin, D.G. Zamolodchikov [i dr.] // Lesovedenie. – 2021. – № 5. – С. 531–546. – DOI 10.31857/S0024114821050077.

5. Vysockaya, A.S. Voprosy sohraneniya i povysheniya produktivnosti lesov v svyazi s global'nym izmeneniem klimata / A.S. Vysockaya, I.V. Ovsyannikov, T.G. Korshunova // Sreda, okruzhayushchaya cheloveka: prirodnyaya, tekhnogennaya, social'naya : materialy VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov

i molodyh uchenyh, posvyashchennoj godu ekologii v Rossii (Bryansk, 26–28 aprelya 2017). – Bryansk : Bryanskij gosudarstvennyj inzhenerno-tehnologicheskij universitet, 2017. – S. 35–39.

6. Domrachev, D.G. Pravovoj rezhim ogranicheniya vybrosov parnikovyh gazov kak instrument zashchity klimata / D.G. Domrachev, A.A. Kirillovyh // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. – 2022. – № 1. – S. 191–197. – DOI 10.25750/1995-4301-2022-1-191-197.

7. Global'noe izmenenie klimata i ego posledstviya / L.V. Bondarenko, O.V. Maslova, A.V. Belkina, K.V. Suhareva // Vestnik Rossijskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G.V. Plekhanova. – 2018. – № 2(98). – S. 84–93.

8. Dubenok, N.N. Potencial'naya produktivnost' lesov Moskovskogo regiona v svyazi s klimaticheskimi izmeneniyami / N.N. Dubenok, A.V. Lebedev, V.M. Gradusov // Prirodoobustrojstvo. – 2023. – № 5. – S. 118–124. – DOI 10.26897/1997601120235-118-124.

9. Konstantinov, A.V. Adaptacionnyj potencial lesnyh ekosistem Rossijskoj Federacii v usloviyah izmenenij klimata : diss. ... d-ra biol. nauk: 06.03.02 / Artem Vasil'evich Konstantinov. – Voronezh, 2022. – 458 s.

10. Martynyuk, A.A. Izmeneniya klimata i lesa: vozmozhnye posledstviya i plan dejstvij / A.A. Martynyuk, A.N. Filipchuk // Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovanij XXI veka: teoriya i praktika. – 2017. – T. 5. – № 1(27). – S. 276–279.

11. Established Invasive Tree Species Offer Opportunities for Forest Resilience to Climate Change. – Tekst : elektronnyj / V. Nyssen, J.D. Ouden, A. Bindewald, P.H.S. Brancalion, K. Kremer, K. Lapin, L. Raats, E. Schatzdorfer, J.A. Stanturf, K. Verheyen, V. Muys // Current Forestry Reports. – 2024. – Vol. 10. – P. 456–486. – Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1007/s40725-024-00232-6>.

12. Ocenka vliyaniya ozhidaemyh izmenenij klimata na lesnoe hozyajstvo / I.O. Torzhkov, E.A. Kushnir, A.V. Konstantinov [i dr.] // Meteorologiya i gidrologiya. – 2019. – № 3. – S. 40–49.

13. Avla, A.H.K. Ocenka potenciala rosta lesov v Irakskom Kurdistane na osnove analiza meteoklimaticheskih dannyh / A.H.K. Avla, A.S. Alekseev // Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii. – 2024. – № 249. – S. 38–54. – DOI 10.21266/2079-4304.2024.249.38-54.

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

15. 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.

16. Lebedev, A.V. Izuchenie klimaticheskih izmenenij zapovednika «Kologrivskij les» na osnove analiza meteodannyh / A.V. Lebedev, V.V. Gostev // Vklad osobo ohranyaemyh prirodnyh territorij v ekologicheskuyu ustojchivost' regionov: Sovremennoe sostoyanie i perspektivy : materialy Vserossijskoj (s mezhdunarodnym uchastiem) konferencii. – Kologriv : Gosudarstvennyj prirodnyj zapovednik “Kologrivskij les” imeni M.G. Sinicyna, 2018. – S. 88–92.

17. Gandullo, J.M. Mapa de productividad potencial forestal de la Espana peninsular / J.M. Gandullo, R. Serrada. – Madrid : Instituto Nacional de Investigacion y Tecnologia Agraria y Alimentaria, 1977.

18. CHELSA-W5E5: Daily 1km meteorological forcing data for climate impact studies / D.N. Karger, S. Lange, C. Hari, C.P.O. Reyer, O. Conrad, N.E. Zimmermann, K. Frieler // Earth System Science Data. – 2023. – Vol. 15(6). – P. 2445–2464. DOI: 10.5194/essd-15-2445-2023.

19. Scenarnye prognozy izmenenij klimata na territorii Rossii v XXI veke na osnove ansamblevyh raschetov s modelyami CMIP6 / V.M. Katcov, T.V. Pavlova, V.A. Govorkova [i dr.] // Trudy Glavnoj geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voejkova. – 2022. – № 604. – S. 5–54.

20. Zamolodchikov, D.G. Vliyanie izmenenij klimata na lesa Rossii: zafiksirovannyye vozdejstviya i prognoznye ocenki / D.G. Zamolodchikov, G.N. Kraev // Ustojchivoe lesopol'zovanie. – 2016. – № 4. – S. 23–31.

21. Dubenok, N.N. Dinamika pokazatelej zemel' lesnogo fonda i sanitarnogo sostoyaniya lesov Moskovskoj oblasti / N.N. Dubenok, A.V. Lebedev, D.Yu. Gosteva // Oroshaemoe zemledelie. – 2024. – № 2(45). – S. 60–67. – DOI 10.35809/2618-8279-2024-2-10.

22. Korotkov, S.A. Smena sostava drevostoev i ustojchivost' zashchitnyh lesov central'noj chasti Russkoj ravniny / S.A. Korotkov. – Moskva : ANO "Doblest' epoh", 2023. – 168 s.
23. Prozherina, N.A. Izmenenie klimata i ego vliyanie na adaptaciyu i vnutrividovuyu izmenchivost' hvojnyh porod Evropejskogo Severa Rossii / N.A. Prozherina, E.N. Nakvasina // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal. – 2022. – № 2(386). – S. 9–25. – DOI: 10.37482/0536-1036-2022-2-9-25.
24. Range margin populations show high climate adaptation lags in European trees / T. Fréjaville, N. Vizcaíno-Palomar, B. Fady, A. Kremer, M. Benito Garzón // Global Change Biology. – 2020. – Vol. 26. – P. 484–495. DOI: 10.1111/gcb.14881.
25. Gosteva, D.Yu. Ispol'zovanie sputnikovyh dannyh dlya monitoringa sanitarnogo sostoyaniya lesov / D.Yu. Gosteva, A.V. Lebedev // Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa : materialy XXI Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii. – Vologda : Vologodskij gosudarstvennyj universitet, 2023. – S. 378–380.