



Научное обоснование показателей, характеризующих достижение целей адаптации к изменениям климата в лесах субъектов Российской Федерации

Артём В. Константинов✉, konstantinov_a82@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1864-9313>

Татьяна В. Якушева, ytvles@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7635-7327>

Светлана А. Выродова, svyrodova@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6106-3967>

ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства», Институтский пр., 21, г. Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация

В условиях антропогенного изменения климата, которое проявляется в устойчивом росте среднегодовых температур, трансформации режима осадков и учащении экстремальных погодных явлений, лесные экосистемы России сталкиваются с растущим давлением. Данное исследование нацелено на разработку комплексного научно-методического подхода для оценки уязвимости и адаптационного потенциала лесов, а также для количественного определения эффективности реализуемых адаптационных мер. Методологической основой работы выступил системный анализ, включивший изучение современной нормативно-правовой базы лесоклиматической политики, контент-анализ документов стратегического и оперативного планирования, статистический анализ данных государственного лесного реестра и отраслевой отчетности, а также обобщение научных исследований о воздействии климатических факторов на леса.

В результате проведенного исследования были систематизированы ключевые климатические риски для лесного хозяйства России, обусловленные региональными природно-экологическими особенностями. Была разработана иерархическая система индикаторов для мониторинга и оценки эффективности адаптационных мероприятий. Эта система объединяет интегральный показатель, отражающий общую динамику лесного покрова, и набор частных метрик, количественно характеризующих динамику отдельных компонентов риска, таких как продуктивность, породная структура, пирологическая опасность, фитопатологическая угроза и последствия экстремальных погодных явлений. Для каждого показателя идентифицированы однозначные источники первичных данных в формах государственной отчетности, что обеспечивает методологическое единство, верифицируемость и сопоставимость результатов на всех уровнях управления. Обоснована необходимость применения предложенной системы для перехода от качественных оценок к количественному анализу затрат, результатов и общей эффективности адаптационной политики в лесном секторе. Внедрение разработанного подхода в практику лесного планирования и мониторинга позволит повысить обоснованность управленческих решений, объективизировать отраслевую отчетность и оптимизировать ресурсное обеспечение мероприятий, направленных на повышение устойчивости и сохранение экосистемных функций лесов в условиях меняющегося климата.

Ключевые слова: меры адаптации лесов, климатическая политика, лесные экосистемы, лесное планирование, лесной сектор экономики, лесоуправление, показатели достижения целей адаптации, углеродный цикл

Финансирование: работа выполнена в рамках выполнения государственного задания на проведение прикладных научных исследований от 26.12.2024 № 053-00005-25-00 «Разработка системы планирования, реализации и оценки эффективности мер государственной климатической политики в лесном секторе Российской Федерации» (первый этап).

Благодарности: авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.


Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Константинов, А. В. Научное обоснование показателей, характеризующих достижение целей адаптации к изменениям климата в лесах субъектов Российской Федерации / А. В. Константинов, Т. В. Якушева, С. А. Выродова // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т. 15. – № 3 (59). – С. 148–165. – Библиогр.: с. 160–164 (25 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.3/10>


Поступила 01.08.2025. Пересмотрена 30.08.2025. Принята 15.09.2025. Опубликовано онлайн 25.09.2025.

Article

Scientific substantiation of indicators characterizing the achievement of adaptation goals to climate change in forests of the constituent entities of the Russian Federation

Artem V. Konstantinov ✉, konstantinov_a82@mail.ru,  <http://orcid.org/0000-0002-1864-9313>

Tatyana V. Yakusheva, ytvles@mail.ru,  <http://orcid.org/0000-0002-7635-7327>

Svetlana A. Vyrodova, svyrodova@mail.ru,  <http://orcid.org/0000-0002-6106-3967>

Saint-Petersburg Forestry Research Institute, Institutsky prospect, 21, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation

Abstract

In the context of anthropogenic climate change characterized by a sustained increase in average annual temperatures, transformation of precipitation patterns and more frequent extreme weather events, forest ecosystems in Russia are facing increasing pressure. This study aims to develop an integrated scientific-methodological approach for assessing vulnerability and adaptive capacity of forests as well as quantitatively determining the effectiveness of implemented adaptation measures.

The methodological basis of this work included systems analysis encompassing examination of current legal regulations on forestry-climate policy, content analysis of strategic and operational planning documents, statistical analysis of data from the state forest register and industry reports, along with synthesis of scientific research on the impact of climatic factors on forests.

As a result of the conducted research, key climate risks for Russian forestry were systematized based on regional natural-ecological characteristics. A hierarchical indicator system was developed for monitoring and evaluating the effectiveness of adaptation measures. This system integrates an integral index reflecting overall dynamics of forest cover and a set of specific metrics that quantitatively characterize changes in individual risk components such as productivity, species composition, fire hazard, phytosanitary threats, and consequences of extreme weather phenomena.

For each indicator, clear sources of primary data have been identified within official reporting forms, ensuring methodological consistency, verifiability, and comparability of results at all levels of management. The necessity of applying this proposed system is justified for transitioning from qualitative assessments to quantitative cost-benefit analyses and evaluation of overall effectiveness of adaptation policies in the forestry sector.

Implementation of the developed approach into practical forest planning and monitoring will enhance evidence-based decision-making, objectify industry reporting, and optimize resource allocation for activities aimed at enhancing resilience and preserving ecosystem functions of forests under changing climatic conditions.

Keywords: *forest adaptation measures, climate policy, forest ecosystems, forest planning, forest sector of the economy, forest management, indicators for achieving adaptation goals, carbon cycle*

Funding: the work was carried out within the framework of the state assignment for applied scientific research dated 26.12.2024 No. 053-00005-25-00 «Development of a system for planning, implementing and assessing the effectiveness of state climate policy measures in the forest sector of the Russian Federation» (first stage).

Acknowledgments: the authors thank the reviewers for their contribution to the expert assessment of the article.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Konstantinov A. V, Yakusheva T. V., Vyrodova S. A. (2025) Scientific substantiation of indicators characterizing the achievement of adaptation goals to climate change in forests of the constituent entities of the Russian Federation. *Forestry Engineering journal*, Vol. 15, No. 3 (59), pp. 148-165 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.3/10>

Received 01.08.2025. Revised 30.08.2025. Accepted 15.09.2025. Published online 25.09.2025.

Введение

Текущие климатические изменения на территории России, в том числе повышение температуры, неравномерное увеличение количества осадков и модификации ряда других параметров, все более усиливают воздействие на леса, что, в свою очередь, провоцирует изменение границ распространения ареалов, как лесонасаждений, так и отдельных видов.

Лесные экосистемы различаются, на фоне региональных природно-экологических особенностей, по степени их уязвимости к неблагоприятным последствиям внешних воздействий. Адаптационные меры должны обеспечиваться в долгосрочной перспективе с учетом региональных особенностей [1].

В адаптационной стратегии необходимо учитывать произошедшие и прогнозируемые изменения климата с целью научного обоснования системы устойчивого управления лесными ресурсами, планирования, реализации и контроля за осуществлением мер по адаптации лесного комплекса к климатическим изменениям на разных уровнях государственного управления.

С 2023 года совершенствовалось законодательство Российской Федерации, направленное на нормативное правовое обеспечение климатической политики нашей страны. Знаковым событием надо считать принятие ряда законодательных актов, регламентирующих, в том числе, климатическую политику в лесном хозяйстве, прежде всего, в части главы 4.1 «Климаторегулирующий потенциал лесов» Лесного кодекса РФ [2].

В России формируются необходимые условия для реализации лесоклиматических проектов, в частности, разработаны и утверждены критерии отнесения проектов к климатическим; порядок представления отчетов по их реализации; правила верификации их результатов. Создан и начал работать реестр углеродных единиц, в котором производится регистрация климатических проектов и выпуск в обращение углеродных единиц по результатам реализации таких проектов [3].

В частности, лесоклиматические проекты включают облесение, лесовосстановление; лесоразведение, в том числе создание противоэрозионных насаждений; улучшенное лесопользование и предотвращение конверсии, т.е. перевода лесных земель в нелесные, др.

Климатической доктриной Российской Федерации [4] определены основные цели, задачи, принципы, содержание и пути реализации единой государственной политики страны в области изменений климата. Разработаны и утверждены «Методические рекомендации и показатели адаптации отдельных объектов к изменениям климата» [5]. Разработка мероприятий по сохранению экологического потенциала лесов, адаптации и повышению устойчивости лесов предусмотрена и типовой формой лесного плана субъекта РФ [6]. При этом на текущий момент не представлен достаточно понятный и прозрачный механизм контроля над реализацией запланированных мероприятий, а соответственно, не представляется возможным объективно оценить экономическую составляющую лесного планирования как с точки зрения затрат на осуществление комплекса мероприятий климатической значимости, так

и получаемый эффект на плановый десятилетний период.

С целью обоснования данных показателей в отношении каждого климатического риска использовались подходы, базирующиеся на доступности расчетных данных, включая формы государственного лесного реестра (ГЛР) [7], отчетности об осуществлении органами государственной власти субъектов РФ переданных полномочий в области лесных отношений (ОИП) [8] и метеорологические данные, представленные в научно-прикладном справочнике «Климат России» [9].

Второй подход учитывает важность результатов многолетних исследований в области роста и развития лесных насаждений в различных природных условиях; опыт разработки методик оценки уязвимости лесов к нарушающим воздействиям различного характера; оценку уровня адаптации лесов к климатическим изменениям, выполненные, в том числе, учеными ФБУ «СПбНИИЛХ» [10].

Материалы и методы

Объектами исследований являются лесные экосистемы, подвергающиеся различным внешним воздействиям природного и антропогенного характера в условиях глобальных климатических изменений; лесохозяйственные мероприятия, способствующие предотвращению деградации лесов; системы мониторинга в формате показателей, характеризующих достижение целей адаптации лесных экосистем к изменениям климата.

Источники информации:

- документы лесного планирования субъектов РФ;
- законодательные и нормативные правовые акты в области лесных отношений РФ;
- формы отраслевой статистической отчетности;
- материалы государственного лесного реестра;
- документы стратегического развития лесного сектора экономики России;
- научные материалы по оценке обоснованности разных стратегий лесопользования и лесопользования климатической направленности, включая

сведения о влиянии основных видов лесохозяйственных мероприятий на цикл углерода в управляемых лесах.

При сборе и анализе исследуемых материалов применялись типовые методологические подходы: лесоводственные, лесотаксационные, геоэкологические, метеорологические, статистические.

Используемые при проведении исследований методы – теоретические (контент-анализ нормативной и методологической базы); изучение, обобщение и теоретическое осмысление имеющегося опыта в части направления научных изысканий.

Результаты

Рассматривая влияние климатических изменений на лесные экосистемы, важно понимать, что данные факторы действуют как в масштабе насаждения, так и в масштабе ландшафта [11]. Изменение климата может существенно повлиять на различные процессы, например, межвидовую конкуренцию, ход сукцессий, затрагивая при этом физиологию и фенологию отдельных видов древесной растительности, напрямую воздействуя на их способность роста и восстановления.

Реакция лесных сообществ на изменения климата влияет, в свою очередь, на конкурентные сильные и слабые стороны видов, что приводит к корректировкам в структуре лесных сообществ [12].

Одновременно может увеличиваться активность лесных пожаров [13] или вспышек насекомых-вредителей [14]. Нарушения природного характера могут провоцировать распространение новых видов и смещать возрастную структуру лесов в сторону более молодых классов возраста [15].

В настоящее время важен взвешенный подход к подготовке отдельного перечня мероприятий по адаптации лесов к изменению климата, что, в свою очередь, позволит, выявить приоритетные меры противодействия климатическим рискам, изыскать необходимые ресурсы для их осуществления с учетом текущего состояния и прогнозных показателей на десятилетний период планирования.

Климатический эффект восстановления лесов имеет комплексный характер: как средство адаптации к изменению климата и как средство по погло-

щению и долгосрочному хранению углерода. Создаваемые лесные насаждения будут накапливать углерод в пулах фитомассы, мертвой древесины, подстилки и почвы [16].

В свете вышеизложенного необходимо научное обоснование показателей адаптации лесов к изменениям климата, так их функции углеродных резервуаров напрямую зависят от климатических факторов: потепления, изменение количества осадков, смены породного состава (после сплошных рубок и пожаров), экстремальных природных явлений.

Возможность смягчить последствия климатических изменений путем снижения выбросов углекислого газа, вызванных в том числе, обезлесением и деградацией лесов, а также перспектива увеличения поглощения углерода с помощью воспроизводства лесов и устойчивого лесопользования играют важную роль в экологическом балансе.

Общими принципами по нивелированию климатических изменений и адаптации к ним лесной отрасли могут стать:

- использование имеющихся данных уязвимости и адаптации лесных экосистем к текущим изменениям климата;
- необходимость взаимодействия заинтересованных участников лесных отношений;
- межотраслевой подход, нацеленный на достижение запланированных целей по снижению климатических рисков;
- нацеленность на максимальное сохранение лесистости регионов, сохранение экологического потенциала лесов;
- применение экологических природосберегающих технологий, прежде всего отечественных, в отраслевых производственных процессах;
- интенсификация лесопользования и воспроизводства лесов;
- повышение эффективности комплекса лесохозяйственных мероприятий;
- обмен и накопление знаний о последствиях изменения климата с учетом экономической и геополитической ситуации в стране и мире;
- рациональное лесное планирование на основе современных методик оценки углеродной составляющей, объемов накопления парниковых газов

и мер адаптации лесных экосистем к изменениям климата на основе актуальной информации о лесах.

При планировании адаптационных мероприятий в каждом лесном плане необходимо осуществление предварительной ретроспективной оценки, позволяющей выделить наиболее характерные для конкретных условий климатические риски и предусмотреть необходимые финансовые и иные средства их компенсации.

Сценарии адаптации должны выстраиваться методом подбора необходимых лесохозяйственных мероприятий и их комбинаций с учетом принципов ведения устойчивого лесного хозяйства, лесного районирования и особенностей лесных экосистем каждого субъекта РФ.

С точки зрения углеродного цикла для поддержания существующего баланса в долгосрочной временной перспективе нельзя допускать снижения производительности лесов и сокращения лесопокрываемых площадей, то есть основным интегральным показателем, характеризующим одновременно уровень уязвимости и адаптации к изменениям климата, может выступать показатель лесистости, выражаемый как отношение покрытой лесом площади к общей площади.

Сведения по планируемому и фактически реализованным объемам лесохозяйственных мероприятий и текущему состоянию лесного фонда сосредоточены в соответствующих формах отчетности государственного лесного реестра (ГЛР); материалах государственной инвентаризации лесов (ГИЛ) [17]; формах отраслевой статистической отчетности субъектов Российской Федерации об исполнении полномочий (ОИП).

Разработка мероприятий по сохранению экологического потенциала лесов, адаптации и повышению устойчивости лесов предусмотрена типовой формой лесного плана субъекта РФ в части разделов: 1.2 «Природно-климатические особенности, в том числе изменение основных климатических показателей»; 4.2 «Информация о планируемых мероприятиях по сохранению экологического потенциала лесов, адаптации к изменениям климата и повышению устойчивости лесов»; «Планируемые мероприятия по сохранению экологического потенциала

лесов, адаптации к изменениям климата и повышению устойчивости лесов» указываются по форме, содержащейся в приложении 21 к настоящей Типовой форме лесного плана субъекта Российской Федерации».

