

УДК 630\*614.849

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИНДЕКСОВ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ В ЛЕСАХ

Р. В. Котельников, А. Н. Чугаев

*Центр лесной пирологии, развития технологий охраны лесных экосистем, защиты и воспроизводства лесов – филиал Всероссийского НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства 660062, Красноярск, ул. Крупской, 42*

E-mail: center@firescience.ru, chugaevaa@firescience.ru

*Поступила в редакцию 27.03.2023 г.*

К одним из наиболее важных факторов, влияющих на пожарную опасность лесов, относятся условия погоды. При наличии всевозможных методических подходов (в частности, к учету осадков) и различиях лесоводственных и природно-климатических условий, а также при разной плотности метеостанций рассчитанные по указанным методикам значения существенно различаются по лесным районам. Для корректной оценки качества методик и правильной интерпретации полученных результатов разработан специальный инструментарий, позволяющий произвести необходимую предварительную обработку и визуализацию данных в виде интерактивной панели. Существующие подходы основывались на линейном коэффициенте корреляции Пирсона. Вместе с тем этот критерий применим только в случае, если исходные данные распределены по нормальному закону. Сформированные в ИСДМ-Рослесхоз большие объемы данных показывают, что это не так. Новый подход отличается тем, что исходные данные предварительно преобразуются методом логарифмирования, а это повышает точность полученных оценок. Разработанный инструментарий позволил провести сравнительный анализ основных методик, используемых в России. Для большей территории (30 %) лучшие результаты получены с использованием методики показателя влажности с учетом гигроскопичности (ПВГ), на втором месте – методика показателя влажности 2 (ПВ-2, 26 %), далее следуют методики показателя влажности 1 (ПВ-1, 20 %) и Нестерова (13 %). На остальной территории (11 %) результат не является статистически значимым. Подготовленная авторами интерактивная карта в сочетании с динамическим графиком позволяет визуализировать результаты сравнения до уровня лесных районов внутри субъектов Российской Федерации, упростив тем самым интерпретацию полученных результатов. Итоги работы могут быть использованы для совершенствования шкал пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды.

**Ключевые слова:** частота лесных пожаров, корреляция, интерактивная панель.

DOI: 10.15372/SJFS20230604

### ВВЕДЕНИЕ

Условия погоды являются одним из наиболее важных факторов, влияющих на пожарную опасность лесов. Существуют различные методики оценки такой опасности (Софронова и др., 2007; Иванов и др., 2020; Torres-Rojo, 2020; Плотникова, 2021). Наиболее распространены методики Нестерова, показателей влажности: ПВ-1 и ПВ-2. В литературе упоминается и шкала показателя влажности с учетом гигроскопичности (ПВГ) (Софронова и др., 2007), но на практике она практически не используется. При

наличии всевозможных методических подходов (в частности, к учету осадков) и различий лесоводственных и природно-климатических условий, а также при разной плотности метеостанций, рассчитанные по указанным методикам значения существенно различаются по лесным районам. Таким образом, актуальна проблема оценки того, какая методика более адекватно соотносится с реальным риском возникновения лесных пожаров.

Цель исследования – разработка критериев сравнительной оценки качества наиболее распространенных методик пожарной опасности в

лесах в зависимости от условий погоды, а также инструментария для визуализации полученных результатов. Для ее достижения необходимо решить следующие задачи:

- выбрать критерий, по которому будет проводиться оценка шкал;
- создать инструментарий, упрощающий процесс визуализации полученных результатов;
- выполнить сравнительный анализ наиболее распространенных методик оценки пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды с использованием предлагаемого подхода;
- интерпретировать полученные результаты.

Большинство ранее выполненных аналогичных исследований не учитывали форму распределения значений. Большой объем накопленных данных, а также развитие современных методов их обработки позволяют модифицировать известный подход с целью повышения его адекватности.

Научной новизной предложенного подхода является учет формы распределения значений в исходных данных.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исходными данными для исследования были сведения о лесных пожарах по данным наземных и авиационных наблюдений, полученные от региональных диспетчерских пунктов с 2012 по 2022 г. Период 11 лет выбран для того, чтобы учесть особенности, связанные с солнечной активностью. Комплексные показатели пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды (далее – индексы) рассчитаны по методикам Нестерова; ПВ-1, ПВ-2 и ПВГ также с 2012 по 2022 г. (Вонский и др., 1981; Приказ..., 2011; Ковалев и др., 2020; Информационная система..., 2023).

Перечисленные методики основаны на накопительном показателе (иногда называемом индексом засухи), который отсчитывается со дня с осадками и постепенно нарастает (в зависимости от температуры и влажности). Важным отличием является то, что при любом количестве осадков указанный индекс следует обнулять (или уменьшать) (Софронова и др., 2007). Для удобства практического использования нормативно задают границы индексов и определяют значение класса (т. е. задают шкалу пожарной опасности). Указанные шкалы могут различаться для разных регионов. Вместе с тем для оценки качества методик далее в исследовании будут сравниваться не шкалы, а сами индексы. При

этом применяется несколько подходов. Один из них – это сравнение значений с влагосодержанием однотипного эталонного растительного горючего материала (РГМ) (обычно покрова из зеленых мхов на дренированной почве) или по сопряженности с пожарной зрелостью опытных участков (Viegas et al., 1999; Софронова и др., 2007).

Еще один вариант оценки работы показателей (индексов) – метод статистических проб, например по способности выделять дни с альтернативными уровнями пожарной опасности, как очень низкой, так и наиболее высокой (Viegas et al., 1999).

Также существует возможность непосредственного сравнения степени взаимосвязи индекса с частотой лесных пожаров. С увеличением объема данных именно этот метод становится более предпочтительным. Обычно сравнивается значение индексов либо с возникающими лесными пожарами, либо с действующими в этот день (Софронова и др., 2007). По нашему мнению, на количество действующих (т. е. не только возникших вновь, но и непотушенных пожаров из возникших в предшествующие дни), влияет также и целый ряд прочих производственных факторов (наличие ресурсов пожаротушения, качество работы лесопожарных служб и т. д.), т. е. если сравнивать только шкалы, то лучше анализировать только вновь возникающие.

Наиболее простым и распространенным подходом для оценки того, насколько адекватно какой-либо индекс характеризует риски возникновения лесных пожаров, это рассчитать корреляцию (степень взаимосвязи) между этим индексом и числом лесных пожаров. Аналогичные исследования уже проводились ранее (Губенко, Рубинштейн, 2012; Волокитина и др., 2017; Srock et al., 2018; Ziel et al., 2020). Большинство указанных работ выполнены на ограниченном объеме данных или для ограниченного участка лесов.

Кроме того, при реализации подобного подхода возникает ряд сложностей, которые серьезно влияют на результат. В частности, статистические критерии, характеризующие степень взаимосвязи двух выборок, зависят от формы распределения значений. Большинство упомянутых исследований используют для оценки коэффициента корреляции Пирсона. Вместе с тем указанная статистика применима только для случая нормального распределения значений.

С использованием функционала программы Statistica, (в частности, модуль «Подгонка») был

**Таблица 1.** Оценка близости реальных распределений к основным параметрическим распределениям по критерию Колмогорова – Смирнова

Параметрическое распределение	Частота возникновения пожаров	Методика			
		Нестерова	ПВ-1	ПВ-2	ПВГ
General Pareto (scale, shape)	0.059	0.029	0.009	0.017	0.047
Log Normal (scale, shape)	0.062	0.034	0.041	0.047	0.085
General Extreme Value (location, scale, shape)	0.077	0.051	0.044	0.029	0.069
Weibull (scale, shape)	0.086	0.029	0.049	0.048	0.025
Gaussian Mixture (Mixing. Coef. 1, Mean 1, Std. Dev 1, Mixing Coef. 2, ...)	0.155	0.156	0.131	0.133	0.094
Normal (location, scale)	0.263	0.311	0.301	0.293	0.183
Half Normal (scale)	0.356	0.413	0.381	0.407	0.175
Rayleigh (scale)	0.497	0.570	0.545	0.565	0.334
Triangular (min, max, mode)	0.535	0.815	0.828	0.712	0.511

рассчитан критерий Колмогорова – Смирнова, показывающий близость реального распределения к стандартным параметрическим распределениям (табл. 1).

Как видно из табл. 1, логнормальное распределение существенно лучше описывает форму исходных данных, чем нормальное распределение. Это также подтверждается исследованиями других авторов (Torres-Rojo, 2020; Котельников, Лупян, 2022).

Таким образом, повысить точность сравнительной оценки различных методик можно преобразовав исходную выборку методом логарифмирования. Полученные преобразованные значения ближе к нормальному распределению, и значение статистики корреляции Пирсона будет лучше отражать степень взаимосвязи (рис. 1).

Так как на пожарную опасность и на лесные пожары влияет множество факторов, это приводит к большому колебанию значений. Поскольку иные факторы чаще всего разнонаправлены, то с целью снижения влияния подобных «шумов» в исходных данных необходимо ввести определенное усреднение (как по времени, так и по значениям).

В качестве оптимального временного интервала обычно выбирают декаду года (10 дней). Учитывая логнормальное распределение индексов, для получения равномерных значений ошибок на каждом рассматриваемом интервале их значений, ширину такого интервала тоже лучше выбирать с логарифмическим шагом (тогда количество случаев, попавших в указанный интервал, будет схожим). Выбрав значение шага равное 0.1, мы существенно упростим алгоритм расчета, т. е. для оценки корреляции будем для

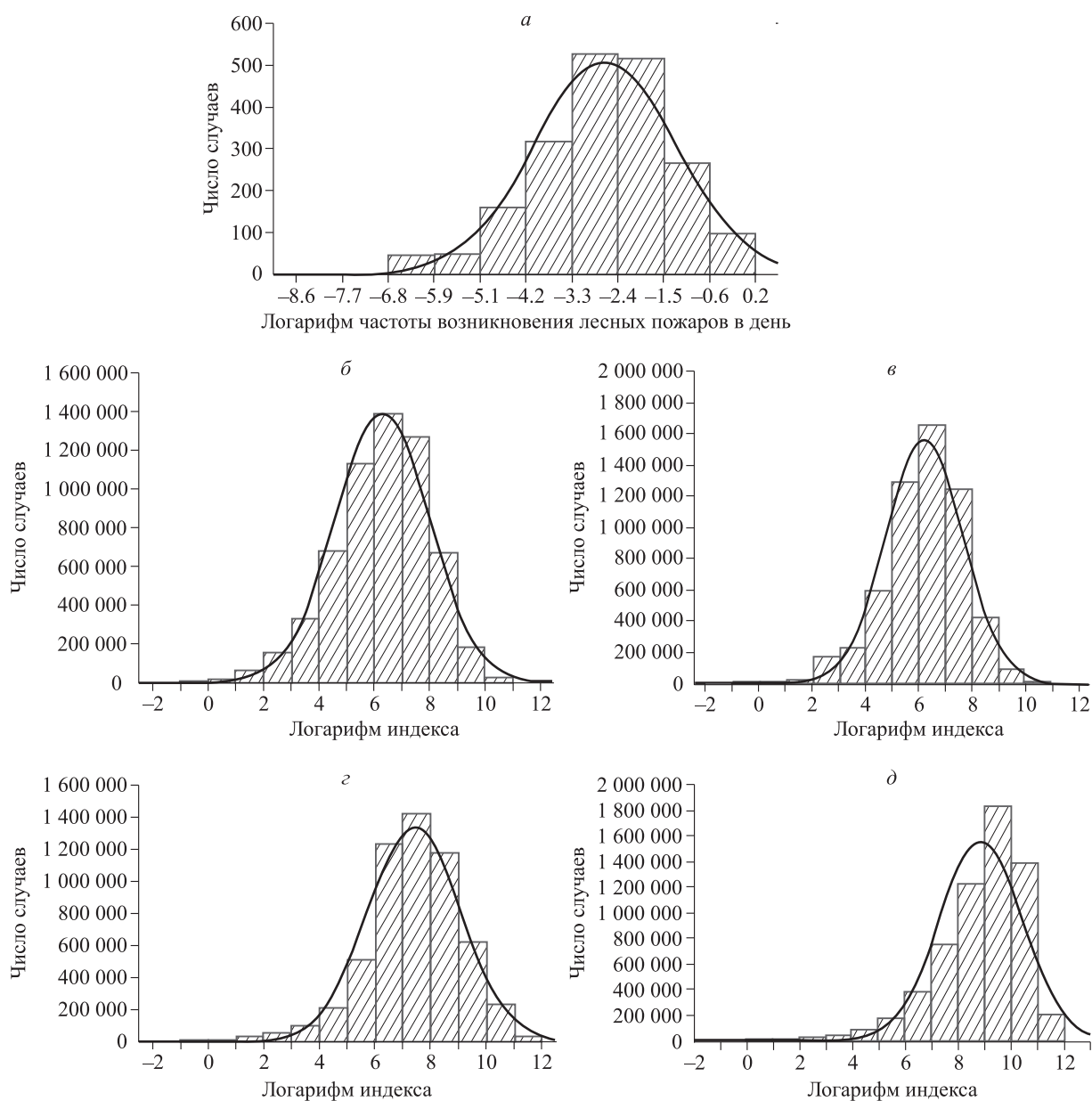
каждой декады группировать пожары, у которых значение логарифма индекса пожарной опасности, округленное до одной десятой, совпадает.

