ТРУДЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ИНСТИТУТА ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

www.journal.spb-niilh.ru
ISSN 2079-6080

DOI 10.21178/2079–6080.2024.4.103
УДК 630;641

Результаты апробации алгоритма оценки уровня опасности климатических рисков для лесного хозяйства субъектов Российской Федерации

© И.С. Недбаев[1,2], А.О. Сорока[1], Е.И. Семенова[1], А.В. Константинов[1,3]

Results of testing the algorithm for assessing the level of danger of climate risks for forestry in the regions of the Russian Federation

I.S. Nedbaev, A.O. Soroka, E.I. Semenova, A.V. Konstantinov (Saint Petersburg Forestry Research Institute; Saint Petersburg State University, ITMO University)

The purpose of this study is to develop and validate an algorithm for assessing the hazard level of priority climate risks for forestry at the regional level. In this study, five risks caused by climate change were recognized, which are presented in Annex 21 of the Forest Plan template. Climate risk indicators were determined on the basis of two factors: the validity of the dependence of the risk manifestation on the indicator values and the availability of the indicator values for mass calculation at the regional level. Threshold values for risk indicators were determined on the basis of expert assessments. The algorithm developed by the author includes the stages of retrospective assessment, reflecting the historical exposure of the region's forests to a certain risk, and forecast assessment, demonstrating the intensity of expected climatic changes in the territory under consideration. The information basis for testing the algorithm was statistical data on the state of forests, sectoral complex meteorological indicators and data from the regional climate model developed by the A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory. The algorithm was tested for the territories of the Voronezh region, Krasnoyarsk region and the Republic of Sakha (Yakutia). The results of the algorithm approbation were correlated with the current practice of planning adaptation measures in the model subjects of Russia, which made it possible to develop appropriate recommendations for changes in the structure of adaptation measures. The results of approbation of the proposed algorithm indicate that it can become an effective tool for forest planning purposes, in particular, for the development of adaptation measures to preserve the ecological potential of forests, adaptation to climate change and increase forest resilience at the regional level.

Key words: climate risk, hazard level, forestry, climate change, adaptation

Результаты апробации алгоритма оценки уровня опасности климатических рисков для лесного хозяйства субъектов Российской Федерации

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

Целью настоящего исследования является разработка и апробация алгоритма оценки уровня опасности приоритетных климатических рисков для лесного хозяйства на региональном уровне. В настоящем исследовании были признаны пять рисков, вызванных климатическими изменениями, которые представлены в приложении 21 типовой формы Лесного плана. Показатели климатических рисков определялись на основании двух факторов: обоснованность наличия зависимости проявления риска от значений показателя и доступность его значений показателя для массового расчёта на региональном уровне. Пороговые значения для показателей рисков определялись на основании экспертных оценок. Разработанный авторский алгоритм включает в себя этапы ретроспективной оценки, отражающей историческую подверженность лесов региона определенному риску, и прогнозной оценки, демонстрирующей интенсивность ожидаемых климатических изменений на рассматриваемой территории. Информационной основой для апробации алгоритма выступили статистические данные о состоянии лесов, отраслевые комплексные метеорологические показатели и данные региональной климатической модели, разработанной Главной геофизической обсерваторией им. А.И. Воейкова. Проведена апробация алгоритма для территорий Воронежской области, Красноярского края и Республики Саха (Якутия). Результаты апробации алгоритма соотнесены с текущей практикой планирования адаптационных мероприятий в модельных субъектах России, что позволило разработать соответствующие рекомендации по внесению изменений в структуру адаптационных мер. Результаты апробации предложенного алгоритма свидетельствуют о том, что он может стать эффективным инструментом для целей лесного планирования, в частности для разработки адаптационных мероприятий по сохранению экологического потенциала лесов, адаптации к изменениям климата и повышению устойчивости лесов на региональном уровне.

Ключевые слова: климатический риск, уровень опасности, лесное хозяйство, изменение климата, адаптация

Недбаев Иван Сергеевич – ведущий эксперт; старший преподаватель, канд. геогр. наук
E-mail: i.nedbaev@spb-niilh.ru

Сорока Анастасия Олеговна – младший научный сотрудник отдела мониторинга лесных экосистем
E-mail: a.soroka@spb-niilh.ru

Семенова Екатерина Игоревна – младший научный сотрудник отдела мониторинга лесных экосистем
E-mail: e.semenova@spb-niilh.ru

Константинов Артем Васильевич – заместитель директора по научной работе, ведущий научный сотрудник сектора проблем изменения климата научно-исследовательского отдела мониторинга лесных экосистем; доцент практики факультета технологического менеджмента и инноваций, д-р биол. наук
E-mail: science@spb-niilh.ru; avkonstantinov@itmo.ru

[1]ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства»
194021, Санкт-Петербург, Институтский пр., д. 21
Телефон: (812) 552-80-21
Факс: (812) 552-80-42

[2]ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9
Телефон: +7 (812) 363-66-36
E-mail: spbu@spbu.ru

[3]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»
197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А
Телефон: 8 (812) 480-00-00

Введение

В настоящее время наблюдаются климатические изменения, заключающиеся в повышении приземной температуры воздуха и колебаниях количества осадков и обусловленные, согласно оценочным докладам Межправительственной группы экспертов по изменению климата, антропогенным влиянием [8]. Климатические изменения приводят к формированию рисков, которые могут негативно сказываться на отраслях хозяйственной деятельности. В частности, ожидаются негативные последствия для лесного хозяйства, такие как изменение продуктивности и породного состава, увеличение числа и площадей пожаров, масштабов вспышек насекомых-вредителей и экстремальных погодных явлений [14]. Причём перечень указанных негативных проявлений не ограничивается приведённым списком. В исследованиях, касающихся подверженности лесов экологическим рискам, выделяют до 11 воздействий, которые необходимо учитывать при оценке уязвимости лесов [17]. В конечном счете риски могут приводить к гибели лесных насаждений. В связи с этим представляется целесообразным разрабатывать методы оценки уязвимости лесных экосистем к указанным негативным проявлениям, чтобы своевременно принимать адаптационные меры, минимизирующие их воздействие.

На мировом уровне тематика воздействия климатических рисков на леса активно развивается. В странах Европейского Союза отмечают, что лесные экосистемы в засушливых областях и на равнинах более подвержены воздействию климатических рисков, чем горные леса с избыточным увлажнением [16]. В Российской Федерации ведется изучение уязвимости лесных экосистем к изменениям климата [10], разработка методик оценки текущего уровня адаптации лесных экосистем [11, 13], исследование адаптационного потенциала [3], создаются научно обоснованные подходы к созданию региональных шкал по оценке пожарной опасности лесов [2]. Параллельно с этим в других странах создаются механизмы по гармонизации оценок пожарной опасности с ретроспективными базами данных для формирования более рациональных управленческих решений в лесном хозяйстве [18].

Но, несмотря на увеличение количества научно обоснованных материалов, касающихся взаимодействия между лесом и климатом, даже передовые мировые международные практики (например, такие как Climate-Smart Forestry) при их широкомасштабном применении могут привести не только к незначительным, но и к нежелательным последствиям для климата [15].

Целью настоящего исследования стала разработка и апробация алгоритма оценки уровня опасности климатических рисков для лесного хозяйства на региональном уровне.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Изучение актуальных методических рекомендаций по оценке возможного ущерба от воздействия климатических рисков для лесного хозяйства.
2. Выделение показателей климатических рисков для лесного хозяйства на региональном уровне.
3. Определение пороговых значений климатических рисков для выделенных показателей.
4. Апробация полученного алгоритма для трёх субъектов Российской Федерации.

Материалы и методы исследования

За основу предложенного алгоритма были взяты методические рекомендации по оценке возможного ущерба от воздействия климатических рисков, содержащиеся в Приказе Минэкономразвития России от 28 декабря 2023 г. № 927 [6]. Согласно упомянутым рекомендациям, для каждого риска существует система показателей с пороговыми значениями, по которым определяется уровень опасности климатического риска. Всего выделяется четыре уровня опасности: «умеренный», «опасный», «весьма опасный» и «чрезвычайно опасный».

В настоящем исследовании были признаны пять рисков, вызванных климатическими изменениями, которые представлены в приложении 21 типовой формы Лесного плана [7]: изменение продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадающих осадков, изменение в видовом (породном) составе лесов, увеличение частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами, увеличение частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах, увеличение частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах. Показатели климатических рисков определялись на основании двух факторов: обоснованность наличия зависимости проявления риска от значений показателя и доступность его значений для массового расчёта на региональном уровне.

Пороговые значения для показателей рисков определялись на основании экспертных оценок. При этом использовалось два подхода. Первый заключается в физическом понимании показателя риска. Примером такого подхода является признание умеренного уровня опасности для отсутствия негативных проявлений (или негативной динамики). Второй подход заключается в оценке значений показателей рисков на территории Российской Федерации и их градации путём расчёта квартильных значений, то есть деления выборки на четыре равных части.

Алгоритм разделён на два этапа: ретроспективная оценка опасности климатического риска и соответствующая прогнозная оценка. Ретроспективная оценка отражает историческую подверженность лесов региона данному риску. Прогнозная оценка демонстрирует интенсивность ожидаемых климатических изменений на рассматриваемой территории.

Информационной основой для апробации алгоритма выступили статистические данные о состоянии лесов (формы 1-ГЛР, 2-ГЛР, 5-ГЛР, 7-ОИП, 10-ОИП), отраслевые комплексные метеорологические показатели (научно-прикладной справочник «Климат России» [5]) и данные региональной климатической модели, разработанной Главной геофизической обсерваторией им. А.И. Воейкова [1].

Результаты исследования и их обсуждение

Разработка алгоритма оценки уровня опасности климатических рисков для лесного хозяйства на региональном уровне. Система показателей и пороговых значений, разработанная в рамках настоящего исследования, представлена в таблицах 1 (ретроспективная оценка) и 2 (прогнозная оценка).

Таблица 1

Система показателей и пороговых значений
для ретроспективной оценки уровня опасности климатических рисков
для лесного хозяйства на региональном уровне

Показатель риска	Уровень опасности			
	Чрезвычайно опасный	Весьма опасный	Опасный	Умеренный
Риск изменения продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадающих осадков				
Изменение общего среднего прироста по отношению к базовому периоду, тыс. $м^3$/га	>	-0,2...-0,5	-0...-0,1	0
Количество очень засушливых дней по ГТК Селянинова, %	>	41...60	21...40	< 20
Риск изменения в видовом (породном) составе лесов				
Изменение площади хвойных пород по сравнению с базовым периодом, %	< –50	-26...-50	-11...-25	0...-10

Показатель риска	Уровень опасности			
	Чрезвычайно опасный	Весьма опасный	Опасный	Умеренный
Изменение площади твердолиственных пород по сравнению с базовым периодом 1990–1999 гг., %	< –50	-26...-50	-11...-25	0...-10
Количество очень засушливых дней по ГТК Селянинова, %	>	41...60	21...40	< 20
Риск увеличения частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами				
Изменение отношения числа лесных пожаров к площади лесных земель, шт./тыс. га	> 0,1	0,06 ... 0,1	0 ... 0,05	< 0
Изменение отношения площади погибших лесных насаждений к площади лесных земель, %	> 0,1	0,06 ... 0,1	0 ... 0,05	< 0
Изменение отношения площади, пройденной огнём, к площади лесных земель, %	> 0,001	0,0006...0,001	0...0,0005	< 0
Количество дней с уровнем горимости более II, сут	> 120	101 ... 120	81...100	< 80
Риск увеличения частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах				
Отношение площади очагов вредных организмов к площади лесов субъекта, %	> 20	11...20	2...10	< 2
Изменение отношения площади погибших лесных насаждений к площади лесных земель, %	> 0,1	0,06 ... 0,1	0 ... 0,05	< 0
Повторяемость вспышек массового размножения вредных организмов на территории более 2 % от площади лесных земель, %	61–100	41–60	20–40	< 20
Количество очень засушливых дней по ГТК Селянинова, %	>	40...60	20...40	< 20
Риск увеличения частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах				
Изменение относительной гибели лесов от ЭПЯ по сравнению с базовым периодом, %	> 10	5...9	0...4	< 0
Изменение количества экстремальных погодных явлений на территории субъекта в сравнении с базовым периодом, шт.	2	1...2	0...1	< 0
Среднее число дней в году со скоростью ветра более 20 м/с, сут	>	3...5	1...3	< 1

Примечания. Базовый период – 1990–1999 гг.; ГТК – гидротермический коэффициент Селянинова; ЭПЯ – экстремальные погодные условия

Таблица 2

Система показателей и пороговых значений для прогнозной оценки уровня опасности климатических рисков для лесного хозяйства на региональном уровне

Показатель риска	Уровень опасности			
	Чрезвычайно опасный	Весьма опасный	Опасный	Умеренный
Риск изменения продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадающих осадков				
Изменение суммы активных температур, °С	>	500...700	300...500	< 300
Риск изменения в видовом (породном) составе лесов				
Изменение продолжительности вегетационного периода, сут	> 30	20...30	15...20	< 15
Риск увеличения частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами				
Изменение числа суток со значением класса пожарной опасности по условиям погоды* более II, сут	>+10	5 ... 10	0 ... 5	<0
Риск увеличения частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах				
Изменения значения ГТК Селянинова, ед.	>	-0,2...-0,1 или 0,1...0,2	-0,1...-0,05 или 0,05...0,1	-0,05...0,05
Риск увеличения частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах				
Изменение приземной температуры воздуха, °С	> 3	2...3	1...2	< 1
Изменение количества осадков, мм	> 0,3	0,1...0,3	0...0,1	< 0

Примечание. *Расчет комплексного показателя пожарной опасности по Нестерову.

Кратко алгоритм можно представить следующим образом:

1. Определить временной период для оценки. Для ретроспективной оценки рекомендуется использовать период не менее 10 лет (желательно 20–50 лет). Для прогнозной оценки региональная климатическая модель предлагает данные на 2050–2059 и 2090–2099 гг.

2. Подготовить необходимые данные для расчёта.

3. Установить уровень опасности для каждого климатического риска, согласно приведённой выше системе показателей и их пороговых значений.

4. Интерпретировать результаты оценок для регионального планирования.

Апробация алгоритма проводилась для территорий Воронежской области, Красноярского края и Республики Саха (Якутии). Для ретроспективной оценки в качестве базового периода применялся период с 1990 по 1999 г., а в качестве периода оценки – последнее десятилетие (с 2013 по 2022 г.). Для прогнозной оценки временной период составил 2050–2059 гг.

Результаты ретроспективной оценки уровня опасности климатических рисков представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты ретроспективной оценки уровня опасности климатических рисков для лесного хозяйства рассматриваемых регионов

Показатель климатического риска	Уровень опасности		
	Воронежская область	Красноярский край	Республика Саха (Якутия)
Риск изменения продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадающих осадков			
Изменение общего среднего прироста по отношению к базовому периоду, тыс. $м^3$/га	опасный	опасный	умеренный
Количество очень засушливых дней по ГТК Селянинова, %	опасный	опасный	весьма опасный
Риск изменения в видовом (породном) составе лесов			
Изменение площади хвойных пород по сравнению с базовым периодом, %	умеренный	опасный	умеренный
Изменение площади твердолиственных пород по сравнению с базовым периодом, %	умеренный	умеренный	умеренный
Количество очень засушливых дней по ГТК Селянинова, %	опасный	опасный	весьма опасный
Риск увеличения частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами			
Изменение отношения числа лесных пожаров к площади лесных земель, шт./тыс. га	нет данных	умеренный	весьма опасный
Изменение отношения площади погибших лесных насаждений к площади лесных земель, %	опасный	умеренный	опасный
Изменение отношения площади, пройденной огнём, к площади лесных земель, %	нет данных	опасный	весьма опасный
Количество дней с уровнем горимости более II, сут	умеренный	весьма опасный	чрезвычайно опасный
Риск увеличения частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах			
Отношение площади очагов вредных организмов к площади лесов субъекта, %	опасный	умеренный	умеренный
Изменение отношения площади погибших лесных насаждений к площади лесных земель, %	опасный	умеренный	умеренный
Повторяемость вспышек массового размножения вредных организмов на территории более 2 % от площади лесных земель, %	умеренный	умеренный	умеренный
Количество очень засушливых дней по ГТК Селянинова, %	опасный	опасный	весьма опасный

Показатель климатического риска	Уровень опасности		
	Воронежская область	Красноярский край	Республика Саха (Якутия)
Риск увеличения частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах			
Изменение относительной гибели лесов от ЭПЯ по сравнению с базовым периодом, %	умеренный	умеренный	умеренный
Изменение количества экстремальных погодных явлений на территории субъекта в сравнении с базовым периодом, шт.	опасный	весьма опасный	опасный
Среднее число дней в год со скоростью ветра более 20 м/с, сут	умеренный	опасный	умеренный

Примечания. Базовый период – 1990–1999 гг.; ГТК – гидротермический коэффициент Селянинова; ЭПЯ – экстремальные погодные условия

Результаты прогнозной оценки уровня опасности климатических рисков для лесного хозяйства Воронежской области, Красноярского края и Республики Саха (Якутии), представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результат прогнозируемой оценки уровня опасности климатических рисков для лесного хозяйства рассматриваемых регионов

Показатель климатического риска	Уровень опасности		
	Воронежская область	Красноярский край	Республика Саха (Якутия)
Риск изменения продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадающих осадков			
Изменение суммы активных температур, °С	весьма опасный	умеренный	умеренный
Риск изменения в видовом (породном) составе лесов			
Изменение продолжительности вегетационного периода, сут	опасный	умеренный	умеренный
Риск увеличения частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами			
Изменение числа суток со значением класса пожарной опасности по условиям погоды (расчет комплексного показателя пожарной опасности Нестерова) более II, сут	опасный	умеренный	умеренный
Риск увеличения частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах			
Изменения значения гидротермического коэффициента Селянинова, ед.	умеренный	весьма опасный	умеренный
Риск увеличения частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах			
Изменение приземной температуры воздуха, °С	опасный	весьма опасный	весьма опасный
Изменение количества осадков, мм	опасный	весьма опасный	весьма опасный

Результаты исследований свидетельствуют о том, что для территории Воронежской области наиболее опасным климатическим риском является изменение продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадающих осадков. По данным многолетних наблюдений [4], в регионе зафиксирован непрерывный интенсивный рост среднегодовой температуры воздуха (за счёт повышения зимних температур) на фоне роста среднегодовой суммы осадков, выраженная неравномерность в выпадении осадков по годам – от 263 мм (1891 г.) до 874 мм (2012 г.). Сумма активных температур в Воронеже составляет 2500–2800 °С. При этом, в соответствии с данными региональной климатической модели, к середине XXI века сумма активных температур, как ожидается, возрастёт на 600 °С.

На основе полученных данных представляется целесообразной корректировка структуры и объёмов адаптационных мероприятий, предусмотренных приложением 21 Лесного плана Воронежской области, в том числе путем включения следующих мероприятий: содействие естественному лесовозобновлению, оценка пород по циклу роста, проведение научно-исследовательских работ для корректировки длительности цикла лесоразведения, использование для лесовосстановления пород, адаптированных к условиям меняющегося климата.

Для территории Красноярского края рисками, которые имеют наибольшие уровни опасности по ретроспективной и прогнозной оценкам, является риск увеличения частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах и риск увеличения частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах, что согласуется с проведенными ранее исследованиями [12]. По прогнозным данным, гидротермический коэффициент Селянинова на территории Красноярского края к середине XXI века увеличится на 0,16, что может свидетельствовать о формировании более сухого климата на данной территории. В данной ситуации оправдана разработка мероприятий по совершенствованию системы лесопатологического мониторинга.

Несмотря на то, что в среднем по России с 1990-х гг. по настоящее время количество экстремальных погодных явлений не увеличилось, в Красноярском крае этот показатель растёт. Особенно много подобных явлений было зарегистрировано в 2013-м (29 явлений), 2020-м (37 явлений) и 2021-м (24 явления) годах. В качестве адаптационных мероприятий к данному риску активно проводятся рубки осветления и прочистки. Однако рекомендуется запланировать и реализовывать дополнительные мероприятия в части анализа циклов лесоразведения и определение древесных пород, наиболее устойчивых к экстремальным погодным явлениям, а также выращивание древостоев, устойчивых к ветровалам.

В Республике Саха (Якутия) наиболее существенным является риск увеличения частоты возникновения пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами. По данным исследователей [9], в регионе наблюдается увеличение средней температуры воздуха при одновременном уменьшении количества осадков. Высокая пожарная опасность выражена в количестве дней с классом пожарной опасности по показателю В.Г. Нестерова более II. Данный показатель составляет в среднем 121 день в году, что является одним из самых экстремальных значений по России. Очевидно, что для минимизации не только риска увеличения пожаров, но и всех рисков, вызванных климатическими изменениями, формирование перечня адаптационных мероприятий с плановыми показателями может являться первым этапом создания системы адаптации в регионе.

Заключение

В настоящем исследовании предложен алгоритм оценки уровня опасности климатических рисков для лесного хозяйства на региональном уровне, основывающийся на методических рекомендациях по оценке возможного ущерба от воздействия климатических рисков, утверждённых приказом Минэкономразвития России от 28 декабря 2023 г. № 927 и последних научных данных о влиянии климатических изменений на лесные экосистемы и связанные с ними системы хозяйствования. В основе предлагаемого алгоритма лежит перечень показателей, позволяющий оценить уровень опасности климатических рисков в ретроспективном и прогнозном периодах на основе доступных исходных статистических данных, характеризующих различные параметры состояния лесных экосистем.

Результаты апробации предложенного алгоритма свидетельствуют о том, что он может стать эффективным инструментом для целей лесного планирования, в частности для разработки адаптационных мероприятий по сохранению экологического потенциала лесов, адаптации к изменениям климата и повышению устойчивости лесов на региональном уровне.

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).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Катцов, В.М. Развитие технологии вероятностного прогнозирования регионального климата на территории России и построение на ее основе сценарных прогнозов изменения климатических воздействий на секторы экономики. Часть 1: Постановка задачи и численные эксперименты / В.М. Катцов, И.М. Школьник, С.В. Ефимов [и др.] // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 2016. – Т. 583. – С. 7–29.
2. Котельников, Р.В. Методические подходы к оценке эффективности региональных шкал пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды / Р.В. Котельников, А.А. Мартынюк // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2023. – Вып. 246. – С. 162–176. – DOI 10.21266/2079-4304.2023.246.162-176.
3. Константинов, А.В. Методический подход к оценке адаптационного потенциала лесных экосистем Российской Федерации / А.В. Константинов, С.М. Матвеев // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2020. – № 2. – С. 14–33. – DOI: https://doi.org/10.21178/2079-6080.2020.2.14.
4. Матвеев, С.М. Климатический сигнал в радиальном приросте сосновых древостоев модальных типов леса Воронежской области / С.М. Матвеев // Лесохозяйственная информация. – 2017. – № 1. – С. 99–108.
5. Научно-прикладной справочник «Климат России» // ВНИИГМИ-МЦД. – 2024. – URL: http://aisori-m.meteo.ru/climsprn/ (дата обращения: 23.05.2024).
6. 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. № 927 // КонсультантПлюс : офиц. сайт / Компания «КонсультантПлюс». – Электрон. справ. правовая система. – URL: https://www.consultant.ru/law/hotdocs/83997 (дата обращения: 02.10.2024).
7. 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 // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: https://docs.cntd.ru/document/542616941 (дата обращения: 06.03.2024).
8. Пачаури, Р.К. Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата / Р.К. Пачаури, Л.А. Мейер. – Женева : МГЭИК, 2015. – 163 с.
9. Петров, М.И. Влияние климатических условий на лесные пожары в Центральной Якутии / М.И. Петров, А.Н. Федоров // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2023. – Т. 28, № 2. – С. 248–260. – DOI: 10.31242/2618-9712-2023-28-2-248-260.
10. Семенов, М.А. Оценка уязвимости лесного хозяйства лесостепной и степной зон Европейской части России к наиболее вероятным изменениям климата / М.А. Семенов, О.В. Комарова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2022. – № 3. – С. 76–85. – DOI: https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2022/3/76-85.

11. Семенова, Е.И. Пространственная дифференциация лесов субъектов Российской Федерации на основе авторской методики оценки уровня адаптации к изменениям климата / Е.И. Семенова, А.О. Сорока, И.С. Недбаев // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14, № 1 (53). – С. 16–34. – DOI: https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.1/2.
12. Соколов, В.А. Оценка лесов Сибири в условиях глобальных изменений / В.А. Соколов, С.К. Фарбер, Д.Г. Щепащенко [и др.]. – СПб. : Издательство «Наукоемкие технологии», 2023. – 326 с.
13. Сорока, А.О. Оценка уровня адаптации к изменениям климата лесов севера Европейской части России / А.О. Сорока, И.С. Недбаев, Е.И. Семенова // Актуальные вопросы таежного и притундрового лесоводства на Европейском Севере России : материалы научно-практической конференции, Архангельск, 23–24 ноября 2023 года. – М. : Т8 Издательские Технологии, 2023. – С. 379–385.
14. Торжков, И.О. Оценка влияния ожидаемых изменений климата на лесное хозяйство / И.О. Торжков, Е.А. Кушнир, А.В. Константинов [и др.] // Метеорология и гидрология. – 2019. – № 3. – С. 40–49.
15. Cooper, L. Climate-Smart Forestry: Promise and risks for forests, society, and climate / L. Cooper, D. MacFarlane // PLOS Climate. – 2023. – Т. 6, № 2. – e0000212. – DOI: 10.1371/journal.pclm.0000212.
16. Lasch-Born, P. Forests under climate change: potential risks and opportunities / P. Lasch-Born, F. Suckow, M. Gutsch [et al.] // Meteorologische Zeitschrift. – 2015. – Т. 24, № 2. – Р. 157–172. – DOI 10.1127/metz/2014/0526.
17. Pirasteh, S. Enhancing vulnerability assessment through spatially explicit modeling of mountain social-ecological systems exposed to multiple environmental hazards / S. Pirasteh, Y. Fang, D. Mafi-Gholami [et al.] // Science of The Total Environment. – 2024. – Т. 930. – Р. 172744. – DOI 10.1016/j.scitotenv.2024.172744.
18. Zotta, R.-M. CONFIRM – Copernicus Data for Novel High-Resolution Wildfire Danger Services in Mountain Regions / R.-M. Zotta, C. Atzberger, J. Degenhart [et al.] // EGU General Assembly. – 2020. – EGU2020-19288. – DOI: 10.5194/egusphere-egu2020-19288.

REFERENCES

1. Kattsov V.M., Shkolnik I.M., Efimov S.V., Konstantinov A.V., Pavlova V.N., Pavlova T.V., Hlebnikova E.I., Pikaleva A.A., Baydin A.V., Borisenko V.A. Development of technology for probabilistic forecasting of regional climate in Russia and construction on its basis of scenario forecasts of changes in climate impacts on economic sectors. Part 1: Statement of the problem and numerical experiments. *Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A.I. Voeikov [Trudy Glavnoj geofizicheskoj observatorii im. A.I. Voejkova]*, 2016, vol. 583, pp. 7–29. (In Russian).
2. Kotelnikov R.V., Martynyuk A.A. Methodological approaches to assessing the effectiveness of regional forest fire hazard scales depending on weather conditions. *News of the Saint Petersburg Forestry Academy [Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoj akademii]*, 2023, no. 246, pp. 162–176. DOI 10.21266.2079-4304.2023.246.162-176. (In Russian).
3. Konstantinov A.V., Matveev S.M. Methodological approach to assessing the adaptive potential of forest ecosystems of the Russian Federation. *Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute [Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyajstva]*, 2020, no. 2, pp. 14–33. DOI: https:.doi.org.10.21178.2079- 6080.2020.2.14. (In Russian).
4. Matveev S.M. Climate signal in radial growth of pine stands of modal forest types in the Voronezh region]. *Forestry information [Lesokhozyajstvennaya informatsiya]*, 2017, no. 1, pp. 99–108. (In Russian).
5. Scientific and applied reference book "Climate of Russia". VNIIGMI-MTSD, 2024. URL: http:.aisori-m.meteo.ru.climsprn (date of access: 23.05.2024). (In Russian).
6. On approval of the Methodological recommendations for assessing possible damage from the impact of climate risks, including recommendations for the formation of a list of climate-vulnerable objects in economic sectors, in the constituent entities of the Russian Federation and Methodological recommendations for monitoring and assessing the effectiveness and efficiency of measures to adapt to climate change. Order of the Ministry of Economic Development of Russia dated December 28, 2023 No. 927. *ConsultantPlus: official website. ConsultantPlus Company. Electronic reference legal system [Konsul'tantPlyus*, ofits. sajt Kompaniya “Konsul'tantPlyus”. Ehlektron. sprav. pravovaya sistema*]*. URL: https:.bwww.consultant.ru.law.hotdocs.83997 (date of access: 02.10.2024). (In Russian).
7. 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

and Environment of the Russian Federation dated 20.12.2017 No. 692. *Official Internet portal of legal information [Ofitsial'nyj internet-portal pravovoj informatsii]*. URL: https:.docs.cntd.ru.document.542616941 (date of access: 06.03.2024). (In Russian).

8. Pachauri R.K., Mejer L.A. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, 2015. 163 p. (In Russian).
9. Petrov M.I., Fedorov A.N. The Impact of Climate Conditions on Forest Fires in Central Yakutia. *Natural resources of the Arctic and Subarctic [Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki]*, 2023, vol. 28, no. 2. pp. 248–260. DOI 10.31242.2618-9712-2023-28-2-248-260. (In Russian).
10. Semenov M.A., Komarova O.V. Assessment of vulnerability of forestry in the forest-steppe and steppe zones of the European part of Russia to the most probable climate changes. *Bulletin of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology [Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoehkologiya]*, 2022, no. 3, pp. 76–85. DOI: https:.doi.org.10.17308.geo.1609-0683.2022.3.76-85. (In Russian).
11. 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.. *Forestry journal [Lesotekhnicheskij zhurnal]*, 2024, vol. 14, no. 1 (53), pp. 16–34. DOI: https:.doi.org.10.34220.issn.2222-7962.2024.1.2. (In Russian).
12. Sokolov V.A., Shchepaschenko D.G., Mukhortova L.V., Sokolova N.V., Krivobokov L.V., Astapenko S.A., Burenina T.A., Vtyurina O.P., Koryagina E.A., Kuzmik N.S., Lozhenko M.D., Luto A.A., Martynov A.A., Murzakmatov R.T., Onuchin A.A., Pashkeeva O.E., Sergeeva O.V., Tyutkova E.A., Khinevich L.A. Assessing Siberian forests in the context of global change.St. Petersburg, 2023, 326 p. (In Russian).
13. Soroka A.O., Nedbaev I.S., Semenova E.I. Assessment of the level of adaptation to climate change in forests in the northern European part of Russia. *Current issues of taiga and tundra forestry in the European North of Russia [Aktual'nye voprosy taezhnogo i pritundrovogo lesovodstva na Evropejskom Severe Rossii]. Proceedings of the Scientific and Practical Conference*. Moscow, 2023, pp .379–385. (In Russian).
14. Torzhkov I.O., Kushnir E.A., Konstantinov A.V., Korolyova T.S., Efimov S.V., Shkolnik I.M. Assessing the impact of expected climate change on forestry. *Meteorology and hydrology [Meteorologiya i gidrologiya]*, 2019, no. 3, pp. 40–49. (In Russian).
15. Cooper L., MacFarlane D. Climate-Smart Forestry: Promise and risks for forests, society, and climate. *PLOS Climate*, 2023, vol. 6, no. 2, e0000212. DOI 10.1371.journal.pclm.0000212.
16. Lasch-Born P., Suckow F., Gutsch M., Reyer C., Hauf Y., Murawski A., Pilz T. Forests under climate change: potential risks and opportunities. *Meteorologische Zeitschrift*, 2015, vol. 24, no. 2, pp. 157–172. DOI 10.1127.metz.2014.0526.
17. Pirasteh S., Fang Y., Mafi-Gholami D., Abulibdeh A., Nouri-Kamari A., Khonsari N. Enhancing vulnerability assessment through spatially explicit modeling of mountain social-ecological systems exposed to multiple environmental hazards. *Science of The Total Environment*, 2024, vol. 930, p. 172744. DOI 10.1016.j.scitotenv.2024.172744.
18. Zotta R.-M., Atzberger C., Degenhart J., Hollaus M., Immitzer M., Krajnz H., Lick H., Müller M.M., Oblasser H., Schaffhauser A., Schlaffer S., Vacik H., Dorigo W. CONFIRM – Copernicus Data for Novel High-Resolution Wildfire Danger Services in Mountain Regions. EGU General Assembly, 2020, EGU2020-19288. DOI 10.5194.egusphere-egu2020-19288.

Статья поступила в редакцию 03.10.2024