Но для многих субъектов разработка данных разделов представляет определенные сложности в связи с отсутствием единых подходов к разработке; унифицированных и уточняющих показателей представления плановой и отчетной информации.

С целью решения данной проблемы в основу принципов мониторинга и оценки эффективности мероприятий нивелирования климатических изменений и адаптации к ним лесов могут быть положены, в частности, использование расчетных данных в качестве индикаторов уязвимости и адаптации лесных экосистем к изменениям климата; взаимодействие всех заинтересованных сторон, прежде всего, органов исполнительной власти в области лесных отношений субъектов РФ, лесопользователей, экологических организаций, общественности с целью совершенствования критериев оценки, расчета показателей.

В лесных планах субъектов РФ выделяются пять ключевых климатических рисков, характерных для лесного хозяйства, отображающих основные последствия изменений климата, к которым относятся:

- изменение продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадаемых осадков;
- изменения в видовом (породном) составе лесов;
- увеличение частоты возникновения пожаров в лесах и площадей, пройденных лесными пожарами;
- увеличение частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах;
- увеличение частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах.

Несмотря на важность осуществления запланированных мероприятий климатической направленности на уровне каждого субъекта РФ и передаче достигнутых результатов в формате отраслевой отчетности на федеральный уровень, наблюдаются значительные расхождения как в анализе и оценке

полученных данных, так и форме их представления. В связи с чем важна проработка механизма ухода от дублирования отнесения одного и того же мероприятия к предотвращению различных рисков, так как подобный подход может повлечь искаженное представление об объемах и стоимости проводимых адаптационных работ, негативно отразиться на результатах эффективности адаптации лесов в разрезе субъектов РФ.

Надо признать, что в ряде случаев довольно сложно отнести то или иное мероприятие к одному конкретному риску, в связи с чем, предлагается планировать адаптационные лесохозяйственные мероприятия таким образом, чтобы минимизировать их дублирование в последующей отчетности. Целесообразно оценивать объемы и стоимость осуществления каждого из таких мероприятий, а далее относить к одному приоритетному риску во избежание ошибок при обобщении материалов отчетности и учете финансовых затрат.

Предлагаемые показатели направлены на анализ предрасположенности лесных экосистем к неблагоприятным климатическим воздействиям и отображение процессов их адаптации при выполнении плановых мероприятий на региональном уровне.

Интегральным показателем, характеризующим уровень уязвимости и адаптации к изменениям климата в лесном хозяйстве, может выступать показатель лесистости территории, определяющийся отношением покрытой лесом площади к общей площади респондента и выражающийся в процентах. Лесистость является результирующей величиной совместного воздействия природно-климатических и антропогенных факторов, а также характеризует успешность вмешательства человека, направленного на корректировку лесных экосистем под ожидаемое изменение климата и его воздействие.

Сравнительный анализ установленного индикативного значения лесистости с фактическим позволит с достаточной степенью полноты оценивать достижение целей адаптации к изменениям климата объектов воздействия факторов климата на отраслевом и региональном уровнях.

Для обобщения данных и оценки деятельности каждого региона следует установить единую классификацию единиц измерений. В течение планового периода по годам предлагается использовать унифицированные обозначения, поскольку их распространенность негативно сказывается на общей картине анализируемой информации и отраслевой отчетности в целом.

В приоритетном порядке для определения уровня адаптации лесов целесообразно ежегодно учитывать текущее изменение основного индикативного показателя климатического риска – лесистости, зависящего от погодных и лесорастительных условий каждого субъекта РФ, качества проведения лесохозяйственных мероприятий и использования лесов.

В связи с необходимостью оценки достижения целей адаптации к изменениям климата, предлагается целесообразным установление следующих дополнительных показателей, согласованных со структурой климатических рисков в лесном комплексе нашей страны, которая определена в приложении 21 к типовой форме лесного плана субъекта РФ. Предлагаемые уточняющие показатели направлены на анализ предрасположенности лесных экосистем к неблагоприятным климатическим воздействиям и отображение процессов адаптации при выполнении лесохозяйственных мероприятий:

- изменение продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадаемых осадков: изменение общего среднего прироста на гектар по отношению к базовому периоду, тыс. м³/га;

- изменения в видовом (породном) составе лесов: изменение площади хвойных пород по сравнению с базовым периодом, % и изменение площади твердолиственных пород по сравнению с базовым периодом, %;

- увеличение частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами: отношение числа лесных пожаров к площади лесных земель, шт./тыс. га и отношение площади погибших лесных насаждений к площади лесных земель, %;

- увеличение частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах: относительная площадь очагов вредных организмов, % и изменение отношения площади погибших лесных насаждений от повреждения вредителями и болезнями леса к площади лесных земель, %;

- увеличение частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах: изменение относительной гибели лесов от погодных условий и почвенно-климатических факторов по сравнению с базовым периодом, %.

Под продуктивностью лесов понимается, прежде всего, количество ресурсов, произведенных лесом за определенный временной промежуток на единице площади, а также выполняемые за соответствующий период экологические функции. Основным показателем продуктивности считается класс бонитета, представляющий собой таксационную характеристику древостоев, определяющую потенциальный запас (м³ или тыс. м³), скорость роста (по высоте (м) и диаметру, (см)), накопление биомассы.

Изменение продуктивности лесов напрямую сказывается на запасе лесных насаждений на единицу площади, определяемом по динамике общего среднего прироста на 1 га, который отражает качество условий местопроизрастания каждого биоценоза. При этом лесохозяйственные мероприятия, направленные на улучшение природной среды, могут оказать на него положительное влияние, демонстрируя эффективность применяемых мер не только ресурсной, но и климатической направленности. Снижение среднего прироста свидетельствует, соответственно, об ухудшении качества древостоев. В частности, увеличение прироста лесонасаждений путем внесения удобрений для молодняков и лесных культур, при сравнительном анализе с базовым вариантом (без внешнего вмешательства) может варьироваться в пределах 1,5-2,0 м³/га в год за десятилетие [18]. Сопоставление изменений в динамике прироста с экологическими условиями (температурой воздуха, влагонасыщенностью, нарушающими факторами природного характера) позволяет выявить основные факторы, влияющие на состояние лесных растений и принять меры, способствующие их росту и развитию.

Географическое распределение древесных пород зависит от климатических условий, в частности, от минимальной температуры воздуха и обеспеченности влагой в теплый сезон. Индикативным показателем риска изменения в видовом (породном) составе лесонасаждений выступает вероятное сокращение площадей, покрытых основными лесобразующими породами, прежде всего, твердолиственными и хвойными, как наиболее востребованными промышленностью, при одновременном увеличении площади мягколиственных пород. В данном контексте к нарушающим воздействиям относятся массовые вырубки; перевод лесных земель в земли иных категорий (непокрытые лесом); атмосферное загрязнение, замедляющее и угнетающее растительность; лесные пожары, экстремальные погодные периоды, приводящие к изменениям границ ареалов отдельных древесных пород.

В частности, ущерб хвойным породам может причинить весенняя засуха при малой толщине снежного покрова, так как при не полностью оттаявших почвах влага оказывается малодоступной, а повышение температуры воздуха провоцирует активное испарение и ослабление жизненных процессов растущих деревьев, как и ураганные ветры, заболачивание мест произрастания. Постепенное повышение средней температуры воздуха наряду с ослаблением лесонасаждений провоцирует также вспышки массового размножения насекомых-вредителей и возникновение очагов лесных пожаров, что оказывает крайне негативное воздействие на хвойные древостой.

