



Научная статья

УДК 630*614.849

DOI: 10.37482/0536-1036-2025-1-9-24

Модифицированная методика расчета региональных шкал пожарной опасности в лесах

Р.В. Котельников[✉], канд. техн. наук; *ResearcherID*: [B-2453-2018](https://orcid.org/0000-0002-9984-5913),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9984-5913>

А.А. Мартынюк, д-р с.-х. наук, проф., *акад. РАН*; *ResearcherID*: [AAB-7622-2020](https://orcid.org/0000-0001-7592-2614),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7592-2614>

Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, ул. Институтская, д. 15, г. Пушкино, Московская обл., Россия, 141202; kotelnikovrv@firescience.ru[✉], vniilm_martinuk@mail.ru

Поступила в редакцию 15.07.23 / Одобрена после рецензирования 03.10.23 / Принята к печати 06.10.23

Аннотация. Условия погоды являются одним из наиболее важных факторов, влияющих на пожарную опасность лесов. В России именно показатели, характеризующие пожарную опасность в лесах в зависимости от условий погоды, традиционно используются для регламентации работы лесопожарных служб. В частности, класс пожарной опасности, методика расчета которого (основанная на разработках В.Г. Нестерова) утверждена приказом Рослесхоза, используется для расчета кратности авиационного патрулирования лесов. С учетом разной плотности метеостанций в разные годы были разработаны несколько модификаций этого метода, таких как ПВ-1, ПВ-2, ПВГ, но официально утвержденной, несмотря на ряд недостатков, является только методика Нестерова. Накопление больших объемов структурированных данных, а также развитие информационных технологий позволяют оптимизировать существующие подходы к расчету граничных значений комплексного показателя пожарной опасности в лесах и впервые выполнить детализированные расчеты для всех регионов Российской Федерации. Таким образом, в России возникли предпосылки для обновления нормативно-правовой базы в этой сфере. Предложенная модифицированная методика основывается на классическом принципе оценки границ классов в шкале пожарной опасности, соответствующих доле возникающих лесных пожаров: 5, 20, 45, 70 %. Вместе с тем принципиальным новым является выбор (на основании численного критерия) методики, наиболее подходящей для конкретной территории. При этом методику Нестерова и ПВГ предлагается использовать в модифицированном варианте (со значениями температуры и точки росы за вчерашние сутки при обновленных данных об осадках: день/ночь). В работе обосновано, что такие изменения существенно не повлияют на адекватность показателя, при этом позволят осуществлять расчет на утро текущего дня, что необходимо для практического применения. Важной особенностью стал также переход на средневзвешенный расчет индексов. За единицу расчета для небольших по лесной



площади регионов выбран субъект Российской Федерации в целом. Крупные регионы были поделены по границам лесных районов. Для субъектов Российской Федерации с ярко выраженным внутрисезонным колебанием горимости шкалы рассчитаны отдельно для характерных периодов. Для визуализации полученных в ходе исследования шкал разработан специальный интерактивный веб-сервис, что существенно упростило процесс контроля и интерпретации результатов. Предложенные шкалы могут быть использованы для совершенствования нормативно-правовой базы в области охраны лесов от пожаров.

Ключевые слова: лесные пожары, пожарная опасность, комплексный показатель, модифицированная методика, региональные шкалы

Для цитирования: Котельников Р.В., Мартынюк А.А. Модифицированная методика расчета региональных шкал пожарной опасности в лесах // Изв. вузов. Лесн. журн. 2025. № 1. С. 9–24. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-1-9-24>

Original article

A Modified Methodology for Calculating Regional Forest Fire Hazard Scales

Roman V. Kotelnikov[✉], Candidate of Engineering; ResearcherID: [B-2453-2018](https://orcid.org/0000-0002-9984-5913),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9984-5913>

Alexander A. Martynyuk, Doctor of Agriculture, Prof., Academician of the RAS;
ResearcherID: [AAB-7622-2020](https://orcid.org/0000-0001-7592-2614), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7592-2614>

All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, ul. Institutskaya, 15, Pushkino, Moscow Region, 141202, Russian Federation; kotelnikovrv@firescience.ru[✉], vniilm_martinuk@mail.ru

Received on July 15, 2023 / Approved after reviewing on October 3, 2023 / Accepted on October 6, 2023

Abstract. Weather conditions are one of the most important factors affecting forest fire hazard. In Russia, it is the indices characterizing the fire hazard in forests depending on weather conditions that are traditionally used to regulate the work of forest fire services. In particular, the fire hazard class, the calculation method for which (based on the developments by V.G. Nesterov) has been approved by the order of the Federal Forestry Agency, is used to calculate the frequency of aviation patrols of forests. Taking into account the different densities of weather stations in different years, several modifications of this method have been developed, such as PV-1, PV-2, PVG, but only the Nesterov method is officially approved, despite a number of disadvantages. The accumulation of large volumes of structured data, as well as the development of information technologies, makes it possible to optimize existing approaches to calculating the boundary values of a complex fire hazard index in forests and, for the first time, to perform detailed calculations for all regions of the Russian Federation. Thus, prerequisites have arisen in Russia for updating the regulatory legal framework in this area. The proposed modified methodology is based on the classical principle of assessing the boundaries of classes in the fire hazard scale, corresponding to the proportion of forest fires that occur: 5, 20, 45 and 70 %. At the same time, the fundamental new feature is the choice (based on a numerical criterion) of the methodology that is most suitable for a specific territory. In this case, it is proposed to use the Nesterov and PVG method in a modified version (with temperature and dew point values for yesterday with updated precipitation data: day/night). This paper substantiates that such changes will not significantly affect the adequacy



of the index, while allowing calculations to be made for the morning of the current day, which is necessary for practical application. Another important feature has been the transition to a weighted average calculation of indices. The subject of the Russian Federation as a whole has been selected as a unit of calculation for regions with small forest areas. Large regions have been divided along the boundaries of forest areas. For the subjects of the Russian Federation with pronounced intra-seasonal fluctuations in fire frequency index, the scales have been calculated separately for characteristic periods. To visualize the scales obtained during the study, a special interactive web service has been developed, which has significantly simplified the process of monitoring and interpreting the results. The proposed scales can be used to improve the regulatory framework in the field of forest fire protection.

Keywords: forest fires, fire hazard, complex index, modified methodology, regional scales

For citation: Kotelnikov R.V., Martynyuk A.A. A Modified Methodology for Calculating Regional Forest Fire Hazard Scales. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2025, no. 1, pp. 9–24. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-1-9-24>

Введение

С учетом глобальных климатических изменений проблема лесных пожаров становится все более актуальной. При этом отмечается не только увеличение площадей, пройденных огнем, но и гибель лесов [10, 14], прежде всего в ряде российских регионов (особенно в Сибири), которые попадают в область ускоренных климатических изменений [11, 16]. На этом фоне все чаще поднимается вопрос о необходимости совершенствования подходов к метеорологическому обеспечению противопожарных мероприятий.

Риски возникновения лесных пожаров зависят от многих факторов, ключевым из которых являются условия погоды [11]. Способ оптимизации затрат на мероприятия, связанные с охраной лесов от пожаров, – их увязка с показателями пожарной опасности. В качестве показателей в зависимости от выбранных методик может использоваться комплексный показатель (далее – индекс) или класс (определяемый на основе попадания индекса в установленные границы классов – шкалы). Текущая классификация пожарной опасности в лесах утверждена приказом Рослесхоза от 05.07.2011 № 287.

Так как одно из самых затратных мероприятий в этой сфере – авиационное патрулирование – напрямую зависит от класса пожарной опасности («Порядок организации и выполнения авиационных работ по охране лесов от пожаров», утвержденный приказом Минприроды России от 15.11.2016), даже незначительное изменение алгоритма расчета индексов в масштабе страны может привести к значительному изменению затрат на эти цели.

Разная плотность метеостанций в предыдущий период обусловила разработку нескольких подходов для оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды, таких как шкала на основе индекса засухи В.Г. Нестерова, показатели влажности покрова (ПВ-1) и подстилки (ПВ-2) [2, 5, 7, 19], расчет которых в настоящее время автоматизирован средствами «Информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства» (ИСДМ-Рослесхоз) [13]. В литературе также упоминается показатель влажности с поправкой на гигроскопичность растительного горючего материала (ПВГ) [7], но на практике он пока не нашел применения. Все перечисленные индексы представляют собой разновидности накопительного индекса засухи

и принципиально отличаются в основном лишь методами учета осадков. Большое разнообразие зарубежных индексов и показателей [1, 9, 15, 17, 18] не может быть применено для условий Российской Федерации из-за ограниченного объема доступной информации.

Существенные зонально-географические и лесопирологические особенности территорий России требуют индивидуального подхода к оценке пожарной опасности лесов [8]. Однако несмотря на то, что разработке региональных шкал пожарной опасности по условиям погоды для лесов посвящено большое количество исследований, например, [1, 2, 5, 7] и др., в России преимущественно используется только методика Нестерова и в большинстве (82 %) регионов – общепринятые границы классов (приказ Рослесхоза от 05.07.2011 № 287).

В рамках ранее проведенных научных работ [4] были обоснованы подходы к сравнению шкал. Целью использования предлагаемых индексов является в первую очередь оценка рисков возникновения лесных пожаров, хотя естественно, что условия погоды также влияют на темпы распространения огня и сложность его тушения. В ходе исследования предпринимались попытки выявить взаимосвязь между индексами пожарной опасности и площадью, пройденной огнем. Но поскольку на площади пожаров влияет гораздо большее число факторов (включая техническую оснащенность подразделений, объемы финансирования, наличие инфраструктуры, качество управленческих решений), выявить такую взаимосвязь затруднительно. Следовательно, для оценки адекватности различных методик целесообразно применять в качестве критерия оценки корреляцию между индексом и частотой возникающих пожаров [6].

Накопление больших объемов структурированных данных в сфере охраны лесов от пожаров, а также развитие информационных технологий позволяют оптимизировать существующие подходы к определению граничных значений комплексного показателя пожарной опасности в лесах по условиям погоды и впервые выполнить детализированные расчеты для всех регионов Российской Федерации.

Для 15 субъектов страны Рослесхоз на основании предложений, поступивших от региональных органов исполнительной власти в области лесных отношений, приказом от 09.10.2023 № 288 утвердил индивидуальные границы данного показателя. Так как проверка предложений законодательно не была предусмотрена, ряд субъектов воспользовался ситуацией, чтобы перераспределить на другие (более важные с их точки зрения) цели часть средств, запланированных на охрану лесов, за счет занижения границ классов (и соответственно, количества летных часов на авиапатрулирование). Это является дополнительным аргументом в пользу унификации подхода к расчету региональных шкал оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды и обновления нормативной правовой базы в этой сфере.

Целью исследования являлась разработка методики расчета границ классов пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды для различных территорий (далее – региональные шкалы).

При проведении исследования принималось во внимание, что большинство ранее выполненных расчетов не учитывало форму статистического распределения – исходных данных и выполнялось обычно для небольших территорий. Значительный объем накопленных данных, а также развитие современных методов их обработки позволяют модифицировать известные подходы с целью повышения их адекватности. Основной гипотезой исследования является то,

что на различных территориях и для разных периодов пожароопасного сезона статистика возникновения лесных пожаров существенно отличается, что обуславливает необходимость разработки отдельных (региональных) шкал пожарной опасности по условиям погоды, позволяющих более достоверно оценивать риски возникновения и динамику лесопожарной ситуации.

Для достижения указанной цели предусматривалось решение следующих пошаговых задач:

определиться с минимальной территориальной единицей, для которой будет выполнен сравнительный расчет комплексных показателей пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды (далее – индексов пожарной опасности в лесах);

выбрать временной диапазон, по которому будут формироваться выборки для расчета индексов, и определить оптимальный интервал агрегирования данных по времени;

обосновать критерий выбора наиболее адекватных методик расчета индекса пожарной опасности и региональных шкал (границ классов);

установить критерий оценки целесообразности разработки отдельных шкал для разных периодов пожароопасного сезона;

предложить программу (набор программных скриптов) для обработки данных;

создать инструментарий визуализации полученных в ходе расчета региональных шкал, упрощающий процесс контроля и интерпретации результатов.

Предложенные в ходе работы подходы, в частности, по обоснованию формы распределения исходных данных [3], использованию средневзвешенного значения показателей [12], учету внутрисезонной динамики горимости, а также выбору методики расчета индекса, наиболее подходящей для данной территории, можно отнести к научной новизне исследования.

Объекты и методы исследования

В качестве исходных данных для достижения поставленной цели использовались сведения о лесных пожарах, полученные по результатам наземного и авиационного мониторинга, поступающие из региональных диспетчерских служб. Их анализ показал, что большой разброс места и времени возникновения лесных пожаров может быть вызван случайными факторами, не связанными с погодными особенностями, что приводит к необходимости агрегировать значения методом усреднения данных. Следовательно, выбор оптимального способа агрегирования исходных данных существенно влияет на точность прогнозирования. При этом излишнее усреднение не позволяет учесть специфику отдельных территорий и вынуждает дробить их на более мелкие образования.

Опыт практического применения классов пожарной опасности показывает, что целесообразно привязывать их к территориальному делению. При этом деление по лесничеству является логичным, но на практике неприменимым, т. к. для некоторых лесничеств количество пожаров мало (или иногда отсутствует), а для снижения влияния случайных факторов требуется большая выборка. Принимая во внимание, что административные границы территорий характеризуют уровень социально-экономического развития, а границы лесных райо-

нов – территории с относительно схожими условиями, оптимальным вариантом для малых регионов будет учет всей площади, а для крупных – ее деление по границам лесных районов. Крупными регионами считали субъекты Российской Федерации, площадь лесов в которых превышает 20 млн га. Значение выбрано условно, исходя из того, что если отсортировать площади земель лесного фонда в разрезе регионов, то примерно с этой величины начинается значительный рост.

Использование данных дистанционного мониторинга лесных пожаров из космоса затруднено визуальным дроблением крупных пожаров: из-за облачности и ограниченности количества спутников. При этом наземные данные, со своей стороны, имеют недостатки по достоверности, обусловленные человеческим фактором. Чем дальше в прошлое, тем ниже качество. В связи с этим для снижения влияния указанных факторов неопределенности на получаемые оценки был выбран диапазон в 11 лет с 2012 по 2022 гг., учитывающий в т. ч. среднюю продолжительность солнечного цикла, оказывающего воздействие на лесопожарную ситуацию [4].

В соответствии с данными [4], оптимальным уровнем агрегирования по времени можно считать декаду года (10 дней).

С учетом того, что форма распределения значений пожарной опасности ближе к логнормальной, чем к нормальной кривой [4], выбран оптимальный шаг группировки случаев 0,1 логарифма от анализируемого значения. В качестве примера приведен график взаимосвязи пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды и частоты возникновения лесных пожаров для Западно-Сибирского южно-таежного лесного района Красноярского края в весенне-летний период (рис. 1).

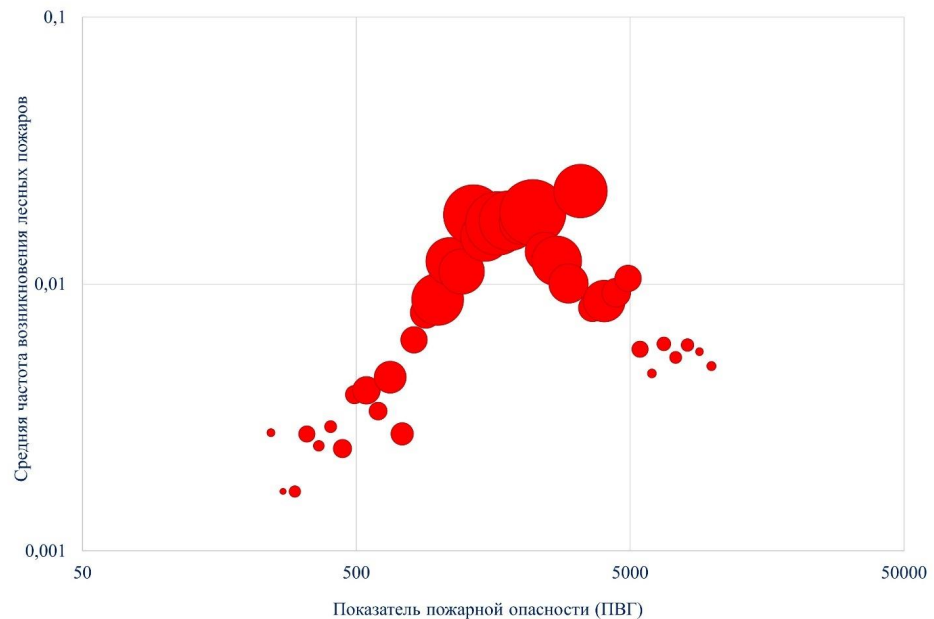


Рис. 1. Взаимосвязь между показателем пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды и частотой возникновения лесных пожаров (2012–2022 гг.)

Fig. 1. The relationship between the forest fire hazard index depending on weather conditions and the frequency of forest fires (2012–2022)

На рис. 1 все дни с пожарами за период с 2012 по 2022 гг. сгруппированы по интервалам, начало и конец которых рассчитываются по средней за 10 дней частоте возникновения лесных пожаров, а также по формуле

$$g_n = e^{0,1n},$$

где g_n – границы интервалов, по которым группируются значения индексов; n – номер интервала (ряд целых чисел начиная с 0).

Общий размер получившейся выборки составил 657 записей. Диаметр кругов на рисунке пропорционален количеству случаев (максимум – 635, минимум – 7). Как видно из рис. 1, выбранное агрегирование данных позволяет выделить явную закономерность и приемлемо для дальнейших исследований.

Из-за принципиально разных природно-климатических и лесопирологических особенностей территорий, а также из-за различной плотности расположения метеостанций (что влияет на правильность учета осадков) выбрать единую методику для всей территории страны затруднительно. Но, как было обосновано в предыдущих исследованиях [4], есть возможность установить для каждой территории наиболее подходящую шкалу. В качестве критерия оценки адекватности шкал целесообразно определить взаимосвязь между индексом и частотой возникновения лесных пожаров. Причем, учитывая, что форма статистического распределения значений (как индексов, так и частоты лесных пожаров) в большой выборке ближе к логнормальному значению [3], целесообразно преобразовывать значения (натуральным логарифмом), что позволит использовать показатель корреляции Пирсона [3, 4].

Несмотря на то, что для существующего подхода к оценке пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды, основанному на накопительных индексах засухи, альтернативы нет, необходимо было решить ряд организационно-технических проблем, связанных с методиками.

Так, в утвержденной методике В.Г. Нестерова для расчета комплексного показателя на текущий день предусмотрено использовать данные по температуре воздуха и точки росы из официальных метеонаблюдений по сроку, ближайшему к 14:00 текущего дня. Вместе с тем с организационной точки зрения принимать решение о вылете воздушного судна необходимо утром (обычно до 9:00 местного времени). Следовательно, применение прогнозных значений, полученных описанным способом, приводит к тому, что в некоторых случаях решение о необходимости патрулирования на основании прогноза может быть оспорено после перерасчета по фактическим значениям. Таким образом, возможны претензии со стороны проверяющих органов к обоснованности трат бюджетных средств.

Данная проблема решена в таких методиках как ПВ-1 и ПВ-2. Учитывая, что все индексы накопительные, использование температуры, измеренной в предыдущий день, не сильно влияет на значение индекса [4]. Для преодоления указанных недостатков, основываясь на аналогичном подходе к определению показателей ПВ-1 и ПВ-2, предлагается скорректировать алгоритм расчета комплексного показателя В.Г. Нестерова и показателя ПВГ, используя информацию о температуре воздуха и точки росы из официальных источников, содержащих данные метеонаблюдений, по сроку, ближайшему к 14:00 предыдущего дня. При этом осадки учитываются на утро (чаще всего на 9:00 местного времени) текущего дня.

На основе анализа большого объема данных по всей стране за последние 11 лет можно сделать вывод, что выбранный в качестве оценки указанный критерий ухудшается незначительно (существенно меньше естественных колебаний), что дает основания в дальнейшем использовать именно модифицированные варианты расчета индексов В.Г. Нестрова и ПВГ (рис. 2, табл. 1). Как видно из гистограмм рис. 2, отклонение корреляции разнонаправленное, среднего значения корреляции за анализируемый период – не более чем на 6 %.

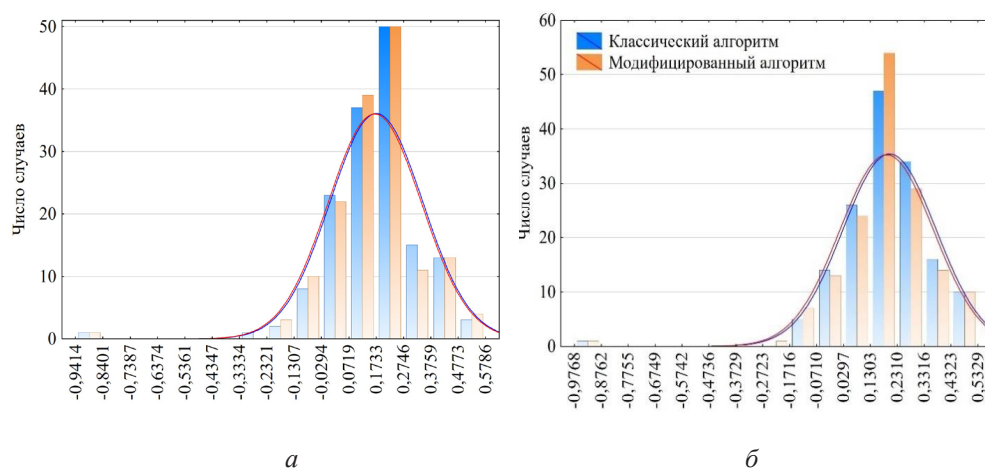


Рис. 2. Оценка влияния корректировки алгоритма расчета комплексных показателей оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды на распределение показателей Нестрова (а) и ПВГ (б) и частоты возникновения лесных пожаров

Fig. 2. The assessment of the effect of adjusting the algorithm for calculating complex indices of fire hazard assessment in forests according to weather conditions on the distribution of the Nesterov (a) and PVG (b) indices of indicators and the frequency of forest fires

Таблица 1

Сравнение адекватности модифицированных методик по корреляции между преобразованными индексами и частотой возникновения лесных пожаров
The comparison of the adequacy of the modified methods for the correlation between the transformed indices and the frequency of forest fires

Особенности алгоритма	Методика В.Г. Нестрова	Методика ПВГ
Классический подход с данными о температуре в текущий день	0,3187	0,3622
Предлагаемый подход с данными о температуре за предыдущий день	0,3017	0,3398

Наличие естественных колебаний значения корреляции характерно не только для указанных методик, но и для ПВ-1 и ПВ-2. Это связано с тем, что вероятность возникновения пожаров обуславливается не только погодными, но и иными факторами. Кроме того, ни одна методика не может учесть все возможные нюансы, связанные с воздействием погоды. Для снижения случайного влияния «прочих» факторов принято решение менять методику В.Г. Нестрова на другие только в тех случаях, когда она по значению корреляции превышает остальные более чем на 10 %. Таким образом, для каждой территории выбиралась лучшая

шкала из следующего списка: модифицированная шкала Нестерова, ПВ-1, ПВ-2 и модифицированная шкала ПВГ. Если данных для стабильной оценки недостаточно или отсутствуют шкалы, которые лучше других по значению корреляции более чем на 10 %, за основу принимается модифицированная шкала Нестерова.

В ряде регионов наблюдается различный характер горимости территорий в течение пожароопасного сезона, поэтому была проведена оценка наличия пиков горимости. Для этой цели в качестве границ лета экспертным путем выбран период с 17-й по 23-ю декаду (с 11 июня по 20 августа). В связи с существенностью случайных межгодовых колебаний наличием пика считался период, когда среднее еженедельное число лесных пожаров превышает значение в другие периоды не менее чем на 30 %. Как видно из диаграммы распределения среднедекадного количества возникающих лесных пожаров за анализируемый период в Красноярском крае (рис. 3), для представленного случая свойствен весенне-летний пик лесных пожаров.

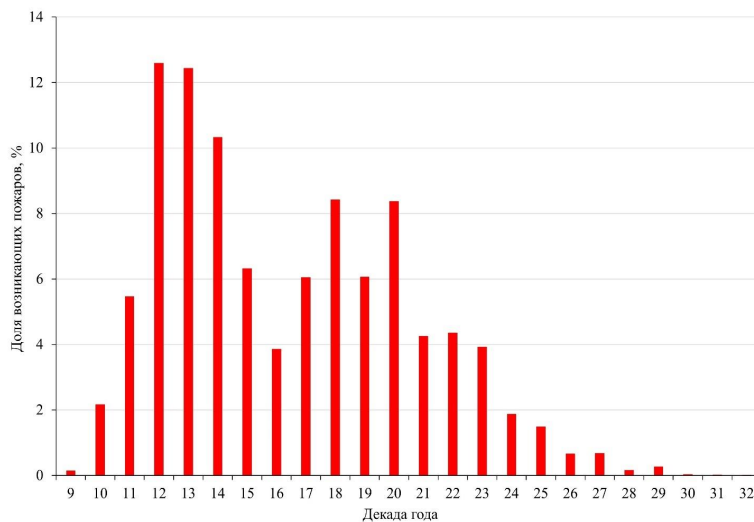


Рис. 3. Распределение пожаров в течение пожароопасного сезона (Красноярский край, 2012–2022 гг.)

Fig. 3. The distribution of fires during the fire season (The Krasnoyarsk Territory, 2012–2022)

При выборе методики расчета границ классов пожарной опасности в лесах (региональной шкалы пожарной опасности) необходимо руководствоваться следующими принципами.

Во-первых, регламентация работы лесопожарных служб в различных регионах должна основываться на единых подходах и быть эквивалентна уровню нагрузки на лесопожарные формирования. То есть 3-й класс пожарной опасности характеризует средний уровень опасности как в крупном регионе (например, Республика Саха (Якутия)), так и в малолесных регионах (Воронежская область). Шкала должна зависеть в первую очередь от погодных условий, а не от того, насколько хорошо организована охрана. В связи с этим в качестве основы деления по классам следует выбрать именно возникающие пожары, а не действующие. Конечно, погода влияет и на условия тушения, но его сложно отделить от других факторов.

Во-вторых, при корректировке шкал желательно сохранить определенную преемственность подходов. Учитывая изложенное, считаем целесообразным использовать классический принцип расчета границ классов в шкале пожарной опасности, соответствующих доле возникающих лесных пожаров: 5, 20, 45 и 70 %. Для этого необходимо выборку пар значений количества (или частоты возникновения) лесных пожаров с соответствующими значениями комплексных показателей пожарной опасности распределить по возрастанию значения комплексных показателей. Далее отделить 5 % всех пожаров и по шкале комплексного показателя получить значение, разделяющее 1-й и 2-й классы пожарной опасности; затем вычислить значение для 20 % возникающих пожаров, разделяющее 2-й и 3-й классы и т. д.

Для выполнения описанных расчетов, а также для визуализации полученных результатов авторами было разработано программное обеспечение, которое представляет собой набор программных модулей (скриптов), а также дашборд, сформированный в среде DataLens (рис. 4).

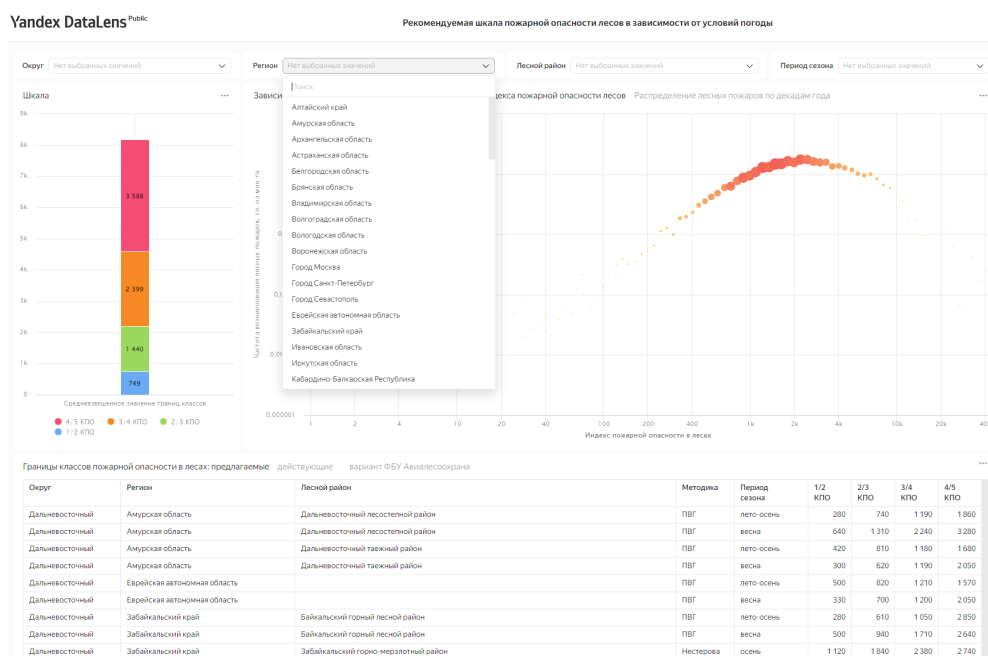


Рис. 4. Пример интерфейса программного обеспечения для визуализации результатов расчета границ классов пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды

Fig. 4. An example of a software interface for visualizing the results of calculating the boundaries of fire hazard classes in forests depending on weather conditions

Программный комплекс способен решать следующие задачи:

расчет внутрисезонного характера горимости территорий (региона в целом или для лесных районов внутри регионов, если площадь лесов более 20 млн га);

расчет границ классов пожарной опасности в зависимости от условий погоды;

выбор методики пожарной опасности в лесах, наиболее подходящей для данной территории;

- визуализация федерального округа, субъекта Российской Федерации, лесного района и периода пожароопасного сезона;
- визуализация зависимости частоты возникновения лесных пожаров от комплексного показателя пожарной опасности в лесах;
- визуализация распределения количества возникающих лесных пожаров по декадам;
- визуализация границ классов пожарной опасности в лесах (далее – границ классов) в виде диаграммы для выбранных территорий;
- визуализация рекомендуемых границ классов в табличном виде;
- визуализация действующих границ классов в табличном виде.

Результаты исследования и их обсуждение

Используя описанный выше подход к предварительной обработке исходных данных, были сформированы 4 выборки формата:

- индекс пожарной опасности, соответствующий центру интервала, определяемого по приведенной выше формуле;
- средняя за декаду частота возникающих лесных пожаров (далее – частота лесных пожаров).

Размер сформированной выборки, результаты расчета доли площади, на которой определенная методика показывает лучшие результаты, а также средневзвешенное значение корреляции между преобразованными индексами пожарной опасности и частотой возникновения лесных пожаров приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты сравнения методик расчета индексов пожарной опасности по значению корреляции между преобразованными индексами и частотой возникновения лесных пожаров
The results of a comparison of methods for calculating fire hazard indices based on the correlation value between the converted indices and the frequency of forest fires

Методика расчета	Количество пар значений в выборке	Доля площади Российской Федерации, %	Средневзвешенное (по площади) значение корреляции
ПВ-1	602 625	20,2	0,27
ПВ-2	612 822	21,6	0,21
ПВГ	595 078	16,7	0,27
Методика Нестерова	595 194	41,5	0,26

Полученные в ходе расчета результаты сведены в таблицу, фрагмент которой приведен ниже (табл. 3). Путем сравнения для каждой территории (субъекта Российской Федерации для малолесных районов или лесного района внутри субъекта Российской Федерации) корреляции Пирсона для преобразованных (натуральным алгоритмом) индексов пожарной опасности и частоты возникновения лесных пожаров, выбрано значение с превосходящей корреляцией при условии, что оно превышает остальные более чем на 10 %. В случае, если данных мало или нет явно выраженных различий (на такие территории приходится 40,6 % площади страны), для дальнейших расчетов за основу взята методика Нестерова.

Результат выбора наиболее оптимальной методики представлен в виде карты-схемы (рис. 5).

Таблица 3

Модифицированная классификация пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды по субъектам Российской Федерации в разрезе лесных районов (фрагмент)
 The modified classification of fire hazard in forests depending on weather conditions for the subjects of the Russian Federation in terms of forest areas (fragment)

Субъект Российской Федерации	Лесной район	Метод	Период сезона/сезон	Границы между классами			
				1-м и 2-м	2-м и 3-м	3-м и 4-м	4-м и 5-м
Архангельская область	Район притундровых лесов и редкостойной тайги Европейско-Уральской части	В.Г. Нестерова	Весь сезон	300	1000	4000	10000
			Весна–лето	1080	1870	2860	4330
			Осень	630	1230	1580	2150
Вологодская область	Северо-таежный район Европейской части	ПВ-1	Весна–лето	480	830	1250	1890
			Осень	470	900	1400	2380
			Весна–лето	300	730	1190	1830
Калининградская область	Двинско-Вычегодский таежный район	В.Г. Нестерова	Осень	80	330	640	920
			Весна	510	1260	2630	3920
			Лето–осень	300	1010	1410	2700
Ленинградская область	Весь регион	В.Г. Нестерова	Весна–лето	430	960	1680	2490
			Осень	150	490	1300	2050
			Весна	310	500	730	1210
Мурманская область		ПВ-1	Лето	210	400	840	1230
			Осень	200	310	470	620

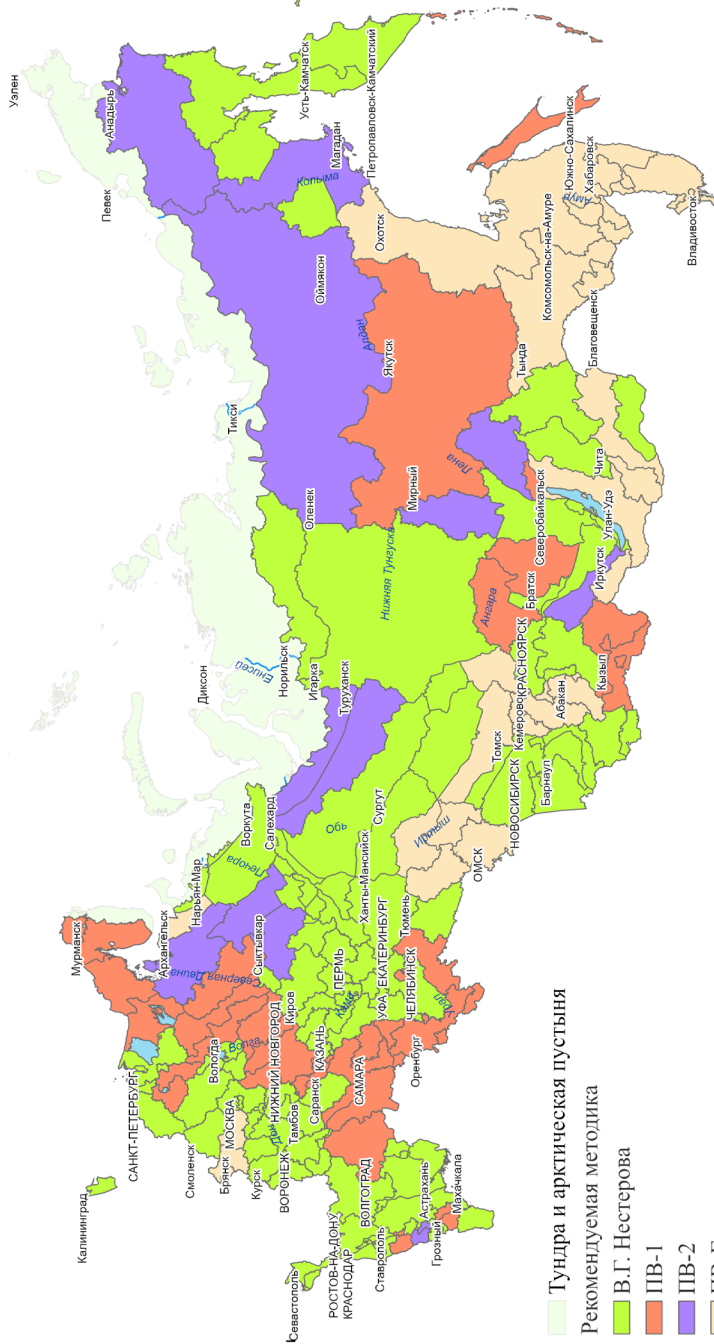


Рис. 5. Карта-схема рекомендуемых методов оценки пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды
 Fig. 5. The schematic map of recommended methods for assessing fire hazard in forests depending on weather conditions

Как видно из табл. 3, несмотря на одинаковые процентные значения границ классов, численные значения границ для разных лесных районов внутри регионов, а также для разных периодов пожароопасного сезона существенно отличаются, что подтверждает гипотезу о необходимости отдельного расчета для указанных территорий и периодов.

Заключение

Полученные в ходе предварительной обработки наборы данных показали средневзвешенную корреляцию Пирсона между преобразованными логарифмами индексов пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды и логарифмами частоты возникновения лесных пожаров большей, чем для непреобразованных значений. Кроме того, графики взаимосвязи индексов пожарной опасности и количества возникающих пожаров, сформированные в описанном в статье интерактивном веб-интерфейсе программного обеспечения, также подтверждают наличие устойчивой связи между названными показателями, что дает основание использовать эти данные для расчета границ шкал.

Сравнительный анализ классического подхода к расчету индексов пожарной опасности по методике В.Г. Нестерова, ПВГ и на основе нашего модифицированного подхода, использующего для утреннего расчета индексов температуру воздуха и точки росы по вчерашнему дневному измерению (в совокупности с актуальными данными об осадках: день/ночь), показал незначительные расхождения (не более 6 %). Таким образом, модифицированные показатели являются более подходящими для практического использования.

На разных территориях, для разных периодов пожароопасного сезона статистика возникновения лесных пожаров существенно отличается, что подтверждает целесообразность введения отдельных (региональных) шкал пожарной опасности по условиям погоды. Такой подход позволит более качественно оценивать уровень пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды.

Разработанные в ходе исследования шкалы могут быть использованы для совершенствования нормативно-правовой базы в области охраны лесов от пожаров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Губенко И.М., Рубинштейн К.Г. Сравнительный анализ методов расчета индексов пожарной опасности // Тр. Гидрометеорол. науч.-исслед. центра Рос. Федерации. 2012. № 347. С. 180–193.

Gubenko I.M., Rubinshtejn K.G. Comparative Analysis of Methods for Calculating Fire Hazard Indices. *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra Rossijskoj Federatsii* = Proceedings of Hydrometcentre of Russia, 2012, no. 347, pp. 180–193. (In Russ.).

2. Иванов В.А., Горошко А.А., Бакшеева Е.О., Головина А.Н., Морозов А.С. Региональные шкалы пожарной опасности по условиям погоды для лесов Амурской области // Хвойные бореал. зоны. 2020. Т. XXXVIII, № 1–2. С. 34–42.

Ivanov V.A., Goroshko A.A., Baksheeva E.O., Golovina A.N., Morozov A.S. Regional Fire Hazard Scales Based on Weather Conditions for Forests in the Amur Region. *Khvoynye boreal'noi zony* = Conifers of the Boreal Area, 2020, vol. XXXVIII, no. 1–2, pp. 34–42. (In Russ.).

3. Котельников Р.В., Лурия Е.А. Особенности дистанционно оцениваемых распределений площадей лесных пожаров для территорий с различным уровнем пожарной охраны // Современ. проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19, № 4. С. 75–87.

Kotelnikov R.V., Loupian E.A. Features of Remotely Estimated Distributions of Forest Fire Areas for Territories with Different Levels of Fire Protection. *Sovremennye problem distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* = Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space, 2022, vol. 19, no. 4, pp. 75–87. (In Russ.). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-4-75-87>

4. Котельников Р.В., Чугаев А.Н. Сравнительная оценка качества индексов пожарной опасности в лесах // Сиб. лесн. журн. 2023. № 6. С. 32–38.

Kotelnikov R.V., Chugaev A.N. Comparative Estimation of the Quality of Fire Danger Indexes in Forests. *Sibirskij lesnoj zhurnal* = Siberian Journal of Forest Science, 2023, no. 6, pp. 32–38. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.15372/SJFS20230604>

5. Плотникова А.С. Шкала природной пожарной опасности лесных экосистем И.С. Мелехова. Обзор современных российских методических подходов // Вопр. лесн. науки. 2021. Т. 4, № 2. Режим доступа: <https://jfsi.ru/4-2-2021-plotnikova/> (дата обращения: 18.11.24).

Plotnikova A.S. Scale of Natural Fire Danger of Forest Ecosystems of Melekhov I.S. Overview of Modern Russian Methodological Approaches. *Voprosy lesnoj nauki* = Forest Science Issues, 2021, vol. 4, no. 2, art. no. 83. (In Russ.). <https://doi.org/10.31509/2658-607x-202142-2>

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023668649 РФ. Сравнение методик оценки пожарной опасности в лесах, в зависимости от условий погоды: № 2023667896; заявл. 30.08.2023; опубл. 30.08.2023 / Р.В. Котельников, А.Н. Чугаев.

Kotelnikov R.V., Chugaev A.N. Certificate of State Registration of a Computer Program 2023668649 RF. *Comparison of Fire Hazard Assessment Methods in Forests, Depending on Weather Conditions*, 2023. (In Russ.).

7. Софронова Т.М., Волокитина А.В., Софронов М.А. Совершенствование оценки пожарной опасности по условиям погоды в горных лесах Южного Прибайкалья: моногр. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева, Красноярский гос. пед. ун-т им. В.П. Астафьева, 2007. 236 с.

Sofronova T.M., Volokitina A.V., Sofronov M.A. *Improving the Assessment of Fire Hazard Based on Weather Conditions in the Mountain Forests of the Southern Baikal Region*: Monograph. Krasnoyarsk, Sukachev Institute of Forest (Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences), Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafyev, 2007. 236 p. (In Russ.).

8. Buryak L.V., Kukavskaya E.A., Ivanov V.A., Malykh O.F., Kotelnikov R.V. Assessment of Fire Hazard and Its Dynamics in Forest Areas of Siberia. *Contemporary Problems of Ecology*, 2021, vol. 14, pp. 803–814. <https://doi.org/10.1134/S1995425521070040>

9. Ziel R.H., Bieniek P.A., Bhatt U.S., Strader H., Rupp T.S., York A. A Comparison of Fire Weather Indices with MODIS Fire Days for the Natural Regions of Alaska. *Forests*, 2020, vol. 11, no 5, art. no. 516. <https://doi.org/10.3390/f11050516>

10. Bartalev S.A., Stytsenko F.V. Assessment of Forest-Stand Destruction by Fires Based on Remote-Sensing Data on the Seasonal Distribution of Burned Areas. *Contemporary Problems of Ecology*, 2021, vol. 14, pp. 711–716. <https://doi.org/10.1134/S1995425521070027>

11. Hayasaka H. Fire Weather Conditions in Boreal and Polar Regions in 2002–2021. *Atmosphere*, 2022, vol. 13, no. 7, art. no. 1117. <https://doi.org/10.3390/atmos13071117>

12. Kotelnikov R.V., Chugaev A.N. Efficiency Evaluation of the Weighted Mean Calculation of the Forest Fire Hazard Class. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021. vol. 875, art. no. 012064. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/875/1/012064>
13. Kotel'nikov R.V., Lupyay E.A., Bartalev S.A., Ershov D.V. Space Monitoring of Forest Fires: History of the Creation and Development of ISDM-Rosleskhoz. *Contemporary Problems of Ecology*, 2020, vol. 13, pp. 795–802. <https://doi.org/10.1134/S1995425520070045>
14. Krylov A., McCarty J., Potapov P., Loboda T., Tyukavina A., Turubanova S., Hansen M.C. Remote Sensing Estimates of Stand-Replacement Fires in Russia, 2002–2011. *Environmental Research Letters*, 2014, vol. 9, art. no. 105007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/105007>
15. Pezzatti G.B., De Angelis A., Bekar İ., Ricotta C., Bajocco S., Conedera M. Complementing Daily Fire-Danger Assessment Using a Novel Metric Based on Burnt Area Ranking. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2020, vol. 295, art. no. 108172. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108172>
16. Previdi M., Smith K.L., Polvani L.M. Arctic Amplification of Climate Change: a Review of Underlying Mechanisms. *Environmental Research Letters*, 2021, vol. 16, art. no. 093003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1c29>
17. Srock A.F., Charney J.J., Potter B.E., Goodrick S.L. The Hot-Dry-Windy Index: A New Fireweather Index. *Atmosphere*, 2018, vol. 9, no. 7, art. no. 279. <https://doi.org/10.3390/atmos9070279>
18. Šturm T., Fernandes P.M., Šumrada R. The Canadian Fire Weather Index System and Wildfire Activity in the Karst Forest Management Area, Slovenia. *European Journal of Forest Research*, 2012, vol. 131, pp. 829–834. <https://doi.org/10.1007/s10342-011-0556-7>
19. Torres-Rojo J.M. Index for the Estimation of the Occurrence of Forest Fires in Large Areas = Índice para la Estimación de Ocurrencia de Incendios Forestales en Superficies Extensas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 2020, vol. XXVI, iss. 3, pp. 433–449. (In Span. and Eng.) <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.11.082>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest