

Научная статья
УДК 630*43(571.53)
DOI: 10.37482/0536-1036-2024-1-114-125

Точка росы как основа оперативного показателя лесопожарной опасности

Е.В. Болданова, канд. экон. наук, доц.; ResearcherID: [AGE-0460-2022](https://orcid.org/0000-0001-9630-6917),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9630-6917>

Байкальский государственный университет, ул. Ленина, д. 11, г. Иркутск, Россия, 664003; boldanova@mail.ru

Поступила в редакцию 25.01.22 / Одобрена после рецензирования 28.04.22 / Принята к печати 30.04.22

Аннотация. Проблема предупреждения лесных пожаров и своевременной мобилизации средств тушения стоит особенно остро в Иркутской области, где леса занимают значительные площади. Использование классических индексов оценки лесной пожарной опасности не всегда дает точные результаты при оперативном планировании мероприятий по пожаротушению. Цель исследования – разработка простого и эффективного показателя для прогнозирования возникновения лесных пожаров. В качестве объекта исследования выбраны лесничества Иркутской области, наиболее сильно пострадавшие от лесных пожаров. Решен ряд задач, связанных с характеристикой адекватности существующих методов, разработан более точный и простой показатель для местных условий, определены алгоритм расчета и шкала оценки класса пожарной опасности. В качестве исходных данных использованы открытые сведения архивов метеорологических наблюдений, данные Информационной системы дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства РФ. Применены методы кластерного и корреляционно-регрессионного анализа. Выявлена зависимость числа лесных пожаров от погодных условий на малонаселенных территориях. Периодичность циклов количества и площадей лесных пожаров составляет 3–4 года. Рассмотрены разные вариации расчета накопленного дефицита точки росы для прогноза количества и площадей лесных пожаров. Наиболее тесная корреляционная зависимость выявлена для показателя, рассчитываемого за 10 дн. Проанализирован зарубежный опыт оценки лесопожарной опасности по условиям погоды, сделано предположение о возможности частичного использования австралийского индекса FFDI. При расчетах не получено удовлетворительного результата, поэтому в качестве показателя лесной пожарной опасности предложено применять накопленный дефицит точки росы за 10 дн. Количество лесных пожаров отражается квадратичной зависимостью от данного показателя. Разработана шкала для оценки пожароопасности, адаптированная к шкале по индексу Нестерова. Описана последовательность расчета в среде MS Office Excel, что делает предложенный показатель подходящим для практического применения в лесничествах Иркутской области. Накопленный дефицит точки росы за 10 дн. позволит уточнять состояние лесопожарной опасности по метеоусловиям в соответствии с разработанной шкалой с помощью описанного алгоритма и макроса для расчета в Excel.

Ключевые слова: лесные пожары, индекс Нестерова, дефицит точки росы, шкала оценки пожароопасности, FFDI, лесопожарная опасность, Иркутская область

Для цитирования: Болданова Е.В. Точка росы как основа оперативного показателя лесопожарной опасности // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 1. С. 114–125. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-1-114-125>

Original article

Dew Point as a Basis for the Operational Indicator of Forest Fire Danger

Elena V. Boldanova, Candidate of Economy, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AGE-0460-2022](https://orcid.org/0000-0001-9630-6917),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9630-6917>
Baikal State University, ul. Lenina, 11, Irkutsk, 664003, Russian Federation;
boldanova@mail.ru

Received on January 25, 2022 / Approved after reviewing on April 28, 2022 / Accepted on April 30, 2022

Abstract. The problem of preventing forest fires and timely mobilization of extinguishing agents is particularly acute in the Irkutsk Region, where forests cover considerable areas. The use of classical indices for assessing forest fire danger does not always provide accurate results in the operational planning of fire extinguishing measures. The aim of this study is to develop a simple and effective indicator for predicting the occurrence of forest fires. The forestries of the Irkutsk Region, which were most severely affected by forest fires, were chosen as the object of this study. In the course of the study, it has been necessary to solve a number of problems, such as assessing the adequacy of the existing methods, developing a more accurate and simple indicator for local conditions, establishing the algorithm for calculating and the scale for assessing the fire danger class. As the initial data, the publicly available data from the meteorological observations archives and the data from the Remote Monitoring Information System of the Federal Forestry Agency (ISDM-Rosleskhoz) have been used. The methods of cluster analysis and correlation and regression analysis have been applied. The dependence of the number of forest fires on weather conditions in sparsely populated areas has been revealed. The frequency of the cycles of the number and area of forest fires is 3–4 years. Various options for calculating the accumulated dew-point deficit for predicting the number and area of forest fires have been considered. The closest correlation has been found for the indicator calculated over 10 days. Foreign experience in assessing fire danger according to weather conditions having been analyzed, an assumption has been made about the potential partial use of the Australian FFDI index. In the calculations, a satisfactory result has not been achieved. Therefore, it has been proposed to use the accumulated dew-point deficit over 10 days as an indicator of forest fire danger. The number of forest fires is described through the quadratic dependence on this indicator. A scale for assessing fire danger, adapted to the scale based on the Nesterov index, has been developed. For practical use, the calculation algorithm in MS Office Excel has been described, which makes it possible to apply the proposed indicator in the forestries of the Irkutsk Region. The indicator based on the accumulated dew-point deficit over 10 days will make it possible to check the state of forest fire danger according to weather conditions in accordance with the developed scale using the described algorithm and the macro for calculation in MS Excel.