К основным природным причинам уменьшения площадей, занятых твердолиственными породами, можно отнести экстремально низкие температуры зимой, длительные подтопления в весенний период, уменьшение или нарушение плодородного слоя почв.

Важно отметить, что смешанные насаждения более устойчивы к неблагоприятным факторам внешней среды – насекомым-вредителям, ветровалам (чистые ельники), возгораниям (ельники и сосняки). Содействуя образованию насаждений, наиболее устойчивых к тем или иным нарушающим факторам, можно добиться максимального сохранения

лесопокрытых площадей, а соответственно, говорить об ускорении адаптации лесных экосистем.

Мониторинг динамики видового состава лесов и принимаемые на его базе решения способствуют сохранению и поддержанию биоразнообразия существующих природных экосистем, их устойчивости к неблагоприятным внешним воздействиям, выбору наиболее эффективных мер лесовосстановления с учетом горизонта лесного планирования, что направлено на решение как ресурсных, так и климатических задач.

Увеличение частоты возникновения лесных пожаров и площадей, пройденных пожарами, следует считать ключевыми аспектами, приводящими к сокращению покрытых лесом площадей и деградации лесов, появлению значительных обезлесенных территорий, которые часто труднодоступны для лесовосстановления и лесоразведения.

В региональных документах лесного планирования предусматриваются противопожарные мероприятия, направленные на сохранение лесов и минимизацию рисков возгораний. Основные причины лесных пожаров связаны как с деятельностью человека, так и с природными явлениями, к которым относятся молнии, сухие грозы, самовозгорания торфяников, в отдельных регионах вулканическая деятельность, которые за последние десятилетия стали наблюдаться все чаще. Несвоевременная уборка неликвидной древесины и сухостоя на торфяных почвах в засушливый период (при температуре прямого нагрева иногда до 50 °C) может стать катализатором трудно поддающихся тушению торфяных пожаров [19].

Среди лесных пожаров подземные (торфяные) лидируют по объему сгораемого материала на единицу площади и, соответственно, влиянию на изменение климата, однако отличаются сложностью оценки потерь почвенного углерода и поступления его в атмосферу [20].

Осушенные, особенно неиспользуемые заброшенные торфяники наиболее часто подвержены возгораниям и лидируют среди других природных пожаров по величине сгораемого материала [21].

Показатель отношения числа лесных пожаров к площади лесных земель может быть весьма нагляден для оценки климатических рисков. В качестве базового периода, согласно прогнозным климатическим моделям Главной геофизической обсерватории рассматривается период с 1990 по 1999 гг., принятый при расчёте комплексного показателя пожарной опасности Нестерова.

Другие показатели, рассчитываемые на основе материалов отраслевой статистической отчетности форм 10-ОИП и 1-ГЛР, призваны отражать воздействия лесных пожаров на единицу площади лесных земель, что, в свою очередь, позволяет конкретизировать данные и избежать искажений при оценке и сопоставлении сведений разных субъектов РФ. Для объективности целесообразно сравнивать равнозначные по длительности периоды климатических рисков [22].

Помимо статистической информации о количестве очагов возгораний для каждого субъекта РФ, важно учитывать ежегодные изменения средней температуры воздуха и количества осадков в летний период, поскольку они важны при планировании и предварительной подготовке необходимых объемов сил и средств пожаротушения, особенно на не переданных в пользование территориях. Для лесных участков, находящихся в аренде для разных видов использования, сведения о необходимых противопожарных мероприятиях приводятся в проектах освоения лесов, а их исполнение контролируется органами исполнительной власти субъектов РФ.

Показатель отношения площади погибших лесных насаждений к площади лесных земель призван отражать динамику изменений лесопокрываемых площадей на уровне субъектов РФ с целью недопущения их сокращения с учетом наиболее прогнозируемых причин и принятия мер превентивного характера, что, в свою очередь, направлено на поддержание лесистости территорий.

К существенным факторам, влияющим на качественные и количественные характеристики древостоев, следует отнести увеличения частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах, включая относительную площадь выявленных очагов вредных организмов, угрожающих жизнеспособности растений, и изменение отношения

площади погибших от энтомофитовредителей лесных насаждений к площади лесных земель.

Научное обоснование показателя относительной площади очагов вредных организмов в лесах продиктовано необходимостью прогнозирования вероятной угрозы древостоям (особенно ценных хвойных и твердолиственных пород), а также с целью рационального планирования мероприятий по защите насаждений от вредителей и болезней, в том числе, биотехнических.

Для классификации территории по степени угрозы массовых размножений насекомых используются такие критерии, как изменения границ ареалов обитания вредителей, характерных для различных природных условий; частота (повторяемость) вспышек; встречаемость и вероятность образования очагов; интенсивность массовых размножений в зависимости от метеорологических условий.

Повышение температуры, влажности воздуха и почв способствуют выживаемости, плодовитости, расширению ареалов насекомых-вредителей, в результате деятельности которых уменьшается прирост и плодоношение растений, снижается продуктивность насаждений, а, следовательно, накопление биомассы. Изменение отношения площади погибших лесных насаждений от повреждения вредителями и болезнями леса к площади лесных земель создает возможность оценки динамики санитарного состояния древостоев на конкретных лесных участках.

Показатель «увеличения частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах: изменение относительной гибели лесов от погодных условий и почвенно-климатических факторов по сравнению с базовым периодом» приобретает все большее значение в условиях глобальных климатических изменений. Состояние лесных экосистем во многом определяется региональными тенденциями изменения среднегодовых температур воздуха и годовых сумм осадков.

Повышение средних температур, влияние аномальных осадков или длительных засушливых периодов способно привести как напрямую к катастрофическим последствиям (смерчи, сели, наводнения, засухи и т. д.), так и отобразить косвенный эффект в виде ослабления и деградации древостоев,

повышения рисков ветровалов и буреломов, вспышек насекомых, возгораний природного характера.

В неблагоприятных условиях уменьшается прирост древесины, прослеживаемый по изменению структуры и ширины годичных колец; скорости роста; фиксируется частичное усыхание хвои или листвы. Трансформация лесных экосистем может выражаться в сокращении покрытых лесной растительностью площадей, фрагментации лесных массивов, изменении возрастной структуры и породного состава.

Наличие плодородного слоя почв и степень его влажности формируют видовой состав и морфологическую структуру древостоев, обеспечивают наращивание биомассы. Препятствовать негативным воздействиям на сложившиеся природные объекты можно при условии сохранения типичных почвенно-грунтовых горизонтов, агромелиорации, рекультивации нарушенных земель, минимизации антропогенного промышленного влияния на окружающую среду.

Соответствующие мероприятия, намеченные в документах лесного планирования, позволят предотвратить обезлесение территорий, сохранить коренные ареалы ценных лесообразующих пород.

На повышение устойчивости лесов к глобальным изменениям климата могут быть направлены следующие меры с учетом особенностей региональных биоценозов:

- для ряда южных регионов, гористой местности создание насаждений из засухоустойчивых культур, противоэрозионных защитных полос;
- для наиболее подверженных пожарам – создание смешанных насаждений и лесных культур с включением лиственных пород;
- агротехнический и лесоводственный уход за лесными культурами, активное содействие естественному лесовозобновлению;

- соблюдение правил отвода лесосек с учётом направления преобладающих ветров, преимущественное применение выборочных рубок;

- своевременная рекультивация нарушенных лесных земель, компенсационное лесовосстановление;

- эффективное выполнение противопожарных и лесозащитных мероприятий, согласно документам лесного планирования и проектирования;

- сохранение коренных лесов;

- активная экологическая пропаганда в регионах среди населения;

- государственная политика и финансовая поддержка, способствующая устойчивому лесопользованию.

Для рационального планирования и объективной оценки результатов выполнения мероприятий климатического значения важен анализ таких ретроспективных показателей, как снижение среднего прироста на 1 га; изменения в структуре и породном составе лесов, статистика частоты возникновения лесных пожаров и очагов вредителей; прогнозные показатели погоды (сумма активных температур, гидротермический коэффициент и др.) [23].

Практическое осуществление лесохозяйственных мероприятий предусматривается в соответствии с действующим отраслевым законодательством, документами лесного планирования, проектирования и охраны окружающей среды; лесорастительными условиями и естественной динамикой лесного фонда, социальными особенностями субъектов РФ.

Перечень показателей, характеризующих достижение целей адаптации к изменениям климата (в рассматриваемом случае – лесных экосистем в качестве объектов воздействия факторов климата) на отраслевом и региональном уровнях, а также источники исходных данных для их расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1

Перечень показателей, характеризующих достижение целей адаптации к изменениям климата объектов воздействия факторов климата на отраслевом и региональном уровнях

Table 1

List of indicators characterizing the achievement of climate change adaptation goals objects of climate factors impact at the sectoral and regional levels

1. Интегральный показатель, характеризующий достижение целей адаптации к изменениям климата объектов воздействия факторов климата на отраслевом и региональном уровнях An integrated indicator characterizing the achievement of adaptation goals to climate change of objects affected by climate factors at the industry and regional levels	
Название показателя Name of the indicator	Источник данных Data source
1	2
Отношение покрытой лесом площади к общей площади объекта воздействия факторов климата (лесистость), % Ratio of forested area to total area of the object of influence of climate factors (forest cover), %	Столбец 14 «Лесистость территории, %» формы № 3-ГЛР Column 14 «Forest cover of the territory, %» of form No. 3-GLR I
2. Дополнительные показатели, характеризующие достижение целей адаптации к изменениям климата объектов воздействия факторов климата на отраслевом и региональном уровнях Additional indicators characterizing the achievement of the goals of adaptation to climate change of objects of influence of climate factors at the sectoral and regional levels	
Изменение общего среднего прироста на гектар по отношению к базовому периоду, тыс. м ³ /га Change in the total average growth per hectare in relation to the base period, thousand m ³ /ha	Столбец 3 «Площадь земель, занятых лесными насаждениями (покрытых лесной растительностью), всего» и столбец 18 «Общий средний прирост» формы 2-ГЛР Column 3 «Area of land occupied by forest plantations (covered by forest vegetation), total» and column 18 «Total average growth» of form 2-GLR
Изменение площади хвойных пород по сравнению с базовым периодом, % Change in the area of coniferous species compared to the base period, %	Столбец 3 «Площадь земель, занятых лесными насаждениями (покрытых лесной растительностью), всего» формы 2-ГЛР и столбец 6 «Площади лесных насаждений по группам пород и классам бонитета, хвойные, итого» формы 5-ГЛР Column 3 «Area of land occupied by forest plantations (covered with forest vegetation), total» of form 2-GLR and column 6 «Area of forest plantations by species groups and quality classes, coniferous, total» of form 5-GLR
Изменение площади твердолиственных пород по сравнению с базовым периодом, % Change in the area of hardwoods compared to the base period, %	Столбец 3 «Площадь земель, занятых лесными насаждениями (покрытых лесной растительностью), всего» формы 2-ГЛР и столбец 12 «Площади лесных насаждений по группам пород и классам бонитета, твердолиственные, итого» формы 5-ГЛР Column 3 «Area of land occupied by forest plantations (covered with forest vegetation), total» of form 2-GLR and column 12 «Area of forest plantations by species groups and quality classes, hardwood, total» of form 5-GLR
Отношение числа лесных пожаров к площади лесных земель, шт./тыс. га Ratio of the number of forest fires to the area of forest land, pcs/thousand ha	Столбец 3 «Площадь земель, занятых лесными насаждениями (покрытых лесной растительностью), всего» формы 2-ГЛР, столбец 7 «Итого, число случаев» раздела 1 «Сведения о возникновении лесных пожаров и их тушении с учётом целевого использования лесов» формы 7-ОИП Column 3 «Area of land occupied by forest plantations (covered with forest vegetation), total» of form 2-GLR, column 7 «Total, number of cases» of section 1 «Information on the occurrence of forest fires and their extinguishing, taking into account the intended use of forests» of form 7-OIP
Отношение площади погибших лесных насаждений к площади лесных земель, %	Столбец 3 «Площадь земель, занятых лесными насаждениями (покрытых лесной растительностью), всего» формы 2-ГЛР, столбец 13 «Лесные пожары,

1. Интегральный показатель, характеризующий достижение целей адаптации к изменениям климата объектов воздействия факторов климата на отраслевом и региональном уровнях An integrated indicator characterizing the achievement of adaptation goals to climate change of objects affected by climate factors at the industry and regional levels	
Название показателя Name of the indicator	Источник данных Data source
1	2
Ratio of the area of dead forest stands to the area of forest lands, %	площадь погибших лесных насаждений, выявлено с начала года, всего» раздела 2 «Сведения о повреждении и гибели лесов с усыханием более 10 %» формы 10-ОИП Column 3 «Area of land occupied by forest plantations (covered with forest vegetation), total» of form 2-GLR, column 13 «Forest fires, area of lost forest plantations, identified since the beginning of the year, total» of section 2 «Information on damage and loss of forests with drying out of more than 10 %» of form 10-OIP
Относительная площадь очагов вредных организмов, % Relative area of pest outbreaks	Столбец 3 «Площадь земель, занятых лесными насаждениями (покрытых лесной растительностью), всего» формы 2-ГЛР, столбец 7 «Площадь очагов вредных организмов, на конец отчётного периода, всего» раздела 1 «Сведения об очагах вредителей и болезней леса» формы 10-ОИП Column 3 «Area of land occupied by forest plantations (covered with forest vegetation), total» of form 2-GLR, column 7 «Area of outbreaks of harmful organisms, at the end of the reporting period, total» of section 1 «Information on outbreaks of forest pests and diseases» of form 10-OIP
Изменение отношения площади погибших лесных насаждений от повреждения вредителями и болезнями леса к площади лесных земель, % Change in the ratio of the area of forest stands lost due to damage by pests and forest diseases to the area of forest lands, %	Столбец 3 «Площадь земель, занятых лесными насаждениями (покрытых лесной растительностью), всего» формы 2-ГЛР, столбец 28 «Повреждения насекомыми, площадь погибших лесных насаждений, в том числе погибло с начала года » и столбец 46 «Болезни леса, площадь погибших лесных насаждений, в том числе погибло с начала года » раздела 2 «Сведения о повреждении и гибели лесов с усыханием более 10 %» формы 10-ОИП Column 3 «Area of land occupied by forest plantations (covered with forest vegetation), total» of form 2-GLR, column 28 «Insect damage, area of dead forest plantations, including died since the beginning of the year» and column 46 «Forest diseases, area of dead forest plantations, including died since the beginning of the year» of section 2 «Information on damage and death of forests with drying out more than 10 %» of form 10-OIP
Изменение относительной гибели лесов от погодных условий и почвенно-климатических факторов по сравнению с базовым периодом, % Change in relative forest loss due to weather conditions and soil and climate factors compared to the base period, %	Столбец 3 «Площадь земель, занятых лесными насаждениями (покрытых лесной растительностью), всего» формы 2-ГЛР, столбец 60 «Погодные условия и почвенно-климатические факторы, площадь погибших и поврежденных лесных насаждений, выявлено с начала года, всего» раздела 2 «Сведения о повреждении и гибели лесов с усыханием более 10 %» формы 10-ОИП Column 3 «Area of land occupied by forest plantations (covered with forest vegetation), total» of form 2-GLR, column 60 «Weather conditions and soil and climatic factors, area of dead and damaged forest plantations, identified since the beginning of the year, total» of section 2 «Information on damage and death of forests with drying out of more than 10 %» of form 10-OIP

Источник: собственная разработка авторов

Source: Authors' own development

Для рационального планирования и объективной оценки результатов выполнения мероприятий климатического значения важен анализ таких ретроспективных показателей, как снижение среднего прироста на 1 га; изменения в структуре и породном составе лесов, статистика частоты возникно-

вения лесных пожаров и очагов вредителей; прогнозные погодные показатели (сумма активных температур, гидротермический коэффициент и др.).

