

УДК (UDC) 004.048

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НОРМАЛИЗИРОВАННОГО ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА
НА ПОЖАРНУЮ ОБСТАНОВКУ В ПОЖАРООПАСНЫЙ ПЕРИОДASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF THE NORMALIZED VEGETATION INDEX
ON THE FIRE SITUATION IN THE FIRE-HAZARDOUS PERIODРыбаков А.В., Иванов Е.В., Дмитриев А.В., Борисов А.Е.
Rybakov A.V., Ivanov E.V., Dmitriev A.V., Borisov A.E.ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России» (Химки, Россия)
Civil Defense Academy EMERCOM of Russia (Khimki, Russian Federation)

Аннотация. В работе приведен анализ параметра, получаемого с помощью дистанционного зондирования планеты Земля, нормализованного вегетационного индекса (индекс NDVI). Приведены результаты оценки влияния индекса на возникновение пожаров на определенном участке местности. На примере статистических данных для Красноярского края получены значения индекса для двух периодов весеннего и летнего, а также оценено влияние значений индекса NDVI на изменение значения вероятности возникновения лесного пожара. Статистические данные по индексу были выбраны из «озера данных» МЧС России, данные собираются с 2014 года по настоящее время, а данные по термоточкам с 2012 года. Последствия после природных пожаров наносят значительный урон по лесничеству в России, да и по экологии в целом. Поэтому выделение заранее известных областей с высокой вероятностью возникновения природного пожара, не только позволит улучшить превентивные меры по предупреждению, но и даст возможность предотвратить большинство последствий. В данной статье рассматривается один из параметров, получаемый с помощью дистанционного зондирования Земли NDVI его изменения до и после рассматриваемого события (природного пожара).

Ключевые слова: индекс NDVI, нормализованный вегетационный индекс, пожароопасный период, параметры дистанционного зондирования.

Дата принятия к публикации: 25.11.2021
Дата публикации: 25.12.2021

Сведения об авторах:

Рыбаков Анатолий Валерьевич – начальник научно-исследовательского центра, ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России», e-mail: e.ivanov@amchs.ru

Иванов Евгений Вячеславович – начальник научно-исследовательского отдела (по проблемам ГО и ЧС), ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России», e-mail: e.ivanov@amchs.ru

Дмитриев Антон Викторович – научный сотрудник научно-исследовательского отдела (по проблемам ГО и ЧС), ФГБВОУ ВО «Академия гра-

Abstract. The paper presents an analysis of the parameter obtained by remote sensing of the planet Earth, the normalized vegetation index (NDVI index). The results of assessing the impact of the index on the occurrence of fires in a certain area are presented. Using the example of statistical data for the Krasnoyarsk Territory, the index values for two periods of spring and summer were obtained, and the influence of NDVI values on the change in the probability of a forest fire was estimated. Static data on the index were selected from the "data lake" of the Ministry of Emergency Situations of Russia, data is collected from 2014 to the present, and data on thermal points from 2012. The consequences after wildfires will cause significant damage to forestry in Russia, and to the environment as a whole. Therefore, the allocation of previously known areas with a high probability of a natural fire will not only improve preventive measures for prevention, but will also make it possible to prevent most of the consequences. This article considers one of the parameters obtained by remote sensing of the Earth NDVI of its change before and after the event in question (natural fire).

Keywords: NDVI index, normalized vegetation index, fire-hazardous period, remote sensing parameters.

Date of acceptance for publication: 25.11.2021
Date of publication: 25.12.2021

Authors' information:

Anatoly V. Rybakov - Head of the Research Center, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Academy of Civil Protection EMERCOM of Russia", e-mail: e.ivanov@amchs.ru

Evgeny V. Ivanov - Head of the Research Department (on Civil Defense and Emergency Situations), Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Academy of Civil Protection EMERCOM of Russia", e-mail: e.ivanov@amchs.ru

Anton V. Dmitriev - Researcher of the Research Department (on Problems of Civil Defense and Emergencies), Federal State Budgetary Educational Institu-

данской защиты МЧС России»,
e-mail: a.dmitriev@amchs.ru

Борисов Артем Евгеньевич – старший оператор научно-исследовательского отдела (по проблемам ГО и ЧС), ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России»,
e-mail: borisov.artem1@outlook.com

† tion of Higher Education "Academy of Civil Protection of the EMERCOM of Russia",
† e-mail: a.dmitriev@amchs.ru

† **Artem E. Borisov** - senior operator of the research department (on problems of civil defense and emergency situations), Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergencies of Russia",
† e-mail: borisov.artem1@outlook.com

1. Введение

Несмотря на принимаемые меры по совершенствованию способов и средств тушения природных пожаров в корне переломить ситуацию с ростом ущерба до настоящего времени в Российской Федерации не удастся. Так, по данным статистического сборника «Охрана окружающей среды» (официальное издание Федеральной службы государственной статистики), число природных пожаров составляет свыше 10 тысяч в год, а площадь земель, пройденных пожаром, увеличилась с 2015 по 2019 год почти в три раза и составила свыше 10 миллионов гектар [1]. При этом из проведенного анализа [2 - 4] следует, что зачастую, чем раньше приняты меры по локализации и ликвидации очага горения, тем меньший ущерб в конечном итоге нанесет природный пожар. В свою очередь данное обстоятельство выдвигает повышенные требования к системе выявления очагов пожаров и термоточек (термических аномалий). В настоящее время обнаружение возгораний успешно решается за счет применения технологий космического мониторинга [5]. Однако зачастую складывается ситуация, когда термоточка определена, но в связи с ее относительно низкой доступностью, превышением регламентов передачи информации, к моменту начала работ по локализации и ликвидации очага пожара ущерб от него уже значителен и дальнейшая ликвидация потребует больших усилий, чем, если бы обнаружение термоточки произошло на раннем этапе. С другой стороны, в случае если заранее будет известна информация о вероятности возникновения природного пожара на конкретном участке местности, то и ресурсы, затрачиваемые на получение и обработку данных системы космического мониторинга, могут

быть сосредоточены на угрожаемых участках. В настоящее время для оценки лесопожарной обстановки применяются многочисленные индексы пожарной опасности:

- комплексный показатель пожарной опасности (комплексный показатель Нестерова);
- индекс горимости;
- индекс засушливости KBDI (Keetch – Byram Drought Index);
- индекс опасности лесных пожаров МакАртура (FFDI) (Австралия);
- индекс пожарной опасности погоды Canadian Fire Weather Index (FWI) (Канада) [6].

При этом данные показатели определяются как функция от некоторых аргументов, где зависимость описывается в виде некоторого выражения. В свою очередь такой подход хоть и является детерминированным, то есть позволяющим учесть некоторую причинно-следственную связь между измеряемыми параметрами и количеством событий (возникновением очагов пожаров), но не вполне точно описывает вероятность возникновения очага пожара на конкретном участке местности. Таким образом, можно заключить, что большинство показателей, характеризующих лесопожарную обстановку, не дают количественную оценку вероятности возникновения пожара, кроме того, зачастую они не учитывают взаимосвязь между всеми составляющими, без которых возникновение пожара невозможно: характеристика горючего материала; метеорологические условия; наличие инициатора возгорания; географические условия. Более подробно анализ факторов, влияющих на вероятность возникновения природных пожаров, приведен в [7].

2. Метод

В то же время видится предпочтительным предложