


Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.1/2>


УДК 630*641



Пространственная дифференциация лесов субъектов Российской Федерации на основе авторской методики оценки уровня адаптации к изменениям климата

Екатерина И. Семёнова¹✉, e.semenova@spb-niilh.ru,  <https://orcid.org/0000-0003-2176-845X>

Анастасия О. Сорока¹, a.soroka@spb-niilh.ru  <https://orcid.org/0009-0003-0602-3449>

Иван С. Недбаев^{1,2}, i.nedbaev@spb-niilh.ru  <https://orcid.org/0000-0003-0407-7585>

¹ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства», Институтский проспект, 21, г. Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Университетская набережная, 7–9, г. Санкт-Петербург, 199034, Российская Федерация

Изучение воздействия климатических изменений на леса является важной научно-практической задачей. С целью повышения эффективности управления лесным хозяйством авторами предложена методика оценки уровня адаптации лесов к изменениям климата. В статье приводится пространственная дифференциация уровня адаптации лесов, рассчитанного на 2021 год, и его анализ в разрезе федеральных округов и субъектов Российской Федерации. Для этого были исследованы данные государственной лесной статистики за период 2013–2022 гг., где отбирались показатели, отражающие адаптацию лесов к климатическим рискам. Была создана база данных, где для каждого субъекта Российской Федерации были отобраны и проанализированы индикативные показатели климатического риска. Сниженный или недостаточный уровень адаптации, свидетельствующие о необходимости увеличения объемов адаптационных мероприятий, характерны для 27 % субъектов РФ, а удовлетворительный, повышенный или высокий уровень адаптации, демонстрирующие уменьшение негативных проявлений климатических рисков, – для 73 % субъектов. В среднем по стране леса более адаптированы к рискам изменения продуктивности, увеличения вспышек насекомых-вредителей и увеличения экстремальных погодных явлений, чем к рискам роста числа лесных пожаров и изменения видового состава. Рекомендуется использовать методику оценки уровня адаптации лесов к климатическим изменениям при региональном планировании адаптационных мероприятий.

Ключевые слова: леса, изменение климата, меры адаптации, методика, климатические риски, лесные пожары, насекомые-вредители, экстремальные погодные явления

Финансирование: исследование выполнено в рамках государственного задания Федерального агентства лесного хозяйства от 29.12.2022 № 53-00011-23-00 по теме № 2 «Научно-аналитическое и организационно-методическое обеспечение реализации государственной климатической политики в области лесного хозяйства».

Благодарности: авторы выражают благодарность рецензентам и редакторам за вклад в экспертную оценку статьи.


Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: 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. – Библиогр.: с. 29–34 (35 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.1/2>.

Поступила 07.12.2023. Пересмотрена 22.01.2024. Принята 02.02.2024. Опубликована онлайн 20.03.2024.

Article

Spatial differentiation of forests in the Russian Federation based on the author's algorithm for assessing the level of adaptation to climate change

Ekaterina. I. Semyonova ¹✉, e.semenova@spb-niilh.ru,  <https://orcid.org/0000-0003-2176-845X>

Anastasia O. Soroka ¹, a.soroka@spb-niilh.ru  <https://orcid.org/0009-0003-0602-3449>

Ivan S. Nedbaev ^{1,2}, i.nedbaev@spb-niilh.ru  <https://orcid.org/0000-0003-0407-7585>

¹*Saint-Petersburg Forestry Research Institute, Institutskiy prospekt, 21, Saint-Petersburg, 194021, Russian Federation*

²*Saint-Petersburg State University, Universitetskaya naberezhnaya, 7–9, Saint-Petersburg, 199034, Russian Federation*

Abstract

Studying the impact of climate change on forests is an important scientific and practical task. In order to improve the efficiency of forest management, the authors propose a methodology for assessing the level of adaptation of forests to climate change. The article presents the spatial differentiation of the level of forest adaptation calculated for 2021 and its analysis in the context of federal districts and subjects of the Russian Federation. For this purpose, we studied the data of state forest statistics for the period 2013–2022, where we selected indicators reflecting the adaptation of forests to climate risks. A database was created where indicative indicators of climate risk were selected and analyzed for each constituent entity of the Russian Federation. Reduced or insufficient level of adaptation, indicating the need to increase the volume of adaptation measures, is characteristic of 27 % of the constituent entities of the Russian Federation, while a satisfactory, increased or high level of adaptation, demonstrating a reduction in the negative manifestations of climate risks, is characteristic of 73 % of the constituent entities. On average across the country, forests are more adapted to the risks of changes in productivity, increased outbreaks of insect pests and increased extreme weather events than to the risks of increased number of forest fires and changes in species composition. It is recommended to use the methodology for assessing the level of adaptation of forests to climate change at the level of regional planning of adaptation measures.

Keywords: *forests, climate change, adaptation measures, methodology, climate risks, forest fires, insect pests, extreme weather events*

Funding: The reported study was funded by Federal forestry agency, state assignment No. 53-00011-23-00 dated 29.12.2022 on topic No. 2 "Scientific-analytical, organizational and methodological support for the implementation of the state climate policy in forestry".

Acknowledgments: authors thank their gratitude to the reviewers and editors for their contribution to the expert evaluation of the article.

Conflict of interest: authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Semyonova E. I., Soroka A. O., Nedbaev I. S. (2024). Spatial differentiation of forests of the Russian Federation subjects based on author's algorithm for assessing the level of adaptation to climate change. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 14, No. 1 (53), pp. 16-34 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.1/2>.

Received 07.12.2023. *Revised* 22.01.2024. *Accepted* 02.02.2024. *Published online* 20.03.2024.

Введение

В течение последних десятилетий климатические изменения стали одной из наиболее серьезных проблем, с которыми приходится справляться мировому сообществу [1]. Леса России выполняют колоссальную климаторегулирующую функцию, являясь одним из крупнейших мировых депо углерода [2, 3]. Между тем, лесные экосистемы подвержены воздействию меняющихся факторов окружающей среды, что обуславливает необходимость изучения взаимодействия леса и климата [4, 5]. Одним из ключевых аспектов адаптации лесов является приспособление лесов к меняющимся условиям окружающей среды [6, 7, 8]. Одним из инструментов адаптации выступают мероприятия¹, направленные на снижение климатических рисков [9].

Мероприятия по адаптации лесного хозяйства к климатическим изменениям направлены на уменьшение следующих рисков: изменение продуктивности лесов [10, 11, 12], изменения в видовом составе лесов [13, 14, 15], увеличение частоты возникновения лесных пожаров и площадей, пройденных огнем [16, 17, 18], увеличение частоты вспышек массового размножения вредных организмов [19, 20] и увеличение частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах [20, 21, 22]. В Лесных планах субъектов Российской Федерации, утвержденных после 2017 года, в главе 4.2 содержится информация² о планируемых мероприятиях по сохранению экологического потенциала лесов, адаптации к изменениям климата и повышению устойчивости лесов. Более подробная информация, представленная в табличной форме, с указанием ежегодных плановых показателей адаптационных мероприятий представлена в Приложении 21 к Лесному плану субъекта. В настоящей статье предлагается методика оценки эффективности и результативности выполненных адаптационных мероприятий.

Однако на вопрос, насколько эффективны выполненные мероприятия по адаптации лесов, точнее можно будет ответить по прошествии не менее 30 лет.

Ранее проводились исследования по оценке уязвимости и рассматривался методический подход к оценке адаптационного потенциала лесов субъектов РФ к изменению климата [23, 24], в данной статье авторы предлагают методику оценки эффективности на основе данных о динамике индикативных показателей.

Целью настоящего исследования является разработка методики оценки результативности мер по адаптации к изменениям климата в сфере лесного хозяйства на региональном уровне на основании данных государственной лесной статистики.

В задачи исследования входит определение индикативных показателей и критериев оценки для каждого климатического риска, проведение расчетов уровня адаптации согласно разработанной методике, анализ адаптации лесов к изменениям климата в разрезе субъектов Российской Федерации.

Материалы и методы

Объект и предмет исследования

Объектом исследования являются леса субъектов Российской Федерации, а предметом – уровень адаптации лесов к негативному проявлению рисков, вызванных климатическими изменениями.

Сбор данных

В части оценки эффективности и результативности мер по адаптации к изменениям климата в сфере лесного хозяйства на региональном уровне предлагается использование метода сравнительного анализа ретроспективной динамики индикативных показателей состояния лесов с оцениваемым годом.

Уровень адаптации лесов субъекта Российской Федерации к риску, вызванному климатическими изменениями (индикативный показатель), –

¹ Report of the Conference of the Parties on its twenty-seventh session, held in Sharm el-Sheikh from 6 to 20 November 2022. – Distr.: General 17 March 2023 // United Nations Climate Change : Official website. – URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cp2022_10a01_adv.pdf (дата обращения: 20.06.2023).

² Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 20.12.2017 № 692 «Об утверждении типовой формы и состава лесного плана субъекта Российской Федерации, порядка его подготовки и внесения в него изменений» // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/542616941> (дата обращения: 22.08.2023).

Природопользование

показатель, характеризующий снижение негативных проявлений риска после проведения комплекса адаптационных мероприятий в сравнении с многолетними значениями негативного проявления риска. Иными словами, данный показатель демонстрирует,

отразилось ли выполнение адаптационных мероприятий на фактическом проявлении климатического риска.

Негативные проявления рисков, вызванных климатическими изменениями, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Индикативные показатели проявления климатических рисков

Table 1

Indicative indicators of the manifestation of climate risks

Риск, вызванный климатическими изменениями Risk caused by climate change	Индикативные показатели Indicative indicators
Изменение продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадаемых осадков Changes in forest productivity due to changes in average temperature and precipitation values	Снижение среднего прироста на гектар Decrease in average growth per hectare
Изменения в видовом (породном) составе лесов Changes in the species composition of forests	Уменьшение площади, покрытой твердолиственными и хвойными породам, при одновременном увеличении площади мягколиственных пород Reduction of the area occupied by hardwoods and coniferous species with simultaneous increase of the area occupied by small-leaved species
Увеличение частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами Increase in the frequency of fires in forests and the areas covered by fires	Увеличение числа пожаров Увеличение площади, пройденной огнем Increase in the number of fires Increase in the area covered by fire
Увеличение частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах Increased frequency of pest outbreaks in forests	Увеличение площади очагов вредных организмов Increase in the area of pest outbreaks
Увеличение частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах Increased frequency of occurrence of consequences of extreme weather events in forests	Увеличение площади погибших лесных насаждений от погодных и почвенно-климатических условий Increase in the area of dead forest plantations from weather and soil-climatic conditions

Источник: собственные вычисления авторов [32]

Source: author's calculations [32]

Для расчёта индикативных показателей проявления климатических рисков используются статистические данные из Государственного лесного реестра (формы ГЛР) и отчетов органов исполнительной власти (формы ОИП)³. Для определения уровня

адаптации в оцениваемый год необходимо рассчитать текущее изменение индикативного показателя климатического риска.

Ниже представлен алгоритм оценки уровня адаптации лесов к следующим климатическим рискам: изменение продуктивности, рост числа пожаров, вспышек вредных организмов и увеличение

³ Шаблоны форм отчетности // Рослесинфорг : Официальный сайт. – URL: https://roslesinfor.ru/templates_reporting/ (дата обращения: 25.09.2023).

числа экстремальных погодных явлений. Изменение индикативного показателя климатического риска определяется по следующей формуле:

$$\text{ИП} = \frac{Д1}{Д2} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где ИП – изменение индикативного показателя климатического риска, %,

Д1 – динамика индикативного показателя климатического риска за год, следующий за оцениваемым, в сравнении с базовым периодом,

Д2 – тенденция многолетнего изменения индикативного показателя климатического риска.

Если $Д1 < 0$ и $Д2 < 0$, то тогда формула предстает в виде

$$\text{ИП} = \frac{Д1}{Д2} \cdot (-100 \%). \quad (2)$$

При расчёте изменения среднего прироста на гектар значение изменения индикативного показателя климатического риска (ИП) необходимо умножить на коэффициент -1 . Данное обстоятельство учитывает то, что увеличение среднего прироста является благоприятным фактором для адаптации лесов.

Динамика индикативного показателя климатического риска за год рассчитывается по формуле

$$Д1 = y_{i+1} - \frac{\sum_{i-n}^{i-1} y}{n}, \quad (3)$$

где y – значение показателя индикативного показателя климатического риска, ед.,

i – год выполнения адаптационных мероприятий, подвергающихся оценке эффективности,

n – кол-во лет базового периода, взятого для оценки индикативного показателя климатического риска (лет).

Динамика индикативного показателя климатического риска за два равнозначных многолетних периода рассчитывается по формуле

$$Д2 = \frac{\sum_{m+1}^{i+1} y}{\frac{n+2}{2}} - \frac{\sum_{i-n}^m y}{\frac{n+2}{2}}, \quad (4)$$

где m – год, разделяющий два равнозначных многолетних периода, составляющих базовый период,

i – год выполнения адаптационных мероприятий, подвергающихся оценке эффективности,

n – кол-во лет базового периода, взятого для оценки индикативного показателя климатического риска (лет). Рекомендуется использовать $n > 5$.

Индикативным показателем риска изменения в видовом составе выступает уменьшение площади, покрытой твердолиственными и хвойными породами, при одновременном увеличении площади мягколиственных пород, так как хвойные и твердолиственные породы являются более востребованными на рынке.

Эффективность выполнения адаптационных мероприятий рассчитывается отдельно по каждому риску, вызванному климатическими изменениями, то есть леса субъекта РФ могут иметь высокий уровень адаптации к одному риску и недостаточный – к другому.

Для определения уровня адаптации в оцениваемый год необходимо рассчитать текущее изменение индикативного показателя климатического риска.

Таким образом, в оценке эффективности адаптационных мероприятий учитываются как климатические тенденции, характерные для каждого субъекта РФ, так и последствия реализации тех или иных мер.

Оценка эффективности и результативности мер по адаптации к изменениям климата проводится на основании произведенных расчетов изменения индикативного показателя климатического риска в соответствии с критериями согласно табл. 2.

Анализ данных

Выборками в настоящем исследовании являются данные о состоянии лесного фонда в разрезе субъектов Российской Федерации (средний прирост; площадь, покрытая разными группами пород; площадь, пройденная огнем; число лесных пожаров; площадь очагов вредных организмов; площадь погибших лесных насаждений от погодных и почвенно-климатических условий), а также расчетные авторские показатели, описанные выше. Для анализа выборок на нормальность использовался критерий Колмогорова-Смирнова. Так как подавляющее большинство выборок имели ненормальное распределение, для их сравнения использовался непараметрический U-критерий Манна-Уитни (уровень значимости составлял 0,05). Расчет статистических критериев производился в программном обеспечении SPSS Statistics. Корреляционный анализ проводился в Microsoft

Природопользование

Excel с помощью дополнительного пакета «Анализ данных».

Таблица 2

Критерии оценки уровня адаптации лесов к изменению климата

Table 2

Criteria for assessing the level of forest adaptation to climate change

Уровень адаптации лесов субъекта Российской Федерации Level of adaptation of forests of the subject of the Russian Federation	Характеристика уровня адаптации Characterization of adaptation level	Критерии уровня адаптации Adaptation level criteria
Высокий уровень адаптации High adaptation level	Мероприятия по адаптации являются высокоэффективными Adaptation measures are highly effective	Значительное снижение количественных значений индикативных показателей проявления климатических рисков (ИП $\leq -100\%$) Significant decrease in quantitative values of indicative indicators of climate risks manifestation (Indicative Indicator $\leq -100\%$)
Повышенный уровень адаптации Increased adaptation level	Мероприятия по адаптации приводят к положительным изменениям Adaptation activities lead to positive change	Снижение количественных значений индикативных показателей проявления климатических рисков ($-100\% < \text{ИП} < 0\%$) Decrease in quantitative values of indicative indicators of climate risks manifestation ($-100\% < \text{Indicative Indicator} < 0\%$)
Удовлетворительный уровень адаптации Satisfactory adaptation level	Существенных изменений не наблюдается No significant changes observed	Не наблюдается изменения количественных значений индикативных показателей проявления климатических рисков (ИП=0) No change in quantitative values of indicative indicators of climate risks manifestation is observed (Indicative Indicator = 0)
Сниженный уровень адаптации Reduced adaptation levels	Рекомендуется обратить внимание на повышение эффективности адаптационных мероприятий Recommended to pay attention to improving the effectiveness of adaptation measures	Увеличение количественных значений индикативных показателей проявления климатических рисков ($0\% < \text{ИП} < 100\%$) Increase in quantitative values of indicative indicators of manifestation of climate risks ($0\% < \text{Indicative Indicator} < 100\%$)
Недостаточный уровень адаптации Insufficient adaptation level	Рекомендуется обратить пристальное внимание на повышение эффективности адаптационных мероприятий в связи с ростом негативных проявлений климатических рисков Recommended to pay close attention to improving the effectiveness of adaptation measures due to the increasing negative manifestations of climate risks	Значительное увеличение количественных значений индикативных показателей проявления климатических рисков (ИП $\geq 100\%$) Significant increase in quantitative values of indicative indicators of climate risks manifestation (Indicative Indicator $\geq 100\%$)

Источник: собственные вычисления авторов
Source: author's calculations

Результаты и обсуждение

Согласно проведенным расчетам индикативных показателей по методике, описанной выше, уровень адаптации лесов Российской Федерации к изменениям климата показывает значительную региональную дифференциацию. Это вызвано как неоднородностью выполнения адаптационных мероприятий, так и подверженностью субъекта тем или иным негативным факторам окружающей среды, поскольку известно о взаимосвязи между абиотическими факторами среды и адаптационным потенциалом лесных экосистем [7].

Одним из климатических рисков, который потенциально может оказывать положительный эффект для лесного хозяйства при потеплении, является смена продуктивности насаждений. Это характерно для территорий, где лимитирующим фактором является недостаток эффективных температур [23, 25]. При этом в лесах южных регионов лесостепной зоны с потеплением климата будут возрастать риски появления засух, что будет негативно отражаться на приросте и требовать дополнительных мер по адаптации [11].

Текущая оценка адаптации лесов показала, что средние значения индикативного показателя для риска уменьшения продуктивности находятся ниже 0 для всех федеральных округов, кроме Сибирского федерального округа. То есть наиболее негативная динамика, связанная с уменьшением продуктивности лесов, характерна для лесов Сибири. Это связано с уменьшением среднего прироста

на гектар в регионах юго-запада Сибири за последние 10 лет (рис. 1), что может быть обусловлено засушливыми периодами и последствиями лесных пожаров [26].

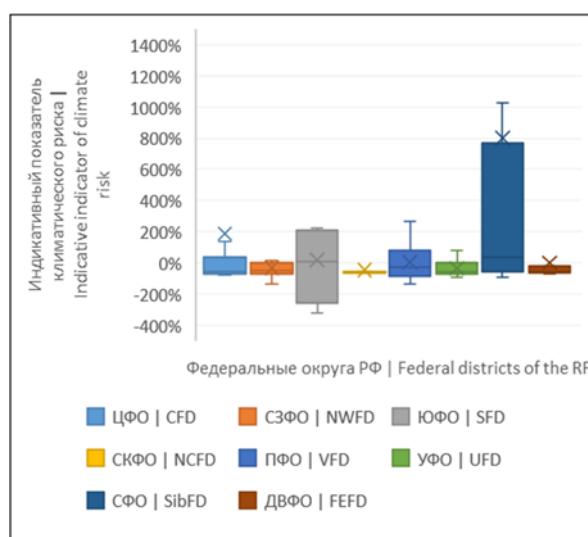


Рисунок 1. Индикативный показатель риска изменения продуктивности лесов
Figure 1. Indicative indicator of vulnerability to the risk of changes in the productivity of the forests

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

По данным, полученным авторами в процессе исследования, высокий уровень адаптации к риску изменения продуктивности характерен для субъектов Приволжского федерального округа (Самарская и Саратовская области и Республика Чувашия), для них свойственно наибольшее увеличение продуктивности лесов за исследуемый период (рис. 2).

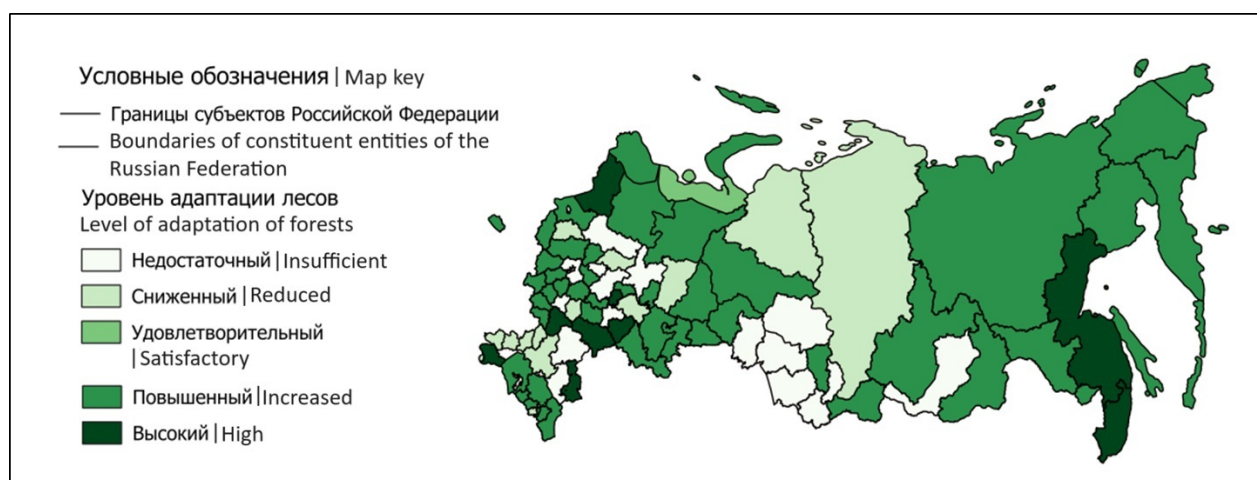


Рисунок 2. Схема пространственной дифференциации субъектов Российской Федерации по уровню адаптации к риску изменения продуктивности лесов

Figure 2. Scheme of spatial differentiation of the constituent entities of the Russian Federation according to the level of adaptation to the risk of changes in forest productivity

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

К риску изменения породного состава наиболее адаптированы субъекты Северо-Западного федерального округа, так как во всех субъектах без исключения наблюдается увеличение площадей, покрытых всеми группами пород (хвойными, твердолиственными и мягколиственными) в 2022 году по отношению к динамике за последние 10 лет. Согласно проведенным расчетам, высокий уровень адаптации к данному риску отмечен в некоторых субъектах Урала и Западной Сибири, Забайкалье, Липецкой, Ярославской, Оренбургской областях, Республиках Крым и Северная Осетия. Возможной причиной дальнейшего изменения видового состава будет прогнозируемое повышение температуры на 1 °C к 2050 году. Отмечают, что трансформация растительных сообществ в большей степени затронет хвойные леса [27]. Результаты настоящего исследования показывают, что субъекты европейской части России, имеющие хвойные леса в качестве преобладающей группы пород, в основном, адаптированы к

климатическим изменениям, то есть, в них на 2022 год площадь хвойных пород выше, чем в среднем за предшествующие 10 лет. В Центральном федеральном округе отмечают отсутствие неморализации видов ельников и сосняков в связи с современными изменениями климата [28]. Регионы Российской Федерации, где наблюдается смена твердолиственных пород на мелколиственные, нуждаются в дополнительных адаптационных мероприятиях. В особенности негативные тенденции отмечены для территории юга европейской части России, регионов Дальнего Востока и Центральной Сибири (рис. 3). В Средней Сибири наиболее уязвимыми к климатическим изменениям называют мерзлотные ландшафты с темнохвойной тайгой [29].

Изменение средней площади хвойных, твердолиственных и мелколиственных пород при сравнении двух пятилетних периодов (2013–2017 и 2018–2022 гг.) по федеральным округам представлено в табл. 3.

Изменение видового состава лесов

Table 3

Changes in forest species composition

Федеральный округ РФ Federal District of the Russian Federation	Динамика площади групп пород, га Dynamics of area of species groups, ha		
	Хвойные Conifers	Твердолиственные Hardwoods	Мелколиственные Small-leaved
ЦФО CENTRAL FEDERAL DISTRICT	-161	4	258
СЗФО NORTH-WEST FEDERAL DISTRICT	12105	8	4724
ЮФО SOUTHERN FEDERAL DISTRICT	2	23	1
СКФО NORTH CAUCASUS FEDERAL DISTRICT	-3	-1	-4
ПФО VOLGA FEDERAL DISTRICT	-341	-45	1108
УФО URAL FEDERAL DISTRICT	-277	0	179
СФО SIBERIAN FEDERAL DISTRICT	-647	0	65
ДВФО FAR EASTERN FEDERAL DISTRICT	-2914	-494	-97

Источник: собственные вычисления авторов

Source: author's calculations

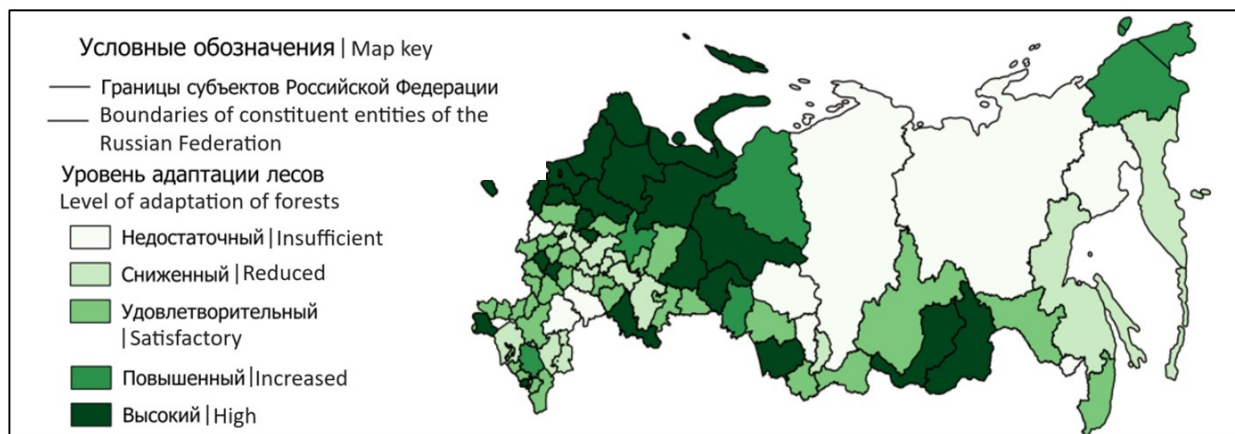


Рисунок 3. Схема пространственной дифференциации субъектов Российской Федерации по уровню адаптации к риску изменения видового состава лесов

Figure 3. Scheme of spatial differentiation of the constituent entities of the Russian Federation according to the level of adaptation to the risk of changes in the species composition of forests

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Согласно полученным результатам, индикативный показатель для риска пожаров более 0 (сниженный и недостаточный уровень адаптации лесов) типичен для Южного, Уральского и Сибирского федеральных округов (рис. 4). В них в 2022 году площадь и число пожаров превышали многолетние значения. В частности, для территории Средней Сибири количество и площадь лесных пожаров возрастает последние два десятилетия [30].

Результаты расчета уровня адаптации показали, что к риску увеличения частоты возникновения и площади лесных пожаров наиболее адаптирован Северо-Западный федеральный округ – практически во всех субъектах (за исключением Республики Коми и Ненецкого автономного округа) наблюдается снижение площади и числа пожаров за рассматриваемый период (рис. 5). В нем же наблюдается и самая большая неоднородность по уровню адаптации. Наиболее благоприятная динамика, которая свидетельствует о высоком уровне адаптации, характерна для Ленинградской области (в 2022 году было всего 77 пожаров при среднем значении за многолетний период около 300 пожаров в год). Неблагоприятная динамика наблюдается в Республике Коми, в которой при многолетних значениях ежегодной площади, пройденной огнем, в 6 тыс. га на 2022 год данный показатель составил 59 тыс. га, что почти на порядок больше. Пик пожаров в 2022 году объясняют жарким летом с незначительным количеством осадков [31].

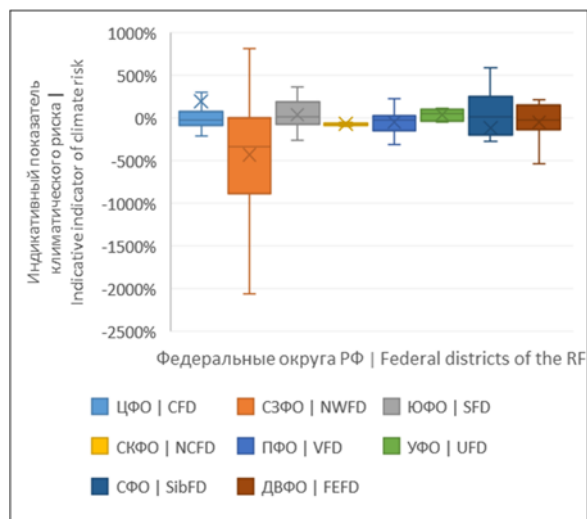


Рисунок 4. Индикативный показатель риска увеличения числа пожаров

Figure 4. An indicative indicator of vulnerability to the risk of an increase in the number of fires

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

Адаптация к риску увеличения лесных пожаров происходит очень дифференцированно, имеются значительные региональные различия (субъекты, как правило, имеют либо недостаточный уровень адаптации, либо высокий). В 36 % случаев встречается повышенный уровень адаптации к рискам, сниженный уровень адаптации – только в 9 % случаев. К регионам с недостаточным уровнем адаптации к риску лесных пожаров можно отнести Московскую и Новосибирскую области, Республику Адыгею и ряд других [32].

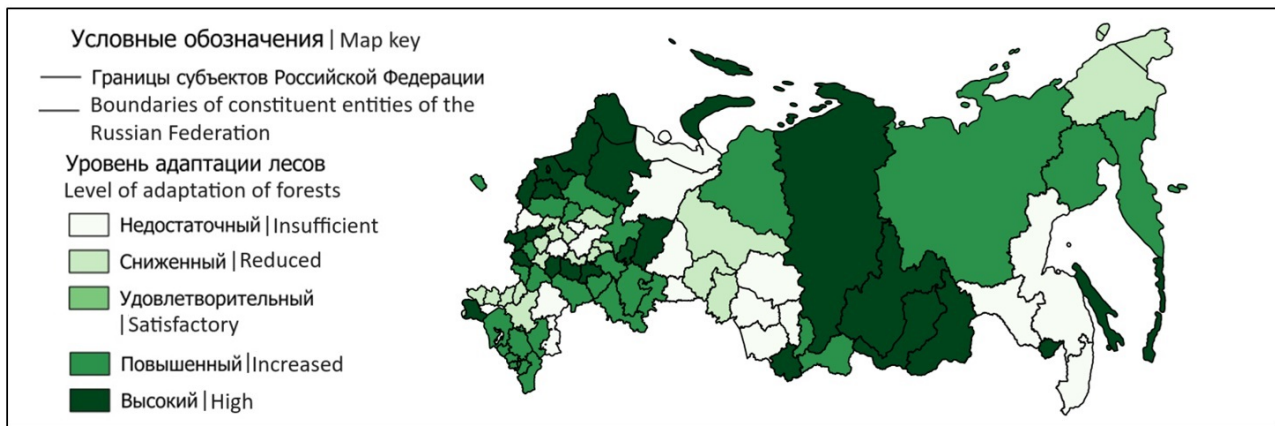


Рисунок 5. Схема пространственной дифференциации субъектов Российской Федерации по уровню адаптации к риску увеличения частоты и площади лесных пожаров

Figure 5. Scheme of spatial differentiation of the constituent entities of the Russian Federation by level of adaptation to the risk of increasing frequency and area of increasing frequency forest fires

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

Несмотря на негативную динамику к другим рискам для Сибирского федерального округа, для риска увеличения насекомых-вредителей уровень адаптации повышенный и высокий (рис. 6). Однако наблюдается неравномерность адаптации внутри самого округа. Например, в Республике Тыва ежегодная площадь очагов вредных организмов составляет, согласно многолетним данным, порядка 3000 га, но в 2022 году площадь очагов составила 102 тыс. га, что явно свидетельствует о недостаточности мер по адаптации к данному риску. Более того, в лесостепной зоне Республики Тыва поражение вредителями вызывает депрессию прироста [33], то есть одни риски, вызванные климатическими изменениями, усиливают негативное проявление других рисков. В Республике Алтай средняя ежегодная площадь очагов вредных организмов составляет 200 тыс. га, и вредителей выделяют как один из факторов, приносящих наибольший ущерб лесам Алтае-Саянского лесорастительного района [34]. Но в 2022 году, после проведения ряда адаптационных мероприятий, площадь очагов снизилась до 50 тыс. га. Повышенный или высокий уровень адаптации к риску увеличения вспышек насекомых-вредителей, согласно расчетам авторов настоящей статьи, характерен для лесов Центрального, Северо-

Западного, Приволжского и большей части Сибирского федеральных округов. Опыт данных регионов можно взять за основу планирования превентивных мер адаптации лесов [35].

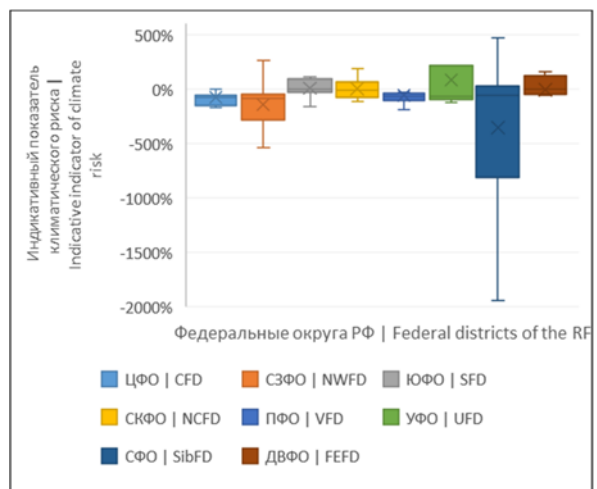


Рисунок 6. Индикативный показатель риска увеличения вспышек вредных организмов

Figure 6. Indicative indicator of vulnerability to the risk of increased outbreaks of harmful organisms

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

Согласно проведенному расчету, к риску увеличения вспышек насекомых-вредителей наиболее

адаптированы субъекты Центрального федерального округа. Наблюдается тенденция к снижению площадей очагов вредных организмов в Брянской,

Калужской, Московской, Орловской, Смоленской, Тамбовской и Тверской областях (рис. 7).

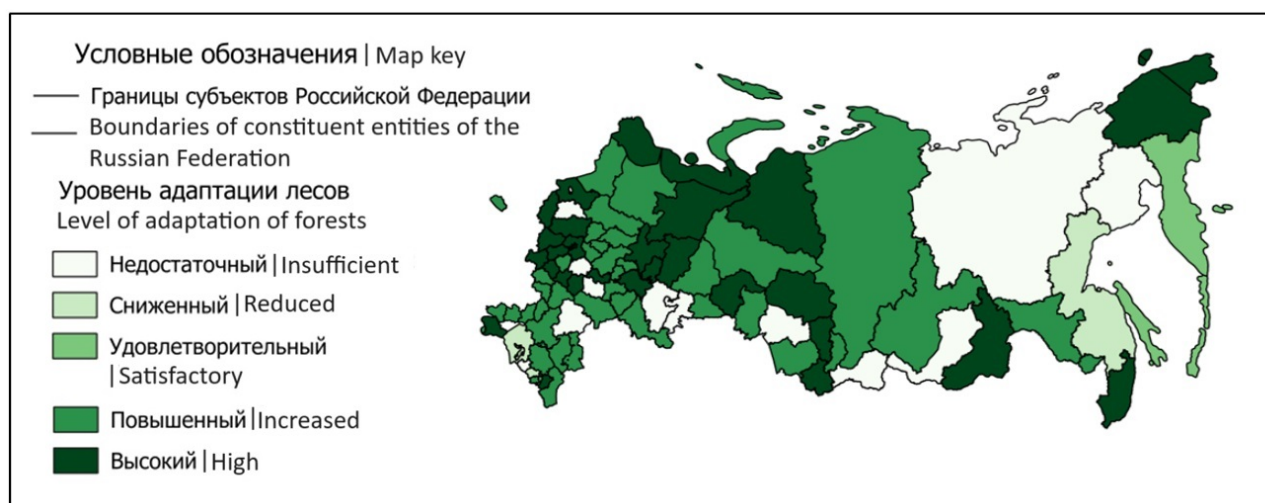


Рисунок 7. Схема пространственной дифференциации субъектов Российской Федерации по уровню адаптации к риску увеличения вспышек насекомых и болезней леса

Figure 7. Scheme of spatial differentiation of the subjects of the Russian Federation in terms of adaptation to the risk of increased outbreaks of insects and forest diseases

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Адаптация лесов к увеличению экстремальных погодных явлений выглядит достаточно успешно, так как в 81 субъекте Российской Федерации индикативный показатель к данному риску был ниже 0 (рис. 8). Наиболее высокий разброс уровня адаптации зафиксирован в Центральном федеральном округе. Лучше всего ситуация обстоит во Владимирской области, где среднее значение площади погибших лесных насаждений по почвенно-климатическим причинам за 2013-2021 гг. составляет 195 га, а в 2022 году – около 60 га, что является благоприятной ситуацией. Негативные тенденции сильнее всего проявляются в Калужской области, где за последние пять лет гибель лесов от неблагоприятных факторов в среднем выросла в 2 раза. Негативная динамика сохраняется в ряде регионов, преимущественно юга и центра европейской части России (рис. 9). Рассчитанный уровень адаптации для 2021 года в соответствии с методикой согласуется с ранее описанной в литературе способностью к адаптации для лесов (для временного интервала 2000-2017 гг.) [19]. В ряде регионов наблюдаются улучшения – так, в Тамбовской области способность к адаптации

лесов за период наблюдений 2000-2017 гг оценивается как низкая (0,013), тогда как по нашим расчетам в 2018-2022 гг. гибель от экстремальных погодных явлений по сравнению с предыдущим пятилетним периодом снизилась почти в 5 раз, что позволяет делать вывод о положительной динамике в адаптации лесов.

Дальневосточный федеральный округ наиболее адаптирован к риску увеличения экстремальных погодных явлений. За последнее десятилетие на этой территории снизилась площадь погибших насаждений от погодных и почвенно-климатических условий. Наиболее существенно гибель от экстремальных погодных явлений за последние пять лет снизилась в Сахалинской области (2026 га), Забайкальском (1086 га) и Приморском крае (843 га). Уровень адаптации на 2021 год наиболее высок в Амурской и Магаданской областях, Хабаровском и Камчатском крае.

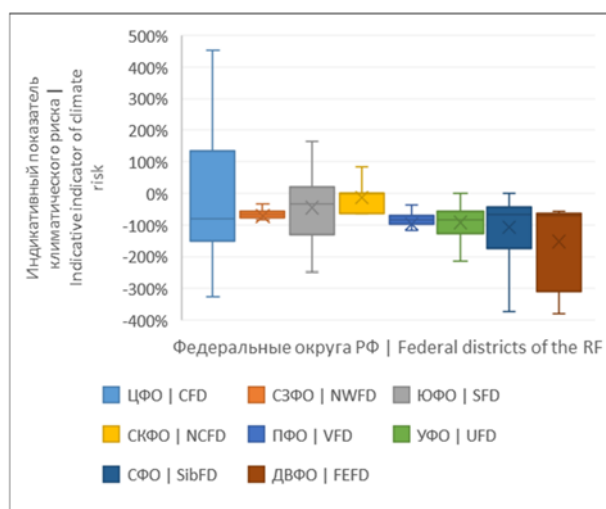


Рисунок 8. Индикативный показатель риска увеличения экстремальных погодных явлений
Figure 8. Indicative indicator of vulnerability to the risk of an increase in extreme weather events

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

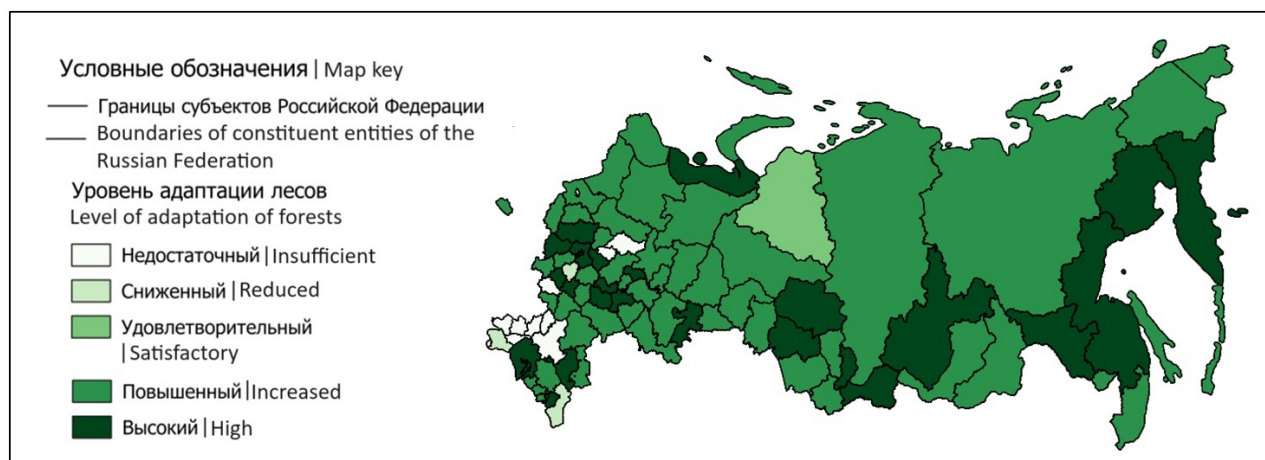


Рисунок 9. Схема пространственной дифференциации субъектов Российской Федерации по уровню адаптации к риску увеличения частоты экстремальных погодных явлений

Figure 9. The scheme of spatial differentiation of the subjects of the Russian Federation by the level of adaptation to the risk of an increase in the frequency of extreme weather events

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

Закключение

Разработанная методика оценки уровня адаптации лесов к климатическим изменениям, представленная в настоящей статье, основана на анализе статистических данных о лесах и позволяет делать выводы о текущей ситуации и необходимости проведения адаптационных мероприятий в регионе.

Сниженный или недостаточный уровень адаптации, при изучении всех рисков, имеют 27 % субъектов РФ, а удовлетворительный, повышенный или высокий уровень адаптации – 73 % субъектов. Так как уровень адаптации рассчитывался на основании данных за последние 10 лет, можно сказать, что в большинстве субъектов наблюдается тенденция на уменьшение негативных проявлений рисков,

вызванных климатическими изменениями. Леса Российской Федерации лучше адаптированы к рискам изменения продуктивности, увеличения вспышек насекомых-вредителей и увеличения экстремальных погодных явлений в лесах, чем к риску изменения видового состава и роста лесных пожаров. Возникают сложности в адаптации к риску смены породного состава, что, вероятно, связано с отдаленным эффектом адаптационных мероприятий. Адаптация к риску увеличения лесных пожаров происходит дифференцированно, имеются значительные региональные различия (субъекты, как правило, имеют либо недостаточный уровень адаптации,

либо высокий). В 36 % случаев встречается повышенный уровень адаптации к рискам, сниженный уровень адаптации – только в 9 % случаев.

Рекомендуется использовать предложенную в настоящей статье методику оценки уровня адаптации лесов к климатическим изменениям на уровне

регионального планирования при оценке эффективности реализации адаптационных мероприятий.

Список литературы

1. Лукина Н. В. Глобальные вызовы и лесные экосистемы / Н. В. Лукина // Вестник Российской академии наук. – 2020. – Т. 90, № 6. – С. 528–532. – DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869587320060080>.
2. Оценка вклада российских лесов в снижение рисков климатических изменений / Е. А. Ваганов, Б. Н. Порфирьев, А.А. Шилов [и др.] // Экономика региона. – 2021. – Т. 17, № 4. – С. 1096–1109. – DOI 10.17059/ekon.reg.2021-4-4. – DOI: <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2021-4-4>.
3. Болдвин-Кантелло, В. Леса как центр действий по предотвращению глобального изменения климата / В. Болдвин-Кантелло // Устойчивое лесопользование. – 2020. – № 3(62). – С. 25–26. – URL: <https://www.elibrary.ru/qvppfx>.
4. Лоскин, М. И. Процессы, связанные с изменением климата, влияющие на устойчивость геосистем (на примере Центральной Якутии) / М. И. Лоскин, С. П. Готовцев, С. А. Павлова // Природообустройство. – 2021. – № 1. – С. 22–28. – DOI <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2021-1-22-28>.
5. Heidari, H. Effects of Climate Change on Natural-Caused Fire Activity in Western U.S. National Forests / Heidari H., Arabi M., Warziniack T. // Atmosphere. – 2021. – № 12 (981). – P. 1–16. – DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos12080981>.
6. Sensitivity analysis of hydrological processes to perturbed climate in a southern boreal forest basin / Z. He, J. W. Pomeroy, X. Fang, A. Peterson // Journal of Hydrology. – 2021. – Vol. 601. – P. 126706. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126706>.
7. Константинов, А. В. Сценарный подход к адаптации лесных экосистем Российской Федерации в условиях изменений климата / А. В. Константинов // Известия РАН. Серия географическая. – 2023. – № 4. – С. 558–567. – DOI: <https://doi.org/10.31857/S2587556623040039>.
8. Оценка влияния ожидаемых изменений климата на лесное хозяйство / И. О. Торжков, Е. А. Кушнир, А. В. Константинов, Т. С. Королева, С. В. Ефимов, С. М. Школьник // Метеорология и гидрология. – 2019. – № 3. – С. 40–50. – URL: <https://www.elibrary.ru/vwilxo>.
9. Липка, О. Н. Роль лесов в адаптации природных систем к изменениям климата / О. Н. Липка, М. Д. Корзухин, М. Г. Замолотчиков [и др.] // Лесоведение. – 2021. – № 5. – С. 531–546. – DOI: <https://doi.org/10.31857/S0024114821050077>.
10. Влияние изменений климата на лесные ресурсы Республики Башкортостан / Р. Р. Байтурина, А. К. Габделхаков, О. В. Халикова [и др.] // Лесотехнический журнал. – 2020. – Т. 10, № 4 (40). – С. 99–109. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2020.4/8>. – EDN YWUUIJW.
11. Forest structure drives the expected growth of *Pinus nigra* along its latitudinal gradient under warming climate / D. Candel-Pérez, M. E. Lucas-Borja, A. I. García-Cervigón [et al.] // Forest Ecology and Management. – 2022. – Vol. 505. – P. 119818. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119818>.
12. Kai, Xu. Assessing the vulnerability of ecosystems to climate change based on climate exposure, vegetation stability and productivity / Kai Xu, Xiangping Wang, Chao Jiang & Osbert Jianxin Sun // Forest Ecosystems. – 2020. – Vol. 7, Article number: 23. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40663-020-00239-y>.
13. Problem of climate-driven dynamics in the genetic forest typology / V. Fomin, N. Ivanova, A. Mikhailovich, E. Zolotova // AIP Conference Proceedings : 4th International Conference on Modern Synthetic Methodologies for

Creating Drugs and Functional Materials, MOSM 2020, Yekaterinburg, Vol. 2388, Issue 1. – American Institute of Physics Inc. : American Institute of Physics Inc., 2021. – P. 030007. – DOI <https://doi.org/10.1063/5.0068806>.

14. Hinze, J. Climate-Adapted Potential Vegetation – A European Multiclass Model Estimating the Future Potential of Natural Vegetation / J. Hinze, A. Albrecht, H.-G. Michiels // *Forests*. – 2023. – № 14. – P. 1–19. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f14020239>.

15. Кузнецова, Н. Ф. Состояние лесов и динамика их породного состава в Центральном федеральном округе / Н. Ф. Кузнецова, М. Ю. Сауткина // *Лесохозяйственная информация*. – 2019. – № 2. – С. 25–45. – DOI <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.2.03>.

16. Climate variability may delay post-fire recovery of boreal forest in Southern Siberia, Russia / Q. Sun, R. Baxter, A. Burrell [et al.] // *Remote Sensing*. – 2021. – Vol. 13, No. 12. – DOI <https://doi.org/10.3390/rs13122247>.

17. Проблемы и перспективы охраны лесов от пожаров / М. А. Шешуков, А. П. Ковалев, А. М. Орлов, В. В. Позднякова // *Сибирский лесной журнал*. – 2020. – № 2. – С. 14–20. – DOI: <https://doi.org/10.15372/SJFS20200202>.

18. Пожары как фактор утраты биоразнообразия и функций лесных экосистем / А. П. Гераськина, Д. Н. Тебенькова, Д. В. Ершов [и др.] // *Вопросы лесной науки*. – 2021. – Т. 4, № 2. – DOI: <https://doi.org/10.31509/2658-607x-202142-11>.

19. Семенов, М. А. Прогноз адаптивных приспособлений в лесном хозяйстве в связи с возможными климатическими изменениями / М. А. Семенов, А. А. Высоцкий, В. И. Пашенко // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. – 2019. – № 5(371). – С. 57–69. – DOI <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.5.57>.

20. Исследование участков леса, подверженных влиянию короеда-типографа (*Ips typographus*) в заповеднике "Курильский" (о. Кунашир) / Н. Р. Пирцхалава-Карпова, А. А. Карпов, М. Ю. Грищенко, Е. Е. Козловский // *Лесотехнический журнал*. – 2020. – Т. 10, № 1(37). – С. 50–59. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2020.1/5>. – EDN UDPRQU.

21. Долгих, С. А. Об изменении повторяемости неблагоприятных и экстремальных метеорологических явлений на территории Ертисского бассейна / С. А. Долгих, Е. Ю. Смирнова // *Гидрометеорология и экология*. – 2020. – № 4 (99). – С. 135–153. – URL: <https://www.elibrary.ru/muxtoz>.

22. Climate-driven acceleration in forest evapotranspiration fuelling extreme rainfall events in the Himalaya / N. Singh, J. Singh, P. Chauhan [et al.] // *Environmental Research Letters*. – 2021. – Vol. 16, No. 8. – P. 084042. – DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac14ed>.

23. 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>. – EDN OPEPYV.

24. 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>. – EDN DGYYYZ.

25. Оценка состояния и продуктивности высокополнотных сосновых насаждений подтаежно-лесостепного района Средней Сибири / А. А. Вайс, П. В. Михайлов, А. И. Мельник [и др.] // *Лесотехнический журнал*. – 2022. – Т. 12, № 3(47). – С. 26–41. – DOI <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.3/3>. – EDN QPCRYN.

26. Оценка лесов Сибири в условиях глобальных изменений / В. А. Соколов, С. К. Фарбер, Д. Г. Щепашенко [и др.]. – Санкт-Петербург : Издательство «Наукоемкие технологии», 2023. – 326 с. – ISBN 978-5-907804-02-9. – EDN ZOJTAQ.

27. Сергиенко, В. Г. Прогноз влияния изменения климата на разнообразие природных экосистем и видов флористических и фаунистических комплексов биоты России / В. Г. Сергиенко, А. В. Константинов // *Труды*

Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2016. – № 2. – С. 29–44. – EDN WDJUGJ.

28. Оценка состава и структуры лесного покрова Московской области по наземным и дистанционным данным / Т. В. Черненко, М. Ю. Пузаченко, Н. Г. Беляева, О. В. Морозова // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2019. – № 4. – С. 112–124. – DOI: <https://doi.org/10.31857/S2587-556620194112-124>. – EDN ERYBVU.

29. Медведков, А. А. Климатогенная динамика ландшафтов сибирской тайги в бассейне Среднего Енисея / А. А. Медведков // География и природные ресурсы. – 2018. – № 4. – С. 122–129. – DOI: [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-4\(122-129\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-4(122-129)). – EDN VNXQGA.

30. Иванова, Г. А. Динамика лесных пожаров на территории лесных районов Средней Сибири / Г. А. Иванова, В. А. Иванов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2023. – Т. 4, № 2. – С. 43–48. – DOI: <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2023-4-2-43-48>. – EDN AYVBHS.

31. Бабикина, Н. Н. Анализ данных о лесных пожарах в Республике Коми с помощью Excel и Python / Н. Н. Бабикина, Н. О. Котелина, Ф. Н. Тентюков // Вестник Сыктывкарского университета. Серия 1: Математика. Механика. Информатика. – 2023. – № 4 (49). – С. 29–46. – DOI: https://doi.org/10.34130/1992-2752_2023_4_29. – EDN JETQWM.

32. Сорока, А. О. Анализ уровня адаптации лесов в наиболее уязвимых к климатическим изменениям субъектах РФ / А. О. Сорока, И. С. Недбаев, Е. И. Семенова // Столяровские чтения : Материалы научно-практической конференции, посвященной 95-летию академика Д. П. Столярова, Санкт-Петербург, 05 октября 2023 года. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства, 2023. – С. 62–66. – [https://doi.org/DOI 10.21178/05102023.18](https://doi.org/DOI%2010.21178/05102023.18). – EDN YLDMMQ.

33. Дендрохронологическая индикация вспышек размножения филлофагов по радиальному приросту лиственницы в лесостепной зоне Республики Тыва / Т. В. Костякова, Л. В. Белокопытова, Д. Ф. Жирнова [и др.] // Сибирский экологический журнал. – 2021. – Т. 28, № 1. – С. 46–60. – DOI: <https://doi.org/10.15372/SEJ20210105>. – EDN YACDWB.

34. Отто, О. В. Антропогенное воздействие на лесные ресурсы региона на примере Алтайского края / О. В. Отто, А. Г. Редькин, С. С. Слажнева // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. – 2020. – № 4 (64). – С. 18. – EDN CEFWMH.

35. Превентивное управление лесными ресурсами Российской Федерации в условиях климатических изменений / А. В. Константинов, Е. А. Кушнир, Т. С. Королева, И. О. Торжков // Повышение эффективности управления устойчивым развитием лесопромышленного комплекса : Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 90-летию Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г. Ф. Морозова, Воронеж, 15–16 октября 2020 года / Редколлегия: Е. А. Яковлева [и др.]. – Воронеж : Издательство «Знание-М», 2020. – С. 45–50. – DOI: <https://doi.org/10.38006/907345-73-7.2020.45.50>. – EDN SHGDIT.

References

1. Lukina N. V. Global'nye vyzovy i lesnye ekosistemy [Global challenges and forest ecosystems] *Vestnik Rossijskoj akademii nauk [Bulletin of the Russian Academy of Sciences]*, 2020, Vol. 90, no 6, P. 528-532. DOI 10.31857/S0869587320060080.

2. Vaganov E. A., Porfir'ev B. N., Shirov A. A. [i dr.] Ocenka vklada rossijskih lesov v snizhenie riskov klimaticheskikh izmenenij [Assessing the contribution of Russian forests to reducing the risks of climate change] // *Ekonomika regiona [Economy of the region]*, 2021, Vol. 17, no 4, P. 1096-1109. – DOI 10.17059/ekon.reg.2021-4-4.

3. Boldvin-Kantello, V. Lesa kak centr dejstvij po predotvrashcheniyu global'nogo izmeneniya klimata. *Ustojchivoe lesopol'zovanie [Sustainable forest management]*. 2020, no 3(62), P. 25-26. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43938555>.

4. Loskin M.I., Gotovcev S.P., Pavlova S.A. Processy, svyazannye s izmeneniem klimata, vliyajushhie na ustojchivost' geosistem (na primere Central'noj Jakutii) [Climate change processes that affect the sustainability of geosystems (in the example of Central Yakutia)]. *Prirodoobustrojstvo [Environmental management]*, 2021, no. 1, P. 22–28. DOI 10.26897/1997-6011-2021-1-22-28. (In Russian).
5. Heidari H., Arabi M., Warziniack T. Effects of Climate Change on Natural-Caused Fire Activity in Western U.S. National Forests. *Atmosphere*. 2021, no 12 (981), P. 1–16. DOI: 10.3390/atmos12080981
6. He Z., Pomeroy J. W., Fang X., Peterson A. Sensitivity analysis of hydrological processes to perturbed climate in a southern boreal forest basin. *Journal of Hydrology*. 2021, Vol. 601, P. 126706. DOI 10.1016/j.jhydrol.2021.126706.
7. Konstantinov, A.V. Scenarnyj podhod k adaptacii lesnyh ekosistem Rossijskoj Federacii v usloviyah izmenenij klimata [Scenario approach to adaptation of forest ecosystems of the Russian Federation in the context of climate change]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya [News of the Russian Academy of Sciences. Geographical series]*. 2023, no 4, P. 558–567. DOI: 10.31857/S2587556623040039. (In Russian).
8. I.O. Torzhkov, E.A. Kushnir, A.V. Konstantinov, T.S. Koroleva, S.V. Efimov, S.M. Shkol'nik. Ocenka vliyanija ozhidaemyh izmenenij klimata na lesnoe hozyajstvo [Assessing the impact of expected climate change on forestry]. *Meteorologiya i gidrologiya [Meteorology and hydrology]*. 2019, no 3, P. 40–50. URL: <http://www.mig-journal.ru/archive?id=4940> (In Russian).
9. Lipka O.N., Korzhuhin M.D., Zamolodchikov M.G. [et al.] Rol' lesov v adaptacii prirodnyh sistem k izmeneniyam klimata [The role of forests in the adaptation of natural systems to climate change]. *Lesovedenie [Forestry]*. 2021, no 5, P. 531–546. DOI: 10.31857/S0024114821050077. (In Russian).
10. R. R. Bajturina, A. K. Gabdelxakov, O. V. Xalikova [et al.]. Vliyanie izmenenij klimata na lesny'e resursy` Respubliki Bashkortostan [Climate change on forest resources of the Republic of Bashkortostan.] // *Lesotexnicheskij zhurnal*. – 2020. – T. 10, № 4(40). – S. 99-109. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2020.4/8. – EDN YWUJW.
11. D. Candel-Pérez, M. E. Lucas-Borja, A. I. García-Cervigón [et al.] Forest structure drives the expected growth of *Pinus nigra* along its latitudinal gradient under warming climate. *Forest Ecology and Management*. 2022, Vol. 505, P. 119818. DOI 10.1016/j.foreco.2021.119818.
12. Kai, Xu, Xiangping Wang, Chao Jiang, Osbert Jianxin Sun. Assessing the vulnerability of ecosystems to climate change based on climate exposure, vegetation stability and productivity. *Forest Ecosystems*. 2020. Vol. 7, Article number: 23. URL: <https://forestecosyst.springeropen.com/articles/10.1186/s40663-020-00239-y#citeas>.
13. V. Fomin, N. Ivanova, A. Mikhailovich, E. Zolotova .Problem of climate-driven dynamics in the genetic forest typology. AIP Conference Proceedings : 4th International Conference on Modern Synthetic Methodologies for Creating Drugs and Functional Materials, MOSM 2020, Yekaterinburg, 16–20. 11. 2020. Vol. 2388, Issue 1. *American Institute of Physics Inc. : American Institute of Physics Inc.*, 2021. – P. 030007. – DOI 10.1063/5.0068806.
14. Hinze, J. A. Albrecht, H.-G. Michiels Climate-Adapted Potential Vegetation – A European Multiclass Model Estimating the Future Potential of Natural Vegetation. *Forests*, 2023, no 14, P. 1–19, DOI: 10.3390/f14020239.
15. Kuznecova N. F., Sautkina M. Yu. Sostoyanie lesov i dinamika ih porodnogo sostava v Central'nom federal'nom okruge [State of forests and dynamics of their species composition in the Central Federal District]. *Lesohozyajstvennaya informacija [Forestry information]*, 2019, no 2, pp. 25-45. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2019.2.03.
16. Sun Q., Baxter R., Burrell A. [et al.] Climate variability may delay post-fire recovery of boreal forest in Southern Siberia, Russia. *Remote Sensing*. 2021, Vol. 13, No. 12. DOI 10.3390/rs13122247.
17. Sheshukov M.A., Kovalev A.P., Orlov A.M., Pozdnyakova V.V.. Problemy i perspektivy ohrany lesov ot pozharov [Problems and prospects for protecting forests from fires]. *Sibirskij lesnoj zhurnal [Siberian Forest Journal]*. 2020, no 2, pp. 14–20. DOI 10.15372/SJFS20200202.
18. Geraskina A.P., Tebenkova D.N., Ershov D.V. [et al.] Pozhary kak faktor utraty bioraznoobraziya i funkcij lesnyh ekosistem [Fires as a factor in the loss of biodiversity and functions of forest ecosystems]. *Voprosy lesnoj nauki [Questions of forest science]*. 2021, Vol. 4, no 2. DOI 10.31509/2658-607x-202142-11.

19. Semenov, M. A., Vysockij A. A., Pashchenko V. I. Prognoz adaptivnyh prispособlenij v lesnom hozyajstve v svyazi s vozmozhnymi klimaticheskimi izmeneniyami [Forecast of adaptive adaptations in forestry in connection with possible climate changes] *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal [News of higher educational institutions. Forest Journal]*. 2019, no 5(371), P. 57-69. DOI 10.17238/issn0536-1036.2019.5.57.

20. N. R. Pirczalava-Karpova, A. A. Karpov, M. Yu. Grishhenko, E. E. Kozlovskij. Study of forest areas susceptible to the influence of the bark beetle (*Ips typographus*) in the Kurylyosky Nature Reserve (Kunashir Island) // *Lesotekhnicheskii zhurnal*. – 2020. – Vol. 10, № 1(37). – P. 50-59 (In Russian). – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2020.1/5. – EDN UDPRQU.

21. Dolgih S.A., Smirnova E.Ju. Ob izmenenii povtorjaemosti neblagoprijatnyh i jekstremal'nyh meteorologicheskikh javlenij na territorii Ertisskogo bassejna [On changes in the repeatability of adverse and extreme meteorological events in the territory of the ertis basin]. *Gidrometeorologija i jekologija [Hydrometeorology and ecology]*, 2020, no. 4 (99), P. 135–153. (In Russian).

22. Singh N., Singh J., Chauhan P. [et al.] Climate-driven acceleration in forest evapotranspiration fuelling extreme rainfall events in the Himalaya. *Environmental Research Letters*. 2021, Vol. 16, No. 8, P. 084042. DOI 10.1088/1748-9326/ac14ed.

23. Semenov M. A., Komarova O. V. Ocenka uyazvimosti lesnogo hozyajstva lesostepnoj i stepnoj zon Evropejskoj chasti Rossii k naibolee veroyatnym izmeneniyam klimata. [Assessing the vulnerability of forestry in the forest-steppe and steppe zones makes parts of Russia most likely to experience climate change] *ulletin of Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya [Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology]*, 2022, no 3, P. 76-85 (In Russian).

24. Konstantinov, A. V. Metodicheskij podhod k ocenke adaptacionnogo potenciala lesnyh ekosistem Rossijskoj Federacii [Methodological approach to assessing the adaptive potential of forest ecosystems of the Russian Federation]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo hozyajstva [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry]*, 2020, no 2, P. 14-33 (In Russian).

25. A. A. Vajs, P. V. Mixajlov, A. I. Mel'nik [et al.]. Assessment of the condition and productivity of high-density pine plantations in the subtaiga-forest-steppe region of Central Siberia // *Lesotekhnicheskii zhurnal*. – 2022. – Vol. 12, № 3(47). – P. 26-41 (In Russian). – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2022.3/3. – EDN QPCRYN.

26. V. A. Sokolov, S. K. Farber, D. G. Shchepashchenko [et al.]. Ocenka lesov Sibiri v usloviyah global'nyh izmenenij [Assessment of Siberian forests in the context of global changes]. *Sankt-Peterburg : Izdatel'stvo "Naukoemkie tekhnologii" [St. Petersburg: Publishing House "Science-Intensive Technologies"]*, 2023, 326 p. (In Russian).

27. Sergienko V. G., Konstantinov A. V. Prognoz vliyaniya izmeneniya klimata na raznoobrazie prirodnyh ekosistem i vidov floristicheskikh i faunisticheskikh kompleksov bioty Rossii [Forecast of the impact of climate change on the diversity of natural ecosystems and species of floristic and faunal complexes of the biota of Russia]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo hozyajstva [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry]*, 2016, no 2, P. 29-44 (In Russian).

28. T.V.Chernen'kova, M.Yu.Puzachenko, N.G.Belyaeva, O.V.Morozova / Ocenka sostava i struktury` lesnogo pokrova Moskovskoj oblasti po nazemny`m i distancionny`m dannym [Assessment of the composition and structure of forest cover in the Moscow region using ground-based and remote data] // *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. – 2019. – № 4. – S. 112-124. – DOI 10.31857/S2587-556620194112-124. – EDN ERYBVU..

29. Medvedkov A. A. Klimatogennaya dinamika landshaftov sibirskoj tajgi v bassejne Srednego Eniseya [Climatogenic dynamics of Siberian taiga landscapes in the Middle Yenisei basin]. *Geografiya i prirodnye resursy [Geography and natural resources]*. 2018, no 4, P. 122-129. DOI 10.21782/GIPR0206-1619-2018-4(122-129) (In Russian).

30. Ivanova G. A., Ivanov V. A. Dinamika lesnyh pozharov na territorii lesnyh rajonov Srednej Sibiri [Dynamics of forest fires in the forest areas of Central Siberia]. *Interexpo Geo-Siberia*. 2023, Vol. 4, no. 2, P. 43-48. DOI 10.33764/2618-981X-2023-4-2-43-48 (In Russian).

31. Babikova, N. N. Analiz dannyh o lesnyh pozharah v Respublike Komi s pomoshch'yu Excel i Python [Analysis of data on forest fires in the Komi Republic using Excel and Python]. Vestnik Syktyvkar'skogo universiteta. Seriya 1: Matematika. Mekhanika. Informatika [Bulletin of Syktyvkar University. Series 1: Mathematics. Mechanics. Computer science]. 2023, no 4(49), P. 29-46. DOI 10.34130/1992-2752_2023_4_29(In Russian).

32. Soroka A.O., Nedbaev I.S., Semenova E.I. Analiz urovnya adaptacii lesov v naibolee uyazvimy`x k klimaticheskim izmeneniyam sub`ektax RF [Analysis of the level of forest adaptation in the most vulnerable regions of the Russian Federation to climate change]. Stolyarovskie chteniya [Stolyarov readings], 2023, pp. 62–66. (In Russian).

33. Kostyakova T.V., Belokopytova L.V., Zhirmova D.F. Dendroxronologicheskaya indikaciya vspy`shek razmnzheniya fillofagov po radial`nomu prirostu listvennicy v lesostepnoj zone Respubliki Ty`va [Dendrochronological indication of outbreaks of reproduction of phyllophages based on the radial growth of larch in the forest-steppe zone of the Republic of Tyva]. Sibirskij e`kologicheskij zhurnal [Siberian Ecological Journal], 2021, no. 2 (28), pp. 46–60. (In Russian).

34. Otto O.V., Red`kin A.G., Slazhneva S.S. Antropogennoe vozdejstvie na lesny`e resursy` regiona na primere Altaj'skogo kraja [Anthropogenic impact on forest resources of the region using the example of the Altai Territory]. Regional`naya e`konomika i upravlenie [Regional economics and management], 2020, no. 4 (64), p. 18. (In Russian).

35. Konstantinov A.V., Kushnir E.A., Koroleva T.S., Torzhkov I.O. Preventivnoe upravlenie lesny`mi resursami Rossijskoj Federacii v usloviyax klimaticheskix izmenenij [Preventive management of forest resources of the Russian Federation in the context of climate change]. Povy`shenie e`ffektivnosti upravleniya ustojchivy`m razvitiem lesopromy`shlennogo kompleksa [Increasing the efficiency of management of sustainable development of the timber industry complex], 2020, pp. 45–50. (In Russian).

Сведения об авторах

✉ Семёнова Екатерина Игоревна – младший научный сотрудник, ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства», Институтский пр., 21, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 194021, ORCID: <http://orcid.org/> <https://orcid.org/0000-0003-2176-845>, e-mail: e.semenova@spb-niilh.ru.

✉ Сорока Анастасия Олеговна – младший научный сотрудник, ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства», Институтский пр., 21, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 194021, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0602-34>, e-mail: a.soroka@spb-niilh.ru.

✉ Недбаев Иван Сергеевич – младший научный сотрудник, ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства», Институтский пр., 21, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 194021; ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Университетская наб., д. 7–9, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 199034, ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0407-7585>, e-mail: i.nedbaev@spb-niilh.ru.

Information about the authors

✉ *Ekaterina I. Semyonova* – junior researcher, St. Petersburg Research Institute of Forestry, Institut'sky Prospekt, 21, St. Petersburg, Russian Federation, 194021, ORCID: <http://orcid.org/> <https://orcid.org/0000-0003-2176-845>, e-mail: e.semenova@spb-niilh.ru.

Anastasia O. Soroka – junior researcher, St. Petersburg Research Institute of Forestry, Institut'sky Prospekt, 21, St. Petersburg, Russian Federation, 194021, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0602-34>, e-mail: a.soroka@spb-niilh.ru.

Ivan S. Nedbaev – junior researcher, St. Petersburg Research Institute of Forestry, Institut'sky prospect, 21, St. Petersburg, Russian Federation, 194021; St. Petersburg State University, Universitetskaya naberezhnaya, 7–9, St. Petersburg, 199034, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0407-7585>, e-mail: i.nedbaev@spb-niilh.ru.

✉ – Для контактов | Corresponding author