Практическое осуществление вышеуказанных мероприятий предусматривается в соответствии с действующим отраслевым законодательством, документами лесного планирования и

охраны окружающей среды; лесорастительными условиями и естественной динамикой лесного фонда, социальными особенностями субъектов РФ.

Задачи поддержания высокого уровня баланса углерода требуют осуществления крупномасштабных дополнительных лесохозяйственных мер. Для большинства регионов наиболее перспективным является усиление охраны лесов от пожаров и вредителей, изменение технологии рубок, модификации подходов к искусственному лесовосстановлению ряд других [24].

Заключение

Проведенное исследование позволяет констатировать, что антропогенно-обусловленные климатические изменения выступают в качестве ключевого стресс-фактора, детерминирующего трансформацию структуры и функций лесных экосистем на территории России. Мультипликативный характер воздействия, проявляющийся в изменении продуктивности и видового состава древостоев, интенсификации пирогенной и фитопатологической угрозы, а также в увеличении частоты aberrаций погодного режима, актуализирует необходимость разработки и имплементации научно обоснованного адаптационного механизма.

Разрешение выявленной проблемы отсутствия унифицированного методического подхода к оценке эффективности адаптационных мероприятий видится во внедрении предложенной системы взаи-

мосвязанных индикаторов. Ее интегральный компонент – показатель лесистости – репрезентирует совокупный результат воздействия природных и антропогенных факторов, отражая динамику общего лесного покрова. Частные показатели, базирующиеся на данных официального статистического учета (ГЛР, ОИП), позволяют проводить детальный мониторинг и анализ в разрезе отдельных климатических рисков, обеспечивая тем самым верификацию отчетных данных и объективизацию процесса принятия управленческих решений.

Таким образом, реализация предложенного методического подхода будет способствовать:

- **Формализации** процесса адаптационного планирования на региональном и отраслевом уровне.
- **Повышению объективности** и сопоставимости данных отраслевого мониторинга.
- **Оптимизации ресурсного обеспечения** мероприятий, направленных на повышение устойчивости и сохранение экологического потенциала лесов.

Последующая работа должна быть сфокусирована на апробации и корректировке предложенной системы показателей для различных лесорастительных условий, а также на разработке на ее основе прогнозных моделей для оценки долгосрочной эффективности адаптационных стратегий в условиях нестационарного климата.

Список литературы

1. Константинов А.В. Сценарный подход к адаптации лесных экосистем Российской Федерации в условиях изменений климата // Известия РАН. Серия Географическая. – 2023. – Т. 87. – № 4. – С. 558-567. – DOI: <https://doi.org/10.31857/S2587556623040039>.
2. Лесной кодекс Российской Федерации : федер. закон от 04.12.2006 № 200-ФЗ // КонсультантПлюс : офиц. сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/.
3. Коротков В.Н. Лесные климатические проекты в России: ограничения и возможности // Russian Journal of Ecosystem Ecology. – 2022. – Vol. 7 (4). – С. 1-8. – DOI: <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2022-4-3>.
4. Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации : Указ президента Российской Федерации от 26.10.2023 № 812 // КонсультантПлюс : офиц. сайт. – URL: <https://www.consultant.ru/law/hotdocs/82279.html>.
5. Об утверждении методических рекомендаций и показателей по вопросам адаптации к изменениям климата (вместе с «Методическими рекомендациями по оценке климатических рисков», «Методическими рекомен-

даниями по ранжированию адаптационных мероприятий по степени их приоритетности», «Методическими рекомендациями по формированию отраслевых, региональных и корпоративных планов адаптации к изменениям климата»): приказ Минэкономразвития России от 13.05.2021 № 267 // КонсультантПлюс : офиц. сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_384470/2ff7a8c72de3994f30496a0ccbb1ddafdaddd518.

6. Об утверждении типовой формы и состава лесного плана субъекта Российской Федерации, порядка его подготовки и внесения в него изменений : приказ Минприроды России от 20.12.2017 № 692 // КонсультантПлюс : офиц. сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_295497/.

7. Об утверждении Правил ведения государственного лесного реестра : постановление Правительства РФ от 25.08.2023 № 1378 // АО «Кодекс». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1302594633>.

8. Об утверждении форм, содержания и порядка представления в форме электронного документа отчетности об осуществлении переданных в соответствии с частью 1 статьи 83 Лесного кодекса Российской Федерации полномочий, а также порядка интеграции соответствующих информационных систем, используемых уполномоченными исполнительными органами субъектов Российской Федерации для учета данных об использовании, охране, о защите, воспроизводстве лесов, с федеральной государственной информационной системой лесного комплекса, иными федеральными информационными системами : приказ Минприроды России от 18.06.2024 № 385 // АО «Кодекс». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1306919712>.

9. Научно-прикладной справочник «Климат России» // ВНИИГМИ-МЦД. – 2024. – URL: <http://aisori-m.meteo.ru/climsprn/>.

10. Недбаев И.С., Семенова Е.И., Сорока А.О. Оценка уязвимости лесов к климатическим изменениям // Охрана, инновационное восстановление и устойчивое управление лесами. Forestry-2023 : Материалы Международного лесного форума, 13 октября 2023 г., Воронеж. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова. – 2023. – С. 98-114. – DOI: 10.58168/Forestry2023_98-114.

11. Boulanger Y., D.T. Price, Cyr D., Sainte-Marie G. Stand-level drivers most important in determining boreal forest response to climate change. *Journal of Ecology*, 2017; 106 (3): 977-990. – DOI: 10.1111/1365-2745.12892.

12. McDowell N.G., Allen C.D. Darcy's law predicts widespread forest mortality under climate warming. *Nature Climate Change*. 2015; 5: 669-672. – DOI: 10.1038/nclimate2641.

13. Balshi M.S., McGuire D.A., Duffy P., Flannigan M.D., Walsh J., Melillo J. Assessing the response of area burned to changing climate in western boreal North America using a multivariate adaptive regression splines (MARS) approach. *Global Change Biology*. 2008; 15: 578-600. – DOI: 10.1111/j.1365-2486.2008.01679.x.

14. Boulanger Y., Arseneault D., Morin H., Jardon Y., Bertrand P., Dagneau C. Dendrochronological reconstruction of spruce budworm (*Choristoneura fumiferana* Clem.) outbreaks in southern Québec for the last 400 years. *Canadian Journal of Forest Research*. 2012; 42: 1264-1276. – DOI: 10.1139/x2012-069.

15. Matthews S.N., Iverson L.R., Prasad A.M., Peters M.P., Rodewald P.G. Modifying climate change habitat models using tree species-specific assessments of model uncertainty and life history-factors. *Forest Ecology and Management*. 2011; 262: 1460-1472. – DOI: 10.1016/j.foreco.2011.06.047.

16. Липка О.Н., Замолотчиков Д.Г., Каганов В.В., Мазманиянц Г.А., Исупова М.В., Алейников А.А. Климатический эффект восстановления лесов в дельте р. Или // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2021. – Т. 85. – № 4. – С. 579-594. – DOI: 10.31857/S2587556621040051.

17. Об утверждении Порядка проведения государственной инвентаризаций лесов : приказ Минприроды России от 27.09.2021 № 686 // АО «Кодекс». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/727092651>.

18. Беляева Н.В., Данилов Д.А. Закономерности функционирования сосновых и еловых фитоценозов на объектах рубок ухода и комплексного ухода за лесом // Изд-во Политехнического университета. – 2014. – 164 с.

19. Торфяные пожары. – URL: <https://10.mchs.gov.ru/uploads/resource/2022-03-29/468f5f997304de050f754e5015db0c9e.pdf>.

20. Сири́н А.А., Мака́ров Д.А., Гумме́рт И., Масло́в А.А., Гу́льбе Я.И. Глубина прогорания торфа и потери углерода при лесном подземном пожаре // Лесоведение. – 2020. – № 5. – С. 410-422. – DOI: 10.1134/S0024114819050097.
21. Сири́н А.А., Медведе́ва М.А., Илья́сов Д.В., Коротко́в В.Н., Минае́ва Т.Ю., Суворов Г.Г. Обводненные торфяники в климатической отчетности Российской Федерации // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2021. – Т. 7. – № 3. – С. 84-101. – DOI: 10.21513/2410-8758-2021-3-84-112.
22. Недбаев И.С., Семенова Е.И., Сорока А.О. Определение пороговых значений показателей риска увеличения количества лесных пожаров в контексте изменения климата // Труды СПбНИИЛХ. – 2024. – С. 234-237. – DOI: 10.21178/160524.234.
23. Сорока А.О., Недбаев И.С., Семенова Е.И. Анализ уровня адаптации лесов в наиболее уязвимых к климатическим изменениям субъектах РФ // Столяровские чтения : Сборник материалов научно-практической конференции, посвященной 95-летию академика Д.П. Столярова от 5 октября 2023 г. – 2023. – С. 62–66. – DOI: 10.21178/05102023.62.
24. Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Шуляк П.П., Честных О.В. Современное сокращение стока углерода в леса России // Доклады Академии Наук. – 2017. – Т. 476. – № 6. – С. 219-721. – DOI: 10.7868/S0869565217300259.
25. Niu P., Jiang Y., Yang Y., Wang L. The characteristics and influencing factors of change in farmland system vulnerability: A case study of Sanmenxia City, China. *Front. Environ. Sci.* 10:887570. 2022; 10: 1-19. – DOI: 10.3389/fenvs.2022.887570.

References

1. Konstantinov A.V. *Stsenarnyi podkhod k adaptatsii lesnykh ekosistem Rossiiskoi Federatsii v uslo-viyakh izmenenii klimata*. [Scenario approach to adaptation of forest ecosystems of the Russian Federation in the context of climate change]. *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya*. 2023; 87(4): 558-567. – DOI: <https://doi.org/10.31857/S2587556623040039>.
2. *Lesnoi kodeks Rossiiskoi Federatsii : feder. zakon ot 04.12.2006 No. 200-FZ*. [Forest Code of the Russian Federation: federal law of 04.12.2006 No. 200-FZ]. *Konsul'tantPlyus: ofits. sait*. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/.
3. Korotkov V.N. *Lesnye klimaticheskie proekty v Rossii: ogranicheniya i vozmozhnosti* // *Russian Journal of Ecosystem Ecology* [Forest climate projects in Russia: limitations and possibilities]. 2022; 7(4): 1-8. – DOI: <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2022-4-3>.
4. *Ob utverzhdenii Klimaticheskoi doktriny Rossiiskoi Federatsii : Ukaz prezidenta Rossiiskoi Federatsii ot 26.10.2023 No. 812*. [On approval of the Climate Doctrine of the Russian Federation: Decree of the President of the Russian Federation of 26.10.2023 No. 812]. *Konsul'tantPlyus: ofits. sait*. – URL: <https://www.consultant.ru/law/hotdocs/82279.html>.
5. *Ob utverzhdenii metodicheskikh rekomendatsii i pokazatelei po voprosam adaptatsii k izmeneniyam klimata (vmeste s «Metodicheskimi rekomendatsiyami po otsenke klimaticheskikh riskov», «Metodicheskimi rekomendatsiyami po ranzhirovaniyu adaptatsionnykh meropriyatii po stepeni ikh prioritnosti», «Metodicheskimi rekomendatsiyami po formirovaniyu otraslevykh, regional'nykh i korporativnykh planov adaptatsii k izmeneniyam klimata»)* : *prikaz Minekonomrazvitiya Rossii ot 13.05.2021 No. 267* [On approval of methodological recommendations and indicators on adaptation to climate change (together with the «Methodological recommendations for assessing climate risks», «Methodological recommendations for ranking adaptation measures according to their degree of priority», «Methodological recommendations for the formation of industry, regional and corporate plans for adaptation to climate change»): order of the Ministry of Economic Development of Russia dated 13.05.2021 No. 267]. *Konsul'tantPlyus: ofits. sait*. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_384470/2ff7a8c72de3994f30496a0ccbb1ddafdaddd518.
6. *Ob utverzhdenii tipovoi formy i sostava lesnogo plana sub"ekta Rossiiskoi Federatsii, poryadka ego podgotovki i vneseniya v nego izmenenii* : *prikaz Minprirody Rossii ot 20.12.2017 No. 692*. [On approval of the standard form and

composition of the forest plan of a constituent entity of the Russian Federation, the procedure for its preparation and amendments to it: order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 20.12.2017 No. 692]. Konsul'tant-Plyus : ofits. sait. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_295497/.

7. Ob utverzhdenii Pravil vedeniya gosudarstvennogo lesnogo reestra : postanovlenie Pravitel'stva RF ot 25.08.2023 No. 1378. [On approval of the Rules for maintaining the state forest register: Resolution of the Government of the Russian Federation dated 25.08.2023 No. 1378]. AO «Kodeks». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1302594633>.

8. Ob utverzhdenii form, sodержaniya i poryadka predstavleniya v forme elektronnoho dokumenta otchet-nosti ob osushchestvlenii peredannykh v sootvetstvii s chast'yu 1 stat'i 83 Lesnogo kodeksa Rossiiskoi Federa-tsii polnomochii, a takzhe poryadka integratsii sootvetstvuyushchikh informatsionnykh sistem, ispol'zuemykh upol-nomochennymi ispolnitel'nymi organami sub"ektov Rossiiskoi Federatsii dlya ucheta dannykh ob ispol'zova-nii, okhrane, o zashchite, vosproizvodstve lesov, s federal'noi gosudarstvennoi informatsionnoi sistemoi les-nogo kompleksa, inymi federal'nymi informatsionnymi sistemami : prikaz Minprirody Rossii ot 18.06.2024 No. 385 [On approval of the forms, content and procedure for submitting reports in the form of an electronic document on the implementation of powers transferred in accordance with Part 1 of Article 83 of the Forest Code of the Russian Federation, as well as the procedure for integrating the relevant information systems used by authorized executive bodies of the constituent entities of the Russian Federation to record data on the use, protection, conservation, and reproduction of forests, with the federal state information system of the forest complex and other federal information systems: order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 18.06.2024 No. 385]. AO «Kodeks». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1306919712>.

9. Nauchno-prikladnoi spravochnik «Klimat Rossii» [Scientific and applied reference book «Climate of Russia»]. VNIIGMI-MTsD. 2024; URL: <http://aisori-m.meteo.ru/climsprn/>.

10. Nedbaev I.S., Semenova E.I., Soroka A.O. Otsenka uyazvimosti lesov k klimaticheskim izmeneniyam // Okhrana, innovatsionnoe vosstanovlenie i ustoichivoe upravlenie lesami. Forestry-2023: Materialy Mezhdunarodnogo lesnogo foruma, 13 oktyabrya 2023 g., Voronezh. [Assessing forest vulnerability to climate change // Protection, innovative restoration and sustainable management of forests. Forestry-2023: Proceedings of the International Forestry Forum, October 13, 2023, Voronezh]. Voronezh : Voronezhskii gosudarstvennyi lesotekhnicheskii universitet im. G.F. Morozova. 2023; 98-114. DOI: 10.58168/Forestry2023_98-114.

11. Boulanger Y., D.T. Price, Cyr D., Sainte-Marie G. Stand-level drivers most important in determining boreal forest response to climate change. Journal of Ecology, 2017; 106 (3): 977-990. DOI: 10.1111/1365-2745.12892.

12. McDowell N.G., Allen C.D. Darcy's law predicts widespread forest mortality under climate warming. Nature Climate Change. 2015; 5: 669-672. DOI: 10.1038/nclimate2641.

13. Balshi M.S., McGuire D.A., Duffy P., Flannigan M.D., Walsh J., Melillo J. Assessing the response of area burned to changing climate in western boreal North America using a multivariate adaptive regression splines (MARS) approach. Global Change Biology. 2008; 15: 578-600. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2008.01679.x.

14. Boulanger Y., Arseneault D., Morin H., Jardon Y., Bertrand P., Dagneau. C. Dendrochronological reconstruction of spruce budworm (Choristoneura fumiferana Clem.) outbreaks in southern Québec for the last 400 years. Canadian Journal of Forest Research. 2012; 42: 1264-1276. DOI: 10.1139/x2012-069.

15. Matthews S.N., Iverson L.R., Prasad A.M., Peters M.P., Rodewald P.G. Modifying climate change habitat models using tree species-specific assessments of model uncertainty and life history-factors. Forest Ecology and Management. 2011; 262: 1460-1472. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.06.047.

16. Lipka O.N., Zamolodchikov D.G., Kaganov V.V., Mazmanyants G.A., Isupova M.V., Aleinikov A.A. Klimaticheskii effekt vosstanovleniya lesov v del'te r. Ili [Climatic effect of forest restoration in the Ili River delta]. Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geogra-ficheskaya. 2021; 85(4). – С. 579-594. – DOI: 10.31857/S2587556621040051.

17. Ob utverzhdenii Poryadka provedeniya gosudarstvennoi inventarizatsii lesov : prikaz Minprirody Rossii ot 27.09.2021 No. 686. [On approval of the Procedure for conducting state forest inventories: order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated September 27, 2021 No. 686]. AO «Kodeks». URL: <https://docs.cntd.ru/document/727092651>.

18. Belyaeva N.V., Danilov D.A. *Zakonomernosti funktsionirovaniya sosnovykh i elovykh fitotsenozov na ob"ektakh rubok ukhoda i kompleksnogo ukhoda za lesom* [Patterns of functioning of pine and spruce phytocenoses at sites of thinning and complex forest care]. Izd-vo Politekhnicheskogo universiteta. 2014. 164 s.
19. *Torfyanye pozhary*. [Peat fires]. URL: <https://10.mchs.gov.ru/uploads/resource/2022-03-29/468f5f997304de050f754e5015db0c9e.pdf>.
20. Sirin A.A., Makarov D.A., Gummert I., Maslov A.A., Gul'be Ya.I. *Glubina progoraniya torfa i pote-ri ugleroda pri lesnom podzemnom pozhare* [Depth of peat combustion and carbon losses in a forest underground fire]. Lesovedenie. 2020; 5: 410-422. DOI: 10.1134/S0024114819050097.
21. Sirin A.A., Medvedeva M.A., Il'yasov D.V., Korotkov V.N, Minaeva T.Yu., Suvorov G.G. *Obvodnennye torfyaniki v klimaticheskoi otchetnosti Rossiiskoi Federatsii*. [Flooded peatlands in the climate reporting of the Russian Federation]. Fundamental'naya i prikladnaya klima-tologiya. 2021; 7(3): 84-101. DOI: 10.21513/2410-8758-2021-3-84-112.
22. Nedbaev I.S., Semenova E.I., Soroka A.O. *Opredelenie porogovykh znachenii pokazatelei riska uve-licheniya kolichestva lesnykh pozharov v kontekste izmeneniya klimata* [Determination of threshold values of risk indicators of an increase in the number of forest fires in the context of climate change]. Trudy SPbNILKh. 2024; 234-237. DOI: 10.21178/160524.234.
23. Soroka A.O., Nedbaev I.S., Semenova E.I. *Analiz urovnya adaptatsii lesov v naibolee uyazvimykh k klimaticheskim izmeneniyam sub"ektakh RF*. [Analysis of the level of forest adaptation in the constituent entities of the Russian Federation most vulnerable to climate change]. Stolyarovskie chteniya : Sbornik materialov nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 95-letiyu akademika D.P. Stolyarova ot 5 oktyabrya 2023 g. 2023; 62-66. DOI: 10.21178/05102023.62.
24. Zamolodchikov D.G., Grabovskii V.I., Shulyak P.P., Chestnykh O.V. *Sovremennoe sokrashchenie stoka ugleroda v lesa Rossii*. [Modern reduction of carbon sink in Russ. forests]. Doklady Akademii Nauk. 2017; 476(6): 219-721. DOI: 10.7868/S0869565217300259.
25. Niu P., Jiang Y., Yang Y., Wang L. *The characteristics and influencing factors of change in farmland system vulnerability: A case study of Sanmenxia City, China*. Front. Environ. Sci. 10:887570. 2022; 10: 1-19. DOI: 10.3389/fenvs.2022.887570.

Сведения об авторах

✉ *Константинов Артем Васильевич* – доктор с.-х. наук, заместитель директора по научной работе, ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства», Институтский пр., 21, Санкт-Петербург. Российская Федерация, 194021, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1864-9313>, e-mail: konstantinov_a82@mail.ru.

Якушева Татьяна Викторовна – начальник отдела лесного проектирования, ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства», Институтский пр., 21, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 194021, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7635-7327>, e-mail: ytvles@mail.ru.

Выродова Светлана Александровна – ведущий специалист научно-исследовательского отдела селекции, воспроизводства и химического ухода за лесом, ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства», Институтский пр., 21, Санкт-Петербург. Российская Федерация, 194021, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6106-3967>, e-mail: svyrodoval@mail.ru.

Information about the authors

✉ *Artem V. Konstantinov* – Dr. Sci. (Agric.), Deputy Director for Research, Saint-Petersburg Forestry Research Institute, Institutsky pr., 21, Saint Petersburg, Russian Federation, 194021, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1864-9313>, e-mail: konstantinov_a82@mail.ru.

Tatyana V. Yakusheva – Head of Forestry Design Department, Saint-Petersburg Forestry Research Institute, Institutsky pr., 21, Saint Petersburg, Russian Federation, 194021, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7635-7327>, e-mail: ytvles@mail.ru.

Svetlana A. Vyrodova – Leading specialist of the research department of selection, reproduction and chemical forest care, Saint-Petersburg Forestry Research Institute, Institutsky pr., 21, Saint Petersburg, Russian Federation, 194021, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6106-3967>, e-mail: svyrodoval@mail.ru.

✉ – Для контактов | Corresponding author