Keywords: forest fires, the Nesterov index, dew-point deficit, fire danger rating scale, FFDI, forest fire danger, the Irkutsk Region



For citation: Boldanova E.V. Dew Point as a Basis for the Operational Indicator of Forest Fire Danger. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2024, no. 1, pp. 114–125. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-1-114-125>

Введение

Для Иркутской области из года в год нарастает проблема лесных пожаров, неконтролируемого стихийного бедствия, пагубно отражающегося на экономике региона в целом и лесном комплексе в частности. В ближайшее десятилетие, согласно указу президента РФ, предстоит сократить площадь лесных пожаров в 2 раза по сравнению с уровнем 2021 г. Кроме того, к 2030 г. все лесные пожары должны ликвидироваться в течение первых суток. Для решения такой масштабной задачи необходимо использовать различные средства, в т. ч. показатели пожарной опасности для предупреждения лесных пожаров.

Возникновению пожаров способствуют разные факторы: климат, погода, влияющая на созревание лесных горючих материалов (ЛГМ), пирологические характеристики растительности, антропогенное воздействие [8, 9, 14]. В настоящем исследовании основное внимание было уделено погодным факторам.

Сопоставление метеорологических данных и сведений о лесных пожарах позволило разработать ряд показателей, таких как показатель В.Г. Нестерова [11], логарифмический показатель Г.П. Телицына [18], показатель влажности С.Н. Вонского [12], показатель влажности с учетом гигроскопичности мхов М.А. Софронова [14] и другие, основанные на усовершенствовании индекса Нестерова. Существует ряд источников, где предлагается использовать различные поправки к уже существующим показателям лесопожарной опасности с принятием во внимание сезона, состава растительности, скорости ветра, количества осадков [6, 10, 15, 16].

В зарубежной практике заслуживает внимания австралийский индекс пожарной опасности, представляющий собой экспоненциальную зависимость последней от влажности ЛГМ, относительной влажности воздуха, скорости ветра [22, 23]. В США национальная рейтинговая система пожарной опасности учитывает множество факторов, в т. ч. влагосодержание ЛГМ, скорость распространения огня, количество тепловой энергии при пожаре [21]. В Канаде рейтинговая система лесной пожарной опасности берет в расчет влажность ЛГМ, которая, в свою очередь, зависит от метеоусловий. Также учитываются антропогенный фактор и грозовая активность [26, 27]. Кроме использования данных метеослужб, для прогнозирования лесных пожаров все более широко применяются возможности геоинформационных систем [19, 20, 24].

Несмотря на большое количество исследований, посвященных прогнозированию лесных пожаров, разработанные методические подходы не лишены недостатков, при применении на практике вызывают ряд затруднений. Для российских условий это отсутствие всех необходимых для расчета данных и доступа сторонних пользователей к показателям Информационной системы дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз).

Цель исследования – разработка простого и эффективного показателя для прогнозирования лесных пожаров в лесах Иркутской области.

Задачи:

оценить возможности расчета существующих показателей пожароопасности в лесах, а также степень их точности;

на основе статистических данных найти более простой индекс пожароопасности для лесов Иркутской области;

предложить шкалу для оценки класса пожарной опасности и алгоритм определения индекса пожарной опасности в лесах Иркутской области.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступают лесничества Иркутской области. Регион является одним из крупнейших в России по площади лесов. Из года в год в области регистрируется значительное количество лесных пожаров, уничтожающих большие части лесных насаждений.

Предварительно сделан анализ влияния плотности населения на количество пожаров в лесах. Выбраны страны со схожими климатическими условиями и типами лесов – Россия, Канада и США. По данным мировой статистики, на этих территориях путем корреляционно-регрессионного анализа выявлена прямая зависимость между плотностью населения и числом лесных пожаров, а также обратная зависимость между плотностью населения и средней площадью лесных пожаров [2]. Полученные результаты позволяют сделать заключение, что на территориях с низкой плотностью населения возгорание в лесах в большей степени зависит от погодных условий.