С точки зрения поставленной задачи достаточно рассматривать число лесных пожаров, возникших в эту декаду при заданном значении логарифма индекса и для данного участка территории. Но для удобства сравнения горимости между разными территориями (лесными районами внутри субъектов Российской Федерации) будем использовать частоту лесных пожаров (число пожаров на 1 млн га площади). Форма распределения для выборки внутри каждой территории от такого преобразования не изменится.

В качестве минимальной территориальной единицы, для которой выполняется расчет, целесообразно взять лесные районы внутри субъектов Российской Федерации.

Учитывая перечисленные особенности, итоговый алгоритм обработки данных будет следующий:

- сформировать список лесных пожаров в разрезе лесных районов внутри субъекта Российской Федерации;
- для каждого лесного пожара определить логарифм индексов пожарной опасности;
- сгруппировать лесные пожары по значению логарифма индекса, округленного до одной десятой;
- найти значение логарифма суммы лесных пожаров по каждой группе;
- рассчитать значение корреляции Пирсона, а также коэффициент статистической значимости указанного расчета ( $p$ -уровень);
- выбрать методику расчета индекса с наибольшим значением корреляции (учитывая только случаи, для которых  $p$ -уровень не превышает 0.05).



**Рис. 1.** Форма распределения преобразованных значений исходных данных.

*а* – частота возникновения лесных пожаров в день; *б* – методика Нестерова; *в* – методика ПВ-1; *г* – методика ПВ-2; *д* – методика ПВГ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С учетом предложенного выше подхода сформированы четыре выборки (для каждой методики расчета индекса) следующей структуры:

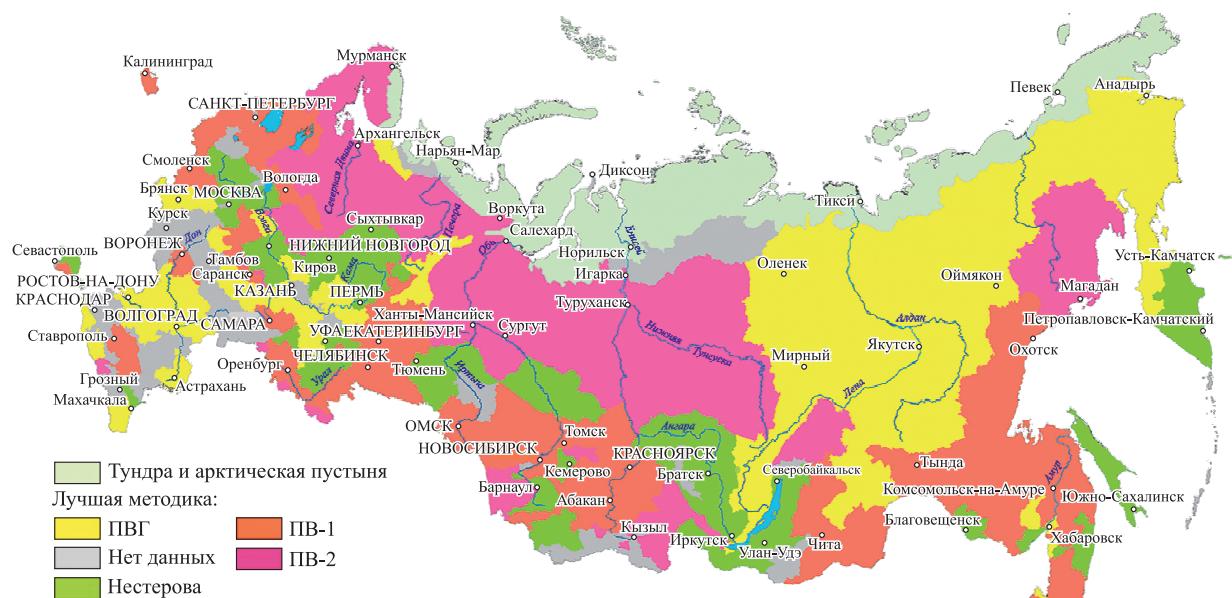
- код лесного района внутри субъекта Российской Федерации;
- логарифм индекса пожарной опасности;
- логарифм частоты возникновения лесных пожаров.

Суммарно все выборки содержат 4 877 476 записей.

Результат сравнительного анализа представлен на рис. 2.

Для удобства интерпретации полученного результата на базе платформы DataLens сформирована интерактивная информационная панель (дашборд). Данный дашборд позволяет не просто цветом визуализировать в нужном масштабе на выбор результат сравнения (лучшую шкалу) или значение корреляции, но и выбрать нужный участок территории для просмотра всех промежуточных значений в текстовом виде.

Кроме того, автоматически строятся столбчатые диаграммы со средневзвешенными значениями индексов, а также круговая диаграмма для



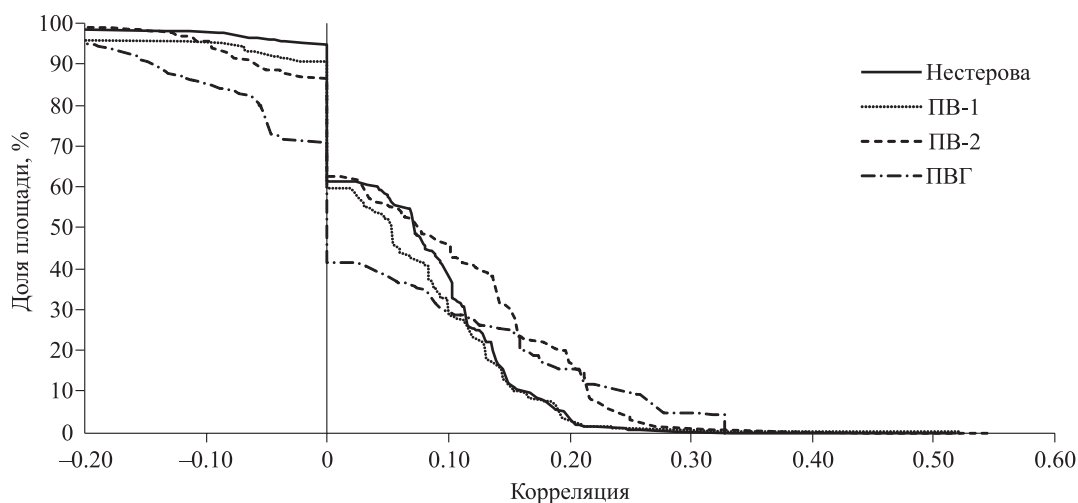
**Рис. 2.** Распределение территорий, где указанные методики оценки пожарной опасности в лесах имеют большее соответствие частоте возникающих лесных пожаров (2012–2022 гг.).

оценки доли площади, на которой соответствующая методика показывает лучшие результаты и осуществляет проверку правильности расчета (Сравнение..., 2023).

Полученные в ходе исследования результаты позволили сделать вывод, что для 30 % лесов в России лучший результат показала методика ПВГ. Дополнительный анализ показал, что это связано в первую очередь с редкой сетью метеостанций. В случае, если осадки прошли непосредственно над метеостанцией, при классическом подходе индекс пожарной опасности обнуляется, но это не значит, что осадки прошли по всей зоне обслуживания и пожары могут быть. Поскольку в методиках ПВ-2 и ПВГ алго-

ритм снижения значения индекса в зависимости от количества осадков более плавный, то они показывают большую корреляцию с пожарами в регионах, где плотность метеостанций ниже.

Для методики ПВГ приходится 30 % территории, ПВ-2 – 26 %, ПВ-1 – 20 %. Методика Нестерова (13 % территории) изначально разрабатывалась для Европейской части России, поэтому неудивительно, что именно там она показывает более хорошие результаты. Для 11 % полученный результат не является статистически значимым. Для удобного сравнения результатов можно отобразить на одном графике значение корреляции (по горизонтали) и доли площади (по вертикали) (рис. 3).



**Рис. 3.** Сравнительный график взаимосвязи корреляции между соответствующими показателями пожарной опасности в лесах и частотой лесных пожаров и долей площади лесных районов.

Значения площади участков с разной корреляцией предварительно отсортированы по ее убыванию. По графику визуально видно насколько отличается качество каждой методики (чем выше – тем лучше), а также для какой части территории методики полностью не применимы (где график левее нуля). Такой график также показывает, для какой доли площади корреляция будет не менее заданной. В частности, если рассматривать территорию России в целом, то методика ПВГ может использоваться только на 41 % территории, ПВ-1 – на 59 %, Нестерова – на 61 %, а ПВ-2 – на 63 %.

При принятии решения о совершенствовании методик учета пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды следует учитывать, что дальнейшие попытки корректировать алгоритм снижения индекса на основе количества осадков, выпавших на метеостанции, – тупиковые. Нужно либо радикально увеличивать число метеостанций, либо переходить на учет осадков по территории лесов (например, на основе космических данных или данных метеорологических радаров).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предварительный анализ формы распределения значений индексов пожарной опасности в лесах и распределения частоты лесных пожаров показал существенное отличие от закона нормального распределения. Преобразование исходных данных методом логарифмирования позволяет использовать для анализа взаимосвязи между погодными индексами и горимостью коэффициент корреляции Пирсона. Способ представления результата в виде комбинации интерактивной карты и графика взаимосвязи корреляции и площади анализируемой территории может быть использован для совершенствования методов оценки пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды, в том числе для разработки региональных методик пожарной опасности.

При сравнении площадей, где соответствующая методика показала лучшие результаты, получились следующие значения: методика ПВГ – 30 % территории, на втором месте методика ПВ-2 – 26 %, далее следует ПВ-1 – 20 % и Нестерова – 13 %. На остальной территории (11 %) результат не является статистически значимым.

*Работа выполнена в рамках государственного задания на проведение прикладных научных исследований, утвержденного Приказом Рослесхоза от 23.12.2021 № 975.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Волокитина А. В., Софронова Т. М., Корец М. А. Региональные шкалы оценки пожарной опасности в лесу: Усовершенствованная методика составления // Сиб. лесн. журн. 2017. № 2. С. 52–61.
- Вонский С. М., Жданко В. А., Корбут В. И., Семенов М. М., Тетюшева Л. В., Завгородняя Л. С. Определение природной пожарной опасности в лесу: Метод. рекоменд. Л.: ЛенНИИЛХ, 1981. 51 с.
- Губенко И. М., Рубинштейн К. Г. Сравнительный анализ методов расчета индексов пожарной опасности // Тр. гидрометеорологического науч.-иссл. центра Российской Федерации. 2012. Вып. 347. С. 207–222.
- 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. 38. № 1-2. С. 34–42.
- Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз). М.: Рослесхоз, 2023. [https://nffc.aviales.ru/main\\_pages/index.shtml](https://nffc.aviales.ru/main_pages/index.shtml)
- Ковалев Н. А., Луян Е. А., Балашов И. В., Барталев С. А., Бурцев М. А., Еришов Д. В., Кривошеев Н. П., Мазуров А. А. ИСДМ-Рослесхоз: 15 лет эксплуатации и развития // Соврем. пробл. дистанцион. зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 7. С. 283–291.
- Котельников Р. В., Луян Е. А. Особенности дистанционно оцениваемых распределений площадей лесных пожаров для территорий с различным уровнем пожарной охраны // Соврем. пробл. дистанцион. зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 4. С. 75–87.
- Плотникова А. С. Шкала природной пожарной опасности лесных экосистем И. С. Мелехова. Обзор современных российских методических подходов // Вопр. лесн. науки. 2021. Т. 4. № 2. Статья № 83. 13 с.
- Приказ Рослесхоза от 05.07.2011 № 287 «Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды». М.: Рослесхоз, 2011.
- Софронова Т. М., Волокитина А. В., Софронов М. А. Совершенствование оценки пожарной опасности по условиям погоды в горных лесах Южного Прибайкалья. Красноярск: Краснояр. гос. пед. ун-т им. В. П. Астафьева; Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2007. 240 с.
- Сравнение методик оценки пожарной опасности в лесах, в зависимости от условий погоды. Красноярск: Центр лесной пирологии, развития технологий охраны лесных экосистем, защиты и воспроизводства лесов – филиал ВНИИЛМ, 2023. <https://firescience.ru/project/kpo/thebestkpo.html>
- Srock A. F., Charney J. J., Potter B. E., Goodrick S. L. The hot-dry-windy index: A new fire weather index // Atmosphere. 2018. V. 9. N. 7. Article 279. 11 p.
- Torres-Rojo J. M. Índice para la estimación de ocurrencia de incendios forestales en superficies extensas (Index for the estimation of the occurrence of forest fires in large areas) // Revista Chapingo. Ser. Ciencias Forestales y del Ambiente. 2020. V. 26. N. 3. P. 315–331.

*Viegas D., Bovio G., Ferreira A., Nosenzo A., Sol B. Comparative study of various methods of fire danger evaluation in Southern Europe // Int. J. Wildland Fire. 1999. V. 9. Iss. 4. P. 235–246.*

*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. V. 11. N. 5. Article 516. 18 p.*

## **COMPARATIVE ESTIMATION OF THE QUALITY OF FIRE DANGER INDEXES IN FORESTS**

**R. V. Kotelnikov, A. N. Chugaev**

*The Center of Forest Pyrology, Development of Forest Ecosystem Conservation, Forest Protection and Regeneration Technologies – Branch of the All-Russian Scientific-Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry Krupskaya str., 42, Krasnoyarsk, 660062 Russian Federation*

---

E-mail: center@firescience.ru, chugaevaa@firescience.ru

Weather conditions are one of the important factors, which affects forest fire danger. Taking into consideration different methodical approaches (in particular, to accounting for precipitation) and differences between forestry and natural climatic conditions, also different density the weather stations, the values calculated according by these methods differ significantly in different forest areas. In order to correctly estimate the methods quality and correctly interpret the results which were obtained, it was developed special toolkit allowing to do the necessary preliminary processing and data visualization in the form of an interactive panel. Existing approaches were based on linear Pearson's correlation coefficient. At the same time this criterion can be applicable in case when the source data are distributed according to normal distribution law. ISDM-Rosleskhoz formed Big Data, which show it is not true. The new approach differs in that the source data are previously transform logarithm method, which increases accuracy of the obtained estimations. The developed toolkit allowed to conduct comparative analysis of the main methods, which are used in Russia. Method of humidity indicator taking into account hygroscopicity (PVG) shows the best results – (30 %), method of humidity indicator 2 (PV-2) is in the second place (26 %), method of humidity indicator 1 (PV-1) is located in the third place (20 %), Nesterov's method is in the last place (13 %). The number of forest fires doesn't allow to obtain reliable result in the other area (11 %). The prepared interactive map by the authors in combination with a dynamic graph allows to visualize comparative results to the forest areas level, inside subjects of the Russian Federation thereby simplifying interpretation the obtain results. The total results can be used for improvement forest fire danger scales depending on weather conditions.

**Keywords:** *forest fire frequency, correlation, interactive panel.*

**How to cite:** *Kotelnikov R. V., Chugaev A. N. Comparative estimation of the quality of fire danger indexes in forests // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2023. N. 6. P. 32–38 (in Russian with English abstract and references).*