

А.О. Сорока, Е.И. Семенова, И.С. Недбаев, А.В. Константинов

ИНСТРУМЕНТАРИЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ОПАСНОСТИ КЛИМАТИЧЕСКИХ РИСКОВ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Введение. Изменения климата, фиксируемые на территории Российской Федерации, влекут за собой возрастание опасности климатических рисков. Под климатическими рисками понимается потенциал негативных последствий для человека или экосистем от воздействия изменения климата. Неопределенность в отношении перечня климатических рисков: зачастую к ним относят процессы и явления, не связанные напрямую с метеорологическими параметрами, например, оползни и сели¹, – влечет за собой разночтения в трактовках касательно самих рисков и их последствий. Конкретность в определении климатических рисков необходима, так как в настоящее время в мероприятия климатической политики включаются инвесторы, финансирующие различного рода проекты [Константинов, Матвеев, 2020; Salisu et al., 2024].

Целью настоящего исследования является обоснование системы показателей для оценки уровня опасности климатических рисков в лесном хозяйстве.

Для достижения обозначенной цели были решены следующие задачи:

- изучены основные подходы к определению климатических рисков в лесном хозяйстве;
- обоснован перечень климатических рисков, которые целесообразно оценивать для планирования адаптации лесного хозяйства Российской Федерации;
- исследованы последствия проявлений климатических рисков в лесных экосистемах;
- определены показатели, позволяющие оценивать уровень опасности климатических рисков в лесном хозяйстве.

Материалы и методика исследования. Для обоснования системы показателей в отношении каждого климатического риска был произведён поиск научной литературы с использованием электронных библиотек (e-library, Research Gate). Основной информационной базой выступили дан-

¹ Об утверждении Методических рекомендаций по оценке возможного ущерба от воздействия климатических рисков, в том числе рекомендаций по формированию перечня климатически уязвимых объектов в отраслях экономики, в субъектах Российской Федерации и Методических рекомендаций по мониторингу и оценке эффективности и результативности мер по адаптации к изменениям климата: Приказ Минэкономразвития России от 28 декабря 2023 г.

ные государственного лесного реестра (формы ГЛР), отчетность об осуществлении органами государственной власти субъектов Российской Федерации переданных полномочий в области лесных отношений (формы ОИП) и метеорологические данные, представленные в научно-прикладном справочнике «Климат России»².

Для настоящей оценки климатических рисков использовался опыт разработки методик оценки уязвимости лесов и оценки уровня адаптации к климатическим изменениям [Недбаев и др., 2023; Семенова и др., 2024].

Результаты исследования. Существуют различные подходы и методики оценки климатических рисков. Выделяют физические климатические риски, связанные с природными явлениями, возникающими вследствие изменения климата. Физические климатические риски, в свою очередь, подразделяются на экстренные, вызванные внезапными катастрофическими событиями (опасные метеорологические, гидрологические, геофизические явления, а также природные пожары), и систематические, связанные с долгосрочными изменениями климатических условий (подъем уровня океана, увеличение средней температуры воздуха, изменение состояния окружающей среды)³.

Приказом Минэкономразвития России от 13.05.2021 № 267 утверждены методические рекомендации и показатели по вопросам адаптации к изменениям климата. Согласно данному документу климатический фактор – это параметр климатической системы, меняющийся под воздействием внутренней динамики или в силу воздействий на эту систему внешних факторов, таких как колебания солнечной радиации, изменение химического состава атмосферы и т. д. Климатический (климатообусловленный) риск – это характеристика вероятности опасных проявлений климатического фактора и его воздействия в виде вреда или ущерба.

Изменения климата по-разному влияют на лесные экосистемы, при этом факторы действуют как в масштабе насаждения, так и в масштабе ландшафта. Они могут повлиять на физиологию и фенологию отдельных видов деревьев, что приводит к изменениям в структуре лесных сообществ [Boulanger et al., 2017]. Одновременно с этим увеличивается количество лесных пожаров [Boulanger et al., 2012] и вспышек вредителей [Matthews et al., 2011]. В Лесном плане субъекта РФ⁴ выделяются пять климатических рисков, характерных для лесного хозяйства, которые достоверно отображают все возможные последствия изменений климата в лесах.

² Научно-прикладной справочник «Климат России» // ВНИИГМИ-МЦД. 2024. URL: <http://aisori-m.meteo.ru/climspm/> (дата обращения: 23.05.2024).

³ Technical Expert Group on Sustainable Finance Taxonomy: Technical Report. 2019.

⁴ Об утверждении типовой формы и состава лесного плана субъекта Российской Федерации, порядка его подготовки и внесения в него изменений : приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 20.12.2017 № 692.

В результате проведённого анализа для каждого из этих рисков разработана система показателей для оценки (табл. 1). Ниже каждый риск и показатели к нему будут рассмотрены подробнее.

Таблица 1

Показатели для оценки климатических рисков в лесном хозяйстве

Indicators for climate risk assessment in forestry

Климатический риск	Показатель
Риск изменения продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадаемых осадков	Изменение общего среднего прироста на гектар по отношению к базовому периоду 1990–1999 гг., тыс. м ³ /га
	Процент очень засушливых дней по ГТК Селянинова, %
Риск изменения в видовом (породном) составе лесов	Изменение площади хвойных пород по сравнению с базовым периодом 1990–1999 гг., %
	Изменение площади твердолиственных пород по сравнению с базовым периодом 1990–1999 гг., %
	Процент очень засушливых дней по ГТК Селянинова, %
Риск увеличения частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами	Отношение числа лесных пожаров к площади лесных земель, шт./тыс.га
	Отношение площади погибших лесных насаждений к площади лесных земель, %
	Отношение площади, пройденной огнём, к площади лесных земель, %
	Среднее количество дней в месяц с уровнем горимости более II, %
Риск увеличения частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах	Относительная площадь очагов вредных организмов, %
	Изменение отношения площади погибших от повреждения вредителями и болезнями леса лесных насаждений к площади лесных земель, %
	Процент повторяемости вспышек массового размножения вредных организмов на территории более 2% от площади лесных земель, %
	Процент очень засушливых дней по ГТК Селянинова, %
Риск 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, %
	Изменение количества экстремальных погодных явлений на территории субъекта в сравнении с базовым периодом, шт.
	Среднее число дней со скоростью ветра более 20 м/с, сут

Риск изменения продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадающих осадков

Изменение климата оказывает значительное влияние на продуктивность лесов. Влажность и температура влияют на фотосинтетическую активность и рост деревьев, что, в свою очередь, отражается на общей продуктивности лесных экосистем.

Увеличение количества осадков может способствовать росту растений. Однако, если осадков становится больше, чем необходимо лесам для оптимального развития, это может привести к повышению уровня грунтовых вод и ухудшению условий для роста. Изменение количества выпадающих осадков сказывается на влагообеспеченности территории, что отражает значение ГТК Селянинова (отношение суммы осадков в мм за период со среднесуточными температурами воздуха выше 10 °С к сумме температур за это же время).

Риск изменения в видовом (породном) составе лесов

Географическое распределение древесных пород в значительной мере зависит от климатических условий, прежде всего от минимальной температуры воздуха и временной нехватки влаги в жаркий период года [Александров, Проказин, 2018]. Климатические изменения приводят к преобразованию границ ареалов различных древесных пород, поэтому один из климатических рисков в области лесного хозяйства – это изменение видового состава лесов. Согласно прогнозам северные европейские виды древесной растительности будут значительно подвержены воздействию изменяющегося климата. Сокращение их ареалов может привести к негативным последствиям как для лесного хозяйства, так и для природных экосистем [Прожерина, Наквасина, 2022].

Для оценки климатических изменений также используется гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова. В период с 2007 по 2012 годы на всей территории лесостепной зоны и подзоны широколиственных лесов России отмечался рост засушливости, что характеризовалось снижением ГТК на 0,2–0,3. В сочетании с увеличением суммы активных температур это может способствовать остепнению территорий на южной границе лесной зоны, если тенденции сохраняются в будущем [Виноградова и др., 2015; Мусиевский, 2022].

Таким образом, основными показателями, отражающими риск изменения в видовом (породном) составе лесов, являются изменение площадей хвойных и твердолиственных пород и ГТК Селянинова.

Риск увеличения частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами

Пожары являются серьёзной угрозой для лесного хозяйства, нанося существенный ущерб⁵. Для возникновения лесного пожара необходимо сочетание нескольких факторов, таких как: наличие горючего материала, наличие источника возгорания и совокупность метеорологических условий, таких как малое количество осадков и высокая температура. Последний фактор отражает индекс пожарной опасности Нестерова, который может быть использован для оценки риска лесных пожаров в связи с климатическими изменениями [Шерстюков, 2009; Мазаник и др., 2020]. Например, ключевым фактором усиления пожарной активности в Якутии (субъекте с наибольшей площадью лесных пожаров) является тенденция повышения средних температур воздуха мая и июня и уменьшения весенних осадков [Петров, Федоров, 2023]. В соответствии с прогностическими моделями, на всех временных интервалах и при любом сценарии просматривается общая тенденция усиления в XXI веке роли метеорологических факторов, способствующих возникновению лесных пожаров почти во всех районах лесной зоны России [Шерстюков, Шерстюков, 2007]. Согласно прогнозам относительно того, что наблюдалось в период 2003–2020 годов, частота экстремальных пожаров вырастет на 21% в конце столетия при сценарии RCP 2.6, на 45% при сценарии RCP 4.5, на 107% в конце столетия при сценарии 8.5 [Швиденко и др., 2013; Александрова, 2020; Brown et al., 2023].

Риск увеличения частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах

Одним из климатических факторов, значительно влияющих на риски размножения вредителей и болезней леса, является засуха, наиболее часто приводящая к выходу популяции насекомого из состояния стабильности, росту плодовитости, выживаемости, снижению эффективности естественных врагов и биологической устойчивости насаждений [Лямцев, 2023]. Примерами могут служить вспышки короедов, которые нанесли ущерб миллионам гектаров хвойных лесов в Северной Америке [Pureswaran et al., 2015], и пядениц, уничтоживших одну треть лиственных лесов на севере Фенноскандии [Vindstad et al., 2018]. Серьезную опасность представляют также инвазивные вредоносные виды, расширяющие свой ареал вследствие смягчения климата.

⁵ Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2023 год. М., 2024. 104 с.

Масштабы воздействия вспышек вредных организмов на леса отражает показатель относительной площади очагов вредных организмов к общей площади лесов субъекта, выраженный в процентах. Данный показатель имеет значительный разброс как от субъекта к субъекту, так и во времени на территории одного региона. По ранее проведенным расчетам ФБУ «СПбНИИЛХ» данный риск может изменяться от 0% до 68% (Краснодарский край), в среднем достигая значения 2,8% за период наблюдений. Повторяемость вспышек массового размножения вредителей выражена в отношении количества лет, когда фиксировались вспышки на площади более 2% от площади лесных земель субъекта, к периоду наблюдений. Помимо площадей очагов вредных организмов значимым показателем является изменение отношения площади погибших от повреждения вредителями и болезнями леса лесных насаждений к площади лесных земель.

Риск увеличения частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах

Одним из самых значимых по ущербу для лесов экстремальных погодных явлений является сильный ветер [Шихов и др., 2023]. Для территории Европы выделяют три основных климатических драйвера роста площади ветровалов в условиях современного потепления. К ним относятся возможное увеличение частоты и интенсивности зимних штормов, а также ожидаемый аналогичный тренд для конвективных шквалов и смерчей в теплый период года. Вероятное увеличение количества и интенсивности осадков при прохождении внетропических циклонов также может способствовать росту площадей ветровалов [Koven et al., 2020; Senf, Seidl, 2021].

Важнейшим показателем данного риска является динамика возникновения экстремальных погодных явлений, в первую очередь – аномальных осадков и сильного ветра. Аномалии среднегодовых осадков могут быть как экстремально высокими (превышение нормы на 20%), так и низкими, приводящими к засухе (меньше нормы более чем на 20%). Возникновение аномальных осадков может приводить как напрямую к катастрофическим последствиям (сели, наводнения и т. д.), так и оказывать косвенный эффект, ослабляя древостой и увеличивая тем самым риски возникновения ветровалов, вспышек насекомых, лесных пожаров. Сильный ветер (больше 20 м/с) способен вызывать повреждения насаждений, появление ветровалов и буреломов, приводящих к гибели древостоя.

Значение гибели лесов от воздействия экстремальных погодных явлений достаточно сильно изменяется как в пространственном, так и во временном отношении. Информативным является показатель изменения гибели лесов по отношению к лесопокрытой площади субъекта.

Заключение. Применяемая в настоящее время в лесном планировании Российской Федерации классификационная система рисков, вызванных климатическими изменениями, является оптимальной для изучения последствий изменений климата в лесах и реализации мер по адаптации лесного хозяйства, что подтверждается научными исследованиями в данной области.

В ходе настоящего исследования был обоснован перечень показателей, позволяющих проводить оценку уровня опасности климатических рисков. Система показателей включает в себя как ретроспективные данные о состоянии лесов, так и климатические параметры.

Разработанная система показателей оценки уровня опасности климатических рисков в лесном хозяйстве опирается на прагматичный подход и подкреплена новейшими научными данными в области динамики лесных экосистем под воздействием факторов климатической изменчивости.

Сведения о финансировании. Исследование выполнено в рамках государственного задания Федерального агентства лесного хозяйства от 15.01.2024 № 053-00012-24-00 по теме «Разработка системы планирования, реализации и оценки эффективности мер государственной климатической политики в лесном секторе Российской Федерации» (шифр 2-Д24 климатическая политика).

Благодарности. Авторы выражают благодарность рецензентам и редактору за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Александров Г.А., Проказин Н.Е. Биоклиматические рамочные модели для климатипов лесных древесных пород // Лесохоз. информ. : электрон. сетевой журн. 2018. №1. С. 90–102. URL: http://lhi.vniilm.ru/PDF/2018/1/LHI_2018_01-08-Prokazin.pdf (дата обращения: 24.05.2024).

Александрова В.В. Климатические изменения и лесные пожары // Заметки ученого : Южный университет (ИУБиП). 2020. №20. С. 22–28.

Виноградова В.В., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А. Динамика увлажнения и теплообеспеченности в переходных ландшафтных зонах по спутниковым и метеорологическим данным в начале XXI века // Совр. проблемы ДЗЗ из космоса. 2015. Т. 12. № 2. С. 162–172.

Константинов А.В., Матвеев С.М. Методический подход к оценке адаптационного потенциала лесных экосистем Российской Федерации // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2020. № 2. С. 14–33.

Лямцев Н.И. Методы прогнозирования угрозы вспышек массового размножения хозяйственно опасных лесных насекомых. Пушкино: ВНИИЛМ. 2023. 1 CD-ROM. Загл. с титул. Экрана. 62 с.

Мазаник А.И., Рыбаков А.В., Белоусов Р.Л., Араштаев А.И. Модель оценки влияния метеорологических параметров на уровень природной пожарной опасности // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2020. № 2 (45). С. 12–24.

Мусиевский А.Л. Тенденции в динамике лесного фонда Центральной лесостепи европейской части России за период 1966–2017 гг. // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2022. № 2. С. 58–69.

Недбаев И.С., Семенова Е.И., Сорока А.О. Оценка уязвимости лесов к климатическим изменениям // Охрана, инновационное восстановление и устойчивое управление лесами. Forestry – 2023 : матер. Междунар. лесного форума. 2023. С. 98–114. DOI: 10.58168/Forestry2023_98-114.

Петров М.И., Федоров А.Н. Влияние климатических условий на лесные пожары в Центральной Якутии // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023. Т. 28(2). С. 248–260. DOI: 10.31242/2618-9712-2023-28-2-248-260.

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

Семенова Е.И., Сорока А.О., Недбаев И.С. Пространственная дифференциация лесов субъектов Российской Федерации на основе авторской методики оценки уровня адаптации к изменениям климата // Лесотехнический журнал. 2024. Т. 14. № 1(53). С. 16–34. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2024.1/2.

Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение. 2013. Т. 5. С. 50–61.

Шерстюков А.Б. Изменения климата и их последствия в зоне многолетней мерзлоты России: монография. Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2009. 127 с.

Шерстюков Б.Г., Шерстюков А.Б. Лесные пожары на территории России при потеплении климата в XXI веке / ВНИИГМИ-МЦД. 2007. С. 300–313. URL: http://downloads.igce.ru/publications/pemem/PEMEM25/15_Sherstyukov_Sherstyukov.v.pdf (дата обращения: 24.05.2024).

Шихов А.Н., Чернокульский А.В., Калинин Н.А., Пьянков С.В. Ветровалы в лесной зоне России и условия их возникновения : монография. Пермь, 2023. 284 с.

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. Vol. 42. P. 1264–1276. DOI: 10.1139/x2012-069.

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

Brown P.T., Hanley H., Mahesh A., Reed C., Strenfel S.L., Davis S.J., Kochanski A.K., Clements C.B. Climate warming increases extreme daily wildfire growth risk in California // *Nature*. 2023. Vol. 621. P. 760–766. DOI: 10.1038/s41586-023-06444-3.

Koven Ch., Knox R., Fisher R., Chambers J.O., Christoffersen B.O., Davies S.J., Detto M., Dietze M.C., Faybishenko B., Holm L., Huang M., Kovenock M., Kueppers L.M., Lemieux G., Massoud E., McDowell N.G., Muller-Landau H.C., Needham J.F., Norby R.J., Powell T., Rogers A., Serbin S.P., Shuman J.K., Swann A., Varadharajan C., Walker A., Wright S.J., Xu Ch. Benchmarking and parameter sensitivity of physiological and vegetation dynamics using the Functionally Assembled Terrestrial Ecosystem Simulator (FATES) at Barro Colorado Island, Panama // *Biogeosciences*. 2020. Vol. 17. P. 3017–3044. DOI: 10.5194/bg-17-3017-2020.

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. Vol. 262. P. 1460–1472. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.06.047.

Pureswaran D.S., De Grandpre L., Pare D., Taylor A., Barrette M., Morin H., Kneeshaw D.D. Climate-induced changes in host tree-insect phenology may drive ecological state-shift in boreal forests // *Ecology*. 2015. Vol. 96. P. 1480–1491. DOI: 10.1890/13-2366.1.

Salisu A., Ogbonna A.A., Vinh V.X. Climate risks and the REITs market // *International Journal of Finance & Economics*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/ijfe.2983>.

Senf C., Seidl R. Persistent impacts of the 2018 drought forest disturbance regimes in Europe // *Biogeosciences*. 2021. Vol. 18. P. 5223–5230.

Vindstad O.P.L., Jepsen J.U., Ek M., Pepi A., Anker R. Can novel pest outbreaks drive ecosystem transitions in northern-boreal birch forest? // *Journal of Ecology*. 2018. Vol. 107, iss. 3. P. 1141–1153. DOI: 10.1111/1365-2745.13093.

References

Aleksandrov G.A. Bioclimatic framework models for climatotypes of forest tree species. *Lesokhoz. inform.* : electronic network journal, 2018, no. 1, pp. 90–102. URL: http://lhi.vniilm.ru/PDF/2018/1/LHI_2018_01-08_Prokazin.pdf (accessed May 24, 2024). (In Russ.)

Aleksandrova V.V. Climatic changes and forest fires. *Notes of a scientist*, 2020, no. 20 : Southern University (IUBiP), pp. 22–28. (In Russ.)

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, vol. 42, pp. 1264–1276. DOI: 10.1139/x2012-069.

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

Brown P.T., Hanley H., Mahesh A., Reed C., Strenfel S.L., Davis S.J., Kochanski A.K., Clements C.B. Climate warming increases extreme daily wildfire growth risk in California. *Nature*, 2023, vol. 621, pp. 760–766. DOI: 10.1038/s41586-023-06444-3.

Konstantinov A.V. Methodical approach to assessing the adaptation potential of forest ecosystems of the Russian Federation. *Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry*, 2020, no. 2, pp. 14–33. DOI: <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2020.2.14>. EDN: DGYYYZ. (In Russ.)

Koven Ch., Knox R., Fisher R., Chambers J.O., Christoffersen B.O., Davies S.J., Detto M., Dietze M.C., Faybishenko B., Holm L., Huang M., Kovenock M., Kueppers L.M., Lemieux G., Massoud E., McDowell N.G., Muller-Landau H.C., Needham J.F., Norby R.J., Powell T., Rogers A., Serbin S.P., Shuman J.K., Swann A., Varadharajan C., Walker A., Wright S.J., Xu Ch. Benchmarking and parameter sensitivity of physiological and vegetation dynamics using the Functionally Assembled Terrestrial Ecosystem Simulator (FATES) at Barro Colorado Island, Panama. *Biogeosciences*, 2020, vol. 17, pp. 3017–3044. DOI: 10.5194/bg-17-3017-2020.

Lyamtsev N.I. Methods of forecasting the threat of outbreaks of mass reproduction of economically dangerous forest insects. Electronic resource. Pushkino: VNIILM, 2023. 62 p. 1 CD-ROM. (In Russ.)

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, vol. 262, pp. 1460–1472. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.06.047.

Mazanik A.I., Rybakov A.V., Belousov R.L., Arashtaw A.I. Model for assessing the impact of meteorological parameters on the level of natural fire danger. *Scientific and educational problems of civil protection*, 2020, no. 2 (45), pp. 12–24. (In Russ.)

Musievskij A.L. Trends in the dynamics of the forest fund of the Central forest-steppe of the European part of Russia for the period 1966–2017. *Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry*, 2022, no. 2, pp. 58–69. (In Russ.)

Nedbaev I.S., Semenova E.I., Soroka A.O. Assessment of forest vulnerability to climate change. *Forestry – 2023 : proceedings of the International Forestry Forum*, 2023, pp. 98–114. DOI: 10.58168/Forestry2023_98-114. (In Russ.)

Petrov M.I., Fedorov A.N. Influence of climatic conditions on forest fires in Central Yakutia. *Natural Resources of the Arctic and Subarctic*, 2023, vol. 28 (2), pp. 248–260. DOI: 10.31242/2618-9712-2023-28-2-248-260. (In Russ.)

Prozherina N.A., Nakvasina E.N. Climate change and its impact on adaptation and intraspecific variability of conifers of the European North of Russia. *IVUZ. Lesnoj zhurnal*, 2022, no. 2, pp. 9–25. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-2-9-25. (In Russ.)

Pureswaran D.S., De Grandpre L., Pare D., Taylor A., Barrette M., Morin H., Kneeshaw D.D. Climate-induced changes in host tree-insect phenology may drive ecological state-shift in boreal forests. *Ecology*, 2015, vol. 96, pp. 1480–1491. DOI: 10.1890/13-2366.1.

Salisu A., Ogbonna A., Vinh V.X. Climate risks and the REITs market. *International Journal of Finance & Economics*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/ijfe.2983>.

Semenova E.I., Soroka A.O., Nedbaev I.S. Spatial differentiation of forests of the subjects of the Russian Federation based on the author's methodology for assessing the level of adaptation to climate change. *Lesotechnical Journal*, 2024, vol. 14, no. 1(53), pp. 16–34. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2024.1/2. (In Russ.)

Senf C., Seidl R. Persistent impacts of the 2018 drought on forest disturbance regimes in Europe. *Biogeosciences*, 2021, vol. 18, pp. 5223–5230.

Sherstyukov A.B. Climate changes and their consequences in the permafrost zone of Russia. Obninsk: State Institution VNIIGMI-MCD. 2009. 127 p. (In Russ.)

Sherstyukov B.G., Sherstyukov A.B. Forest fires on the territory of Russia under climate warming in the XXI century. VNIIGMI-MCD. Electronic resource. Official website. 2007, pp. 300–313. URL: http://downloads.igce.ru/publications/pemem/PEMEM25/15_Sherstyukov_Sherstyukov.pdf (accessed May 24, 2024). (In Russ.)

Shihov A.N., Chernokul'skij A.V., Kalinin N.A., P'yankov S.V. Windstorms in the forest zone of Russia and conditions of their occurrence : a monograph. Perm, 2023. 284 p. (In Russ.)

Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G. Climatic changes and forest fires in Russia. *Lesovedenie*, 2013, vol. 5, pp. 50–61. (In Russ.)

Vindstad O.P.L., Jepsen J.U., Ek M., Pepi A., Anker R. Can novel pest outbreaks drive ecosystem transitions in northern-boreal birch forest? *Journal of Ecology*, 2018, vol. 107, iss. 3, pp. 1141–1153. DOI: 10.1111/1365-2745.13093.

Vinogradova V.V., Titkova T.B., Cherenkova E.A. Dynamics of moisture and heat supply in transitional landscape zones according to satellite and meteorological data at the beginning of the XXI century. *Modern problems of remote sensing from space*, 2015, vol. 12, no. 2, pp. 162–172. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 25.03.2024

Сорока А.О., Семенова Е.И., Недбаев И.С., Константинов А.В. Инструментарий оценки уровня опасности климатических рисков в лесном хозяйстве // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 251. С. 172–185. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.251.172-185

Целью данного исследования является обоснование системы показателей оценки уровня опасности климатических рисков в лесном хозяйстве, которая позволит научно обоснованно идентифицировать и количественно оценить воздействие климатических факторов на лесные экосистемы, способствуя более эффективному управлению ресурсами и адаптации лесного хозяйства к изменениям климата. Данная система опирается на прагматичный подход, связанный с доступностью многолетних статистических данных, и подкреплена новейшими научными данными в области динамики лесных экосистем под

воздействием факторов климатической изменчивости. Система показателей может стать основой для процессов планирования реализации адаптационных мер в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов, в том числе в отношении основных климатических рисков, обусловленных изменениями продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадающих осадков, изменениями в видовом (породном) составе лесов, увеличением частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами, увеличением частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах, а также увеличением частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах. Данная работа направлена на формирование научного обоснования для комплексной оценки климатических рисков и разработку стратегии для их минимизации, что позволит обеспечить устойчивость лесного хозяйства к климатическим изменениям и поддерживать его экологическую и экономическую стабильность. Показатели могут быть интегрированы в существующие методы управления лесными ресурсами, способствуя улучшению практической реализации адаптационных мер и политик в сфере охраны окружающей среды.

Ключевые слова: климатические риски, лесное хозяйство, изменение климата, лесные экосистемы, оценка климатических рисков.

Soroka A.O., Semyonova E.I., Nedbaev I.S., Konstantinov A.V. Climate Risk Assessment Toolkit for Forestry. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2024, iss. 251, pp. 172–185 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.251.172-185

The purpose of this study was to substantiate the system of indicators for assessing the degree of danger of climate risks in forestry. Based on the results of the study of the main approaches to the definition of climatic risks in forestry and the study of their consequences, a system of indicators for assessing the degree of danger of climatic risks in forestry was developed and scientifically justified. This system of indicators for assessing the degree of danger of climate risks in forestry is based on a pragmatic approach associated with the availability of long-term statistical data, and is supported by the latest scientific data in the field of forest ecosystem dynamics under the influence of climate variability factors. The system of indicators can become the basis for planning the implementation of adaptation measures in the field of forest use, protection, conservation and reproduction, including with regard to the main climatic risks caused by changes in forest productivity due to changes in the average values of temperature and precipitation, changes in the species (types) composition of forests, an increase in the frequency of (forest) fires in forests and areas covered by fires, an increase in the frequency of outbreaks of mass reproduction of pests. This work is aimed at forming a scientific basis for a comprehensive assessment of climate risks and developing a strategy to minimize them, this will ensure the sustainability of

forestry to climate change and maintain its environmental and economic stability. The developed indicators can be integrated into existing forest management methods, contributing to the improvement of the practical implementation of adaptation measures and policies in the field of environmental protection.

Key words: climate risks, forestry, climate change, forest ecosystems, climate risk assessment.

СОРОКА Анастасия Олеговна – младший научный сотрудник НИО проблем изменения климата ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства». SPIN-код: 1169036. ORCID: 0009-0003-0602-34.

194021, Институтский пр., д. 21, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: a.soroka@spb-niilh.ru

SOROKA Anastasia O. – Junior Researcher of the research department of climate change problems of the St. Petersburg Research Institute of Forestry. SPIN-code: 1169036. ORCID: 0009-0003-0602-34.

194021. Institutskiy pr. 21. St. Petersburg. Russia. E-mail: a.soroka@spb-niilh.ru

СЕМЁНОВА Екатерина Игоревна – младший научный сотрудник НИО проблем изменения климата ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства». SPIN-код: 1169037. ORCID: 0000-0003-2176-845.

194021, Институтский пр., д. 21, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: e.semenova@spb-niilh.ru

SEMYONOVA Ekaterina I. – Junior Researcher of the research department of climate change problems of the St. Petersburg Research Institute of Forestry. SPIN-code: 1169037. ORCID: 0000-0003-2176-845.

194021. Institutskiy pr. 21. St. Petersburg. Russia. E-mail: e.semenova@spb-niilh.ru

НЕДБАЕВ Иван Сергеевич – младший научный сотрудник НИО проблем изменения климата ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства»; старший преподаватель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», кандидат географических наук. SPIN-код: 99542. ORCID: 0000 0003-0407-7585.

194021, Институтский пр., д. 21, Санкт-Петербург, Россия; 199034, Университетская наб., д. 7–9, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: i.nedbaev@spb-niilh.ru

NEDBAEV Ivan S. – PhD (Geographical), Junior Researcher of the research department of climate change problems of the St. Petersburg Research Institute of Forestry; Senior Lecturer, St. Petersburg State University. SPIN code: 995421. ORCID: 0000-0003-0407-7585.

194021, Institutskiy pr. 21. St. Petersburg. Russia; 199034. Universitetskaya nab. 7-9. St. Petersburg. Russia. E-mail: i.nedbaev@spb-niilh.ru

КОНСТАНТИНОВ Артем Васильевич – заместитель директора по научной работе, ведущий научный сотрудник НИО проблем изменения климата ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства»; доцент практики факультета технологического менеджмента и инноваций ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», доктор биологических наук. SPIN-код: 1953-6792. ORCID: 0000-0002-1864-9313.

194021, Институтский пр., д. 21, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: science@spb-niilh.ru; 197101, Кронверкский проспект, д. 49, лит. А. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: avkonstantinov@itmo.ru

KONSTANTINOV Artem V. – DSc (Biological), Deputy Director for scientific work, leading researcher of the research department of climate change problems of the St. Petersburg Research Institute of Forestry; Associate Professor at the Faculty of Technological Management and Innovation, National Research University ITMO. SPIN-code: 1953-6792. ORCID: 0000-0002-1864-9313. 194021.

Institutskiy pr. 21. St. Petersburg. Russia. E-mail: science@spb-niilh.ru; 197101. Kronverksky pr. 49. Let. A. St. Petersburg. Russia. E-mail: avkonstantinov@itmo.ru