В России на основе кластерного анализа по показателям горимости, площади лесов, плотности населения и развитости транспортной инфраструктуры выделено 3 группы регионов, близких по проблемам лесных пожаров [1]. Наиболее сложная обстановка с количеством и площадями лесных пожаров наблюдается в группе с низкой плотностью населения и транспортной инфраструктуры. С помощью спектрального анализа установлено, что число и площадь лесных пожаров не одинаковы каждый год, а имеют период в 3–4 года [5], это также дает основание предположить о значительном влиянии погодных условий на возникновение лесных пожаров на малозаселенных территориях.

Для разработки оперативного показателя пожарной опасности по условиям погоды для Иркутской области взяты Баяндаевское, Качугское и Казачинское лесничества, где наблюдается большое число лесных пожаров, а также Иркутское лесничество с высоким показателем горимости [3].

Разработка оперативного показателя осуществлена по метеорологическим данным, представленным на сайте https://rp5.ru/Погода_в_Иркутской_области, а также по сведениям о количестве и площадях лесных пожаров по лесничествам Иркутской области, полученным в системе ИСДМ-Рослесхоз.

При выборе прогностического фактора возникновения лесного пожара проанализированы показатели температуры воздуха, атмосферного давления, относительной влажности воздуха, количества осадков за сутки, в результате не найдено корреляционной связи с количеством и площадью лесных пожаров.

В ГОСТ Р 22.1.09–99 «Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров» указана необходимость использования индекса Нестерова для оценки степени пожарной опасности, поэтому решено обратиться к существующему индексу Нестерова для усовершенствования его в направлении повышения точности и простоты. Предложено вместо указанного индекса рассчитывать накопленный дефицит точки росы за 10, 15, 30 и 45 дн. Проведено сопоставление предложенных индексов с количеством и площадью крупных лесных пожаров за 2015–2016 гг. по лесничествам, прилегающим к г. Иркутску, с. Баяндаю, пос. Качугу и с. Казачинскому. Получены существенные показатели корреляционной связи, в среднем составляющие 0,75. Построены регрессионные модели, позволяющие прогнозировать количество и площадь лесных пожаров в зависимости от накопленного дефицита точки росы за различные периоды. Определены пороговые значения этого показателя для начала возгораний.

Проведено исследование по лесничествам Иркутской области, в которых наблюдались наибольшие количество и площадь лесных пожаров с 2012 по 2016 гг. В расчет были включены все пожары, от мелких до крупных. Выявлена наилучшая корреляционная зависимость числа и площади пожаров от накопленного дефицита точки росы за 10 дн.

Результаты исследования и их обсуждение

В соответствии с результатами для оперативной оценки лесной пожарной опасности по условиям погоды автором статьи предлагается использовать накопленный дефицит точки росы за 10 дн., °C [4]:

$$d_{10} = \sum_{i=1}^{10} (T_i - r_i),$$

где T – температура воздуха (°C) в 8:00 и 20:00 по местному времени; r – точка росы в 8:00 и 20:00 по местному времени (°C); i – число дней до расчета оценки.

Более высокая точность регрессионных моделей наблюдается для данных накопленного дефицита точки росы, полученных в 11:00 и 14:00, но для оперативных расчетов автором статьи предложено использовать данные, фиксируемые в 8:00 и 20:00. Выявлена квадратичная зависимость количества и площади пожаров от накопленного дефицита точки росы за 10 дн. по пос. Куйтуну в 2012 г., г. Иркутску в 2015 г., г. Нижнеудинску в 2014 г. [1]. Зависимость в большинстве случаев описывается квадратичной параболой с резким подъемом вверх при $d_{10} > 150$ °C. Коэффициент детерминации в среднем составляет 0,66, что свидетельствует об объяснении 66 % изменений количества или площадей пожаров влиянием вариации d_{10} . Сравнение зависимостей числа и площадей лесных пожаров от индекса Нестерова и накопленного дефицита точки росы по Иркутску в 2015 г. приведено на рис. 1.

Связь количества и площадей лесных пожаров от накопленного дефицита точки росы имеет вид квадратичной зависимости, что можно наблюдать по данным для Куйтунского и Нижнеудинского лесничеств (рис. 2).

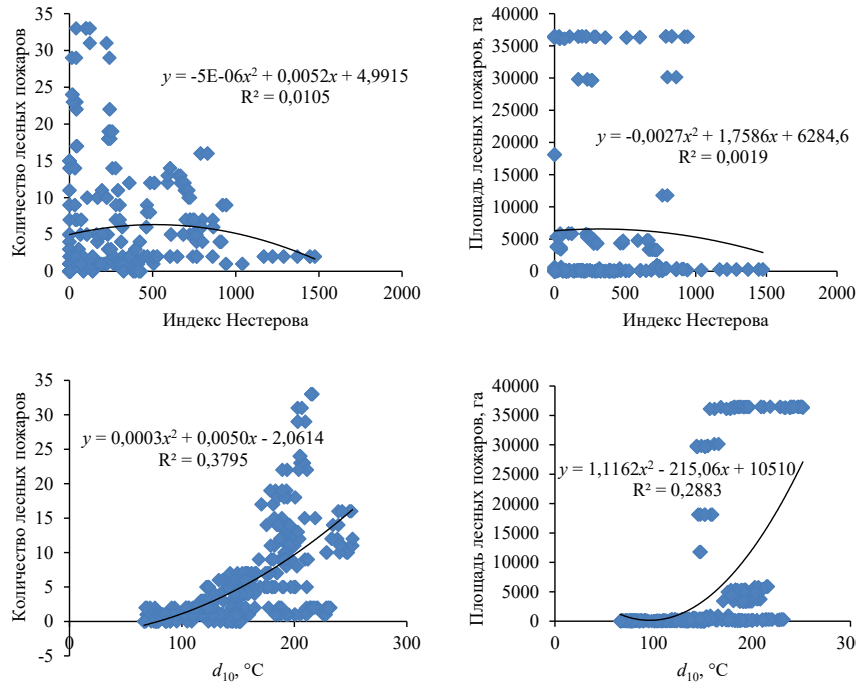


Рис. 1. Сравнение зависимостей числа и площадей лесных пожаров от индекса Нестерова и накопленного дефицита точки росы по Иркутску в 2015 г.

Fig. 1. Comparison of the dependencies of the number and area of forest fires on the Nesterov index and the accumulated dew-point deficit in Irkutsk in 2015

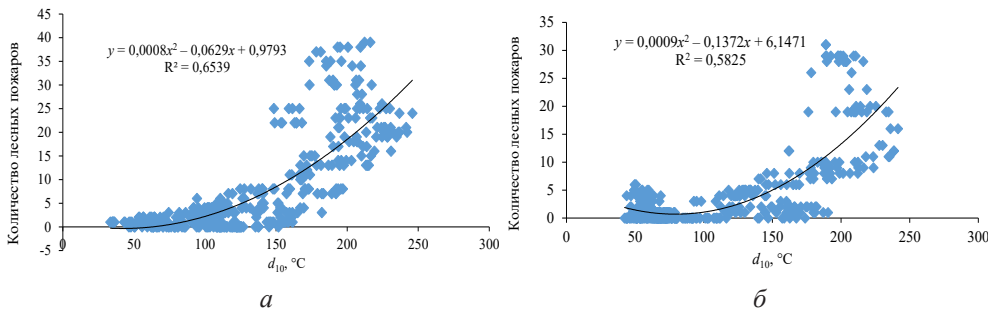


Рис. 2. Сравнение зависимостей числа лесных пожаров от накопленного дефицита точки росы по Нижнеудинску в 2014 г. (а) и Куйтуну в 2012 г. (б)

Fig. 2. Comparison of the dependencies of the number of forest fires on the accumulated dew-point deficit in Nizhneudinsk in 2014 (а) and in Kuitun in 2012 (б)

Из зарубежного опыта наиболее близок по используемым критериям индекс FFDI – ключевой инструмент для оценки лесопожарной опасности в Австралии [22, 23]. Канадская и североамериканская системы пожарной опасности многофакторные, строятся на использовании сети лесных пожарных метеостанций. Обязательным условием является измерение влажности ЛГМ, живых и отмерших. Для Иркутской области таких данных в открытом доступе нет. В австралийском индексе показатель ЛГМ также учитывается, остальные факторы относятся к метеоусловиям, определяемым и на российских метео-

станциях. Формула для расчета австралийского индекса лесной пожарной опасности выглядит следующим образом [22]:

$$\text{FFDI} = 2e^{(-0,45 + 0,987\ln(DF) - 0,0345RH + 0,0338T + 0,0234v)},$$

где DF – доступность топлива, фактор засухи; RH – относительная влажность, %; T – температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$) в 12:00 по местному времени; v – скорость ветра, км/ч.

Произведен расчет индекса FFDI без учета показателя DF , результаты оказались неудовлетворительными (рис. 3).

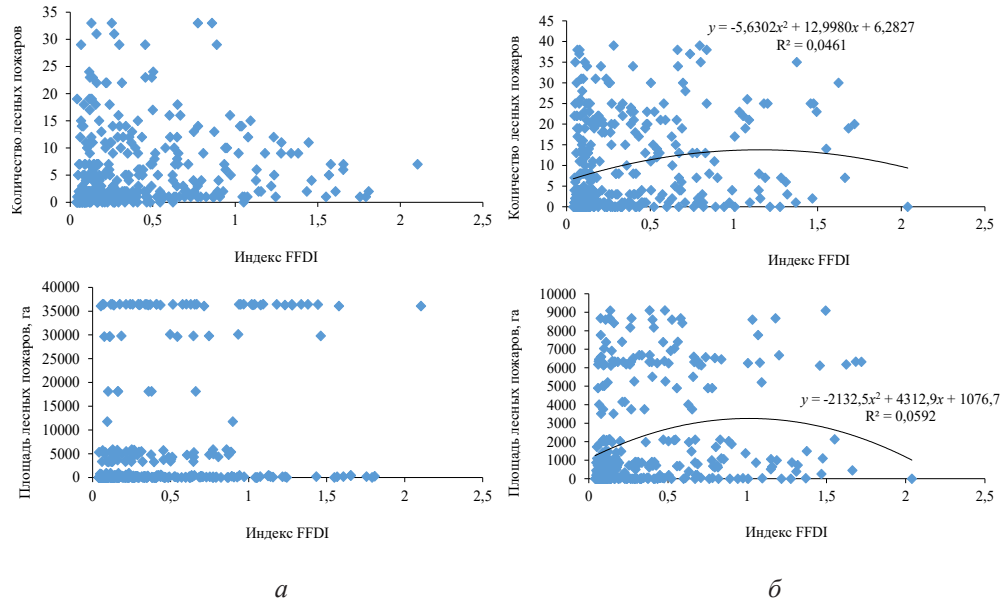


Рис. 3. Сравнение зависимостей числа и площадей лесных пожаров от индекса FFDI по Иркутску в 2015 г. (а) и Нижнеудинску в 2014 г. (б)

Fig. 3. Comparison of the dependencies of the number and area of forest fires on FFDI in Irkutsk in 2015 (а) and in Nizhneudinsk in 2014 (б)

Адаптация индекса FFDI для местных условий не дает удовлетворительного результата, коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,22-0,23$. Есть предположение, что в данном расчете важен отсутствующий коэффициент засухи (DF), который зависит от времени, прошедшего с момента последнего дождя, количества выпавших осадков и сухости почвы [25]. Отмечается, что зависимость FFDI от фактора засухи в уравнении очень близка к линейной [25]. Идея использовать простой индекс пожароопасности не нова. В основе решения – создание некоторого суррогата для оценки влажности ЛГМ. В частности, J. Sharples et al. [25] были рассмотрены австралийские, канадские, североамериканские индексы, которые в большинстве учитывали температуру, относительную влажность и скорость ветра. Для косвенной оценки влажности топлива использовались зависимости от температуры и относительной влажности воздуха. В нашем случае роль косвенного показателя влажности ЛГМ выполняет накопленный дефицит точки росы.

На основании полученных данных предложена шкала пожароопасности по показателю накопленного дефицита точки росы за 10 дн., адаптированная под существующую шкалу по индексу Нестерова (см. таблицу). Также разработан алгоритм расчета накопленного дефицита точки росы за 10 дн.

Шкала пожароопасности лесов по накопленному дефициту точки росы за 10 дн.
Forest fire danger rating scale based on the accumulated dew-point deficit over 10 days

Класс пожароопасности	Накопленный дефицит точки росы за 10 дн.	Пожарная опасность
I	до 50	Низкая
II	от 51 до 100	Ниже среднего
III	от 101 до 150	Средняя
IV	от 151 до 200	Высокая
V	свыше 200	Чрезвычайная

На основе приведенной шкалы становится возможным оценить класс пожароопасности. Для этого необходимо выполнить определенный алгоритм по обработке данных. Он применим на основе использования пакета MS Excel и доступа в интернет. Алгоритм следующий:

1. Определить ближайшую к интересующему району метеостанцию. Получить архив данных за последние 10 дн. с сайта https://rp5.ru/Погода_в_Иркутской_области в формате .xls (Excel).

2. Открыть файл с данными в Excel. Добавить столбец Time. Извлечь время из столбца «Местное время в...» с помощью «=ПРАВСИМВ(RC[-29];5)» (должен быть включен соответствующий формат ссылок формул). Скопировать формулу до конца столбца.

3. Добавить расчет столбца дефицита точки росы (T-Td). В первую ячейку столбца внести соответствующую формулу, например «=RC[-29]-RC[-8]». Скопировать формулу до конца столбца.

4. Выделить строку с подписями столбцов. На вкладке «Данные» в «Сортировка и фильтр» выбрать «Фильтр».

5. В заголовке столбца Time в фильтре оставить только 08:00 и 20:00.

6. С помощью функции автосуммы провести расчет значений в столбце T-Td.

7. В ячейку под суммой вставить формулу «=ЕСЛИ(R[-1]C<51; "низкая"; ЕСЛИ(R[-1]C<101; "ниже среднего"; ЕСЛИ(R[-1]C<151; "средняя"; ЕСЛИ(R[-1]C<201; "высокая"; "чрезвычайная"))))».

Данный алгоритм может быть реализован в виде макроса. Например:

```
Sub Макрос1()
ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=0
Range("AD7").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "T-Td"
Range("AD8").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-28]-RC[-7]"
Range("AD8").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("AD8:AD86")
Range("AD8:AD86").Select
Range("AE7").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Time"
```



```

Range("AE8").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RIGHT(RC[-30],5)"
Range("AE8").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("AE8:AE86")
Range("AE8:AE86").Select
Range("AE7").Select
Selection.AutoFilter
Selection.AutoFilter
Rows("7:7").Select
Selection.AutoFilter
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=3
Range("AE7").Select
ActiveSheet.Range("$A$7:$AE$86").AutoFilter Field:=31,
Criteria1:="=08:00"
, Operator:=xlOr, Criteria2:="=20:00"
Range("AD87").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=SUBTOTAL(9,R[-79]C:R[-1]C)"
Range("AD88").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 =
"=IF(R[-1]C<51, ""низкая"", IF(R[-1]C<101, ""ниже среднего"", IF(R[-1]
C<151, ""средняя"", IF(R[-1]C<201, ""высокая"", ""чрезвычайная"")))"
Range("AD89").Select
End Sub

```

Предлагаемый показатель является еще одним инструментом для предупреждения возникновения пожаров. Ни один из показателей и мониторинговых систем не даст полного соответствия действительности, но в совокупности они повышают общую точность прогнозов возникновения пожаров в лесу. Пожар легче предупредить, чем потушить. Вопросы борьбы с лесными пожарами, их экологические последствия рассматривались разными авторами, в т. ч. Д.А. Ивановой [7], Г.Д. Русецкой и О.И. Горбуновой [13], А.П. Суходоловым с соавторами [17].

Заключение

Предложено использовать накопленный дефицит точки росы в 8:00 и 20:00 для оперативных расчетов в целях оценки лесопожарной опасности. Выявлена квадратичная зависимость количества и площади пожаров от накопленного дефицита точки росы за 10 дн. по пос. Куйтуну в 2012 г., г. Иркутску в 2015 г. и г. Нижнеудинску в 2014 г. Зависимость в большинстве случаев описывается квадратичной параболой с резким подъемом вверх в случае повышения накопленного дефицита точки росы за 10 дн. до значений более 150 °С. Коэффициент детерминации в среднем составляет 0,66, что свидетельствует об объяснении 66 % изменений количества или площади пожаров влиянием вариации накопленного дефицита точки росы за 10 дн.

На основании полученных данных разработана шкала пожароопасности лесов по накопленному дефициту точки росы за 10 дн., адаптированная под шкалу по индексу Нестерова. Предложен алгоритм расчета данного показателя.

Он может быть использован в лесничествах Иркутской области для более адекватного и быстрого определения класса пожарной опасности.

Дальнейшие исследования рекомендуется проводить с применением методов дистанционного зондирования, которые позволят получить дополнительную оперативную информацию о состоянии растительности, запасе влаги в листьях и почве. Пространственный анализ и мультитременные снимки дадут возможность более точного прогнозирования лесных пожаров. Совмещение данных дистанционного зондирования и наземных наблюдений должно иметь синергетический эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Болданова Е.В. Методические подходы к предсказанию возникновения лесных пожаров на примере Иркутской области // Евроазиатское сотрудничество: сб. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., Иркутск, 14–15 сент. 2017 г. Иркутск, 2017. С. 30–37.

Boldanova E.V. Methodological Approaches to Predicting Forest Fires by the Example of the Irkutsk Region. *Eurasian Cooperation: Materials of the International Scientific and Practical Conference (Irkutsk, September 14–15, 2017)*. Irkutsk, 2017, pp. 30–37. (In Russ.).

2. Болданова Е.В., Давыдова Г.В. Лесные пожары в России, Канаде, США: динамика, тенденции, факторы // Актуальные тенденции развития мировой экономики: сб. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., Иркутск, 15–16 марта 2016 г.: в 2 ч. Ч. 2. Иркутск, 2016. С. 12–20.

Boldanova E.V., Davydova G.V. Forest Fires in Russia, Canada, the United States: Dynamics, Trends, Factors. *Actual Trends in the Development of the World Economy: Materials of the International Scientific and Practical Conference (Irkutsk, March 15–16, 2016)*: in 2 parts. Irkutsk, 2016, part 2, pp. 12–20. (In Russ.).

3. Болданова Е.В., Давыдова Г.В. Влияние антропогенной нагрузки на возгорание лесов Иркутской области // Активизация интеллектуального и ресурсного потенциала регионов: новые вызовы для менеджмента компаний: сб. по материалам 2-й Всерос. конф., Иркутск, 19–20 мая 2016 г.: в 2 ч. Ч. 2. Иркутск, 2016. С. 55–59.

Boldanova E.V., Davydova G.V. Impact of Anthropogenic Load on Forest Fire of the Irkutsk Region. *Activation of Intellectual and Resource Potential of Regions: New Challenges for Company Management: Materials of the 2nd All-Russian Conference*: in 2 parts. Irkutsk, 2016, part 2, pp. 55–59. (In Russ.).

4. Болданова Е.В., Давыдова Г.В. Методические подходы к прогнозированию лесных пожаров Иркутской области // Активизация интеллектуального и ресурсного потенциала регионов: новые вызовы для менеджмента компаний: сб. по материалам 3-й Всерос. конф., Иркутск, 18 мая 2017 г. / науч. ред. С.В. Чупрова, Н.Н. Даниленко. Иркутск, 2017. С. 45–51.

Boldanova E.V., Davydova G.V. Methodological Approaches to Forecasting Forest Fires in Irkutsk Oblast. *Activation of Intellectual and Resource Potential of Regions: New Challenges for Company Management: Materials of the 3rd All-Russian Research Conference*. In S.V. Chuprov, N.N. Danilenko (eds.). Irkutsk, 2017, pp. 45–51. (In Russ.).

5. Давыдова Г.В., Болданова Е.В. Исследование динамики количества и площадей лесных пожаров в Иркутской области // *Global and Regional Research*. 2019. Т. 1, № 3. С. 241–246.

Davydova G.V., Boldanova E.V. Study of the Dynamics of the Number and Area of Forest Fires in the Irkutsk Region. *Global and Regional Research*, 2019, vol. 1, no. 3, pp. 241–246. (In Russ.).

6. Долгов А.А., Сумина Е.Н., Цомаева Д.С. Методология оценки лесопожарных рисков // Роль мелиорации и водного хозяйства в реализации национальных проектов:

материалы науч.-практ. конф., Москва, 10–14 апр. 2008 г. М.: Моск. гос. ун-т природо-обустройства, 2008. Ч. 1. С. 97–103.

Dolgov A.A., Sumina E.N., Tsomaeva D.S. Methodology for Assessing Forest Fire Risks. The Role of Land Reclamation and Water Management in the Implementation of National Projects: *Materials of the Scientific and Practical Conference*. Moscow, Moscow State University of Environmental Engineering, 2008, part 1, pp. 97–103. (In Russ.).

7. Иванова Д.А. К вопросу об экологических проблемах лесов Байкальского региона: экономический аспект // Изв. БГУ. 2019. Т. 29, № 1. С. 24–31.

Ivanova D.A. On the Issue of Ecological Problems of the Baikal Region Forests: an Economic Aspect. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta* = Bulletin of Baikal State University, 2019, vol. 29, no. 1, pp. 24–31. (In Russ.). [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2019.29\(1\).24-31](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2019.29(1).24-31)

8. Курбатский Н.П. Проблема лесных пожаров // Возникновение лесных пожаров. М.: Наука, 1964. С. 5–60.

Kurbatsky N.P. The Problem of Forest Fires. *The Occurrence of Forest Fires*. Moscow, Nauka Publ., 1964, pp. 5–60. (In Russ.).

9. Мелехов И.С. Лесоведение. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 408 с.

Melekhov I.S. *Forest Science*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 408 p. (In Russ.).

10. Методические указания по прогнозированию пожарной опасности в лесах по условиям погоды / сост. А.Л. Кац, В.А. Гусев, Т.А. Шабунина; Гидрометеорол. науч.-исслед. центр СССР. М.: Гидрометеоиздат. Моск. отд-ние, 1975. 16 с.

Kats A.L., Gusev V.L., Shabunina T.A. *Methodical Instructions on Forecasting of Fire Danger in the Woods under Weather Conditions*. Moscow, Gidrometeoizdat Publ., 1975. 16 p. (In Russ.).

11. Нестеров В.Г. Горимость леса и методы ее определения. М.: Гослесбумиздат, 1949. 76 с.

Nesterov V.G. *Combustibility of the Forest and Methods for its Determination*. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1949. 76 p. (In Russ.).

12. Определение природной пожарной опасности в лесу: метод. рекомендации / ЛенНИИЛХ; сост. С.М. Вонский и др. Л.: ЛенНИИЛХ, 1981. 52 с.

Vonsky S.N., Zhdanko V.A., Korbut V.I. *Estimating the Natural Fire Threat in a Forest*. Leningrad, LenNIILH Publ., 1981. 52 p. (In Russ.).

13. Русецкая Г.Д., Горбунова О.И. Реализация принципов устойчивого управления древесными ресурсами в лесах Иркутской области // Изв. БГУ. 2021. Т. 31, № 2. С. 248–261.

Rusetskaya G.D., Gorbunova O.I. Implementation of Sustainable Lumber Management Principles in Irkutsk Region. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta* = Bulletin of Baikal State University, 2021, vol. 31, no. 2, pp. 248–261. (In Russ.). [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2021.31\(2\).248-261](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2021.31(2).248-261)

14. Софронов М.А., Гольдаммер И.Г., Волокитина А.В., Софронова Т.М. Пожарная опасность в природных условиях. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачёва СО РАН, 2005. 322 с.

Sofronov M.A., Goldammer I.A., Volokitina A.V., Sofronova T.M. *Fire Danger in Natural Conditions*. Krasnoyarsk, Sukachev Institute of Forest SB RAS Publ., 2005. 322 p. (In Russ.).

15. Софронова Т.М., Волокитина А.В., Софронов М.А. Совершенствование оценки пожарной опасности по условиям погоды в горных лесах Южного Прибайкалья. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, Краснояр. пед. ун-т, 2007. 236 с.

Sofronova T.M., Volokitina A.V., Sofronov M.A. *Improvement of Fire Danger Rating According to Weather Conditions in Mountain Forests of the South Baikal Lake Basin*. Krasnoyarsk, Sukachev Institute of Forest SB RAS Publ., Krasnoyarsk Stated Pedagogical University named after V.P. Astafiev Publ., 2007. 236 p. (In Russ.).

16. Софронова Т.М., Волокитина А.В., Софронов М.А. Оценка пожарной опасности по условиям погоды в горных лесах Южного Прибайкалья // География и природ. ресурсы. 2008. № 2. С. 74–80.

Sofronova T.M., Volokitina A.V., Sofronov M.A. Assessing the Fire Hazard from Weather Conditions in Mountain Forests of the Southern Baikal Region. *Geography and Natural Resources*, 2008, no. 2, pp. 74–80. (In Russ.). <https://doi.org/10.1016/j.gnr.2008.06.009>

17. Суходолов А.П., Сорокина П.Г., Лебедева А.В. Математическая модель борьбы с лесными пожарами в Восточной Сибири (на примере Иркутской области): вычислительные эксперименты в среде Julia // Изв. БГУ. 2019. Т. 29, № 3. С. 349–358.

Sukhodolov A.P., Sorokina P.G., Lebedeva A.V. Mathematical Model of Fight against Forest Fires in Terms of Irkutsk Oblast: Computational Experiments in Terms of the Julia Language. *Isvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta* = Bulletin of Baikal State University, 2019, vol. 29, no. 3, pp. 349–358. (In Russ.). [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2019.29\(3\).349-358](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2019.29(3).349-358)

18. Телицын Г.П. Логарифмический показатель пожарной опасности для леса // Лесн. хоз-во. 1970. № 11. С. 58–59.

Telitsyn G.P. A Logarithmic Indicator of Forest Fire Danger. *Forestry*, 1970, no. 11, pp. 58–59. (In Russ.).

19. Castro R., Chuvieco E. Modeling Forest Fire Danger from Geographic Information Systems. *Geocarto International*, 1998, vol. 13, iss. 1, pp. 15–23. <https://doi.org/10.1080/10106049809354624>

20. Chuvieco E., Salas J. Mapping the Spatial Distribution of Forest Fire Danger Using GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1996, vol. 10, iss. 3, pp. 333–345. <https://doi.org/10.1080/02693799608902082>

21. Cohen J.D., Deeming J.E. *The National Fire-Danger Rating System: Basic Equations*: Gen. Tech. Rep. PSW-82. US Department of Agriculture, Forest Service, Berkeley, CA: Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, 1985. 16 p. <https://doi.org/10.2737/PSW-GTR-82>

22. Dowdy A.J., Mills G.A., Finkele K., de Groot W. *Australian Fire Weather as Represented by the McArthur Forest Fire Danger Index and the Canadian Forest Fire Weather Index*: Technical Report 10. Australia, Melbourne, The Centre for Australian Weather and Climate Research, 2009. 84 p.

23. Dowdy A.J., Mills G.A., Finkele K., de Groot W. Index Sensitivity Analysis Applied to the Canadian Forest Fire Weather Index and the McArthur Forest Fire Danger Index. *Meteorological Applications*, 2010, vol. 17, iss. 3, pp. 298–312. <https://doi.org/10.1002/met.170>

24. Sanabria L.A., Qin X., Li J., Cechet R.P., Lucas C. Spatial Interpolation of McArthur's Forest Fire Danger Index across Australia: Observational Study. *Environmental Modelling & Software*, 2013, vol. 50, pp. 37–50. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.08.012>

25. Sharples J.J., McRae R.H.D., Weber R.O., Gill A.M. A Simple Index for Assessing Fire Danger Rating. *Environmental Modelling & Software*, 2009, vol. 24, iss. 6, pp. 764–774. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.11.004>

26. Turner J.A., Lawson B.D. *Weather in the Canadian Forest Fire Danger Rating System: A User Guide to National Standards and Practices*. Canadian Forest Service Information Report BC-X-177, 1978. 40 p.

27. Wotton B.M. Interpreting and Using Outputs from the Canadian Forest Fire Danger Rating System in Research Applications. *Environmental and Ecological Statistics*, 2009, vol. 16, no. 2, pp. 107–131. <https://doi.org/10.1007/s10651-007-0084-2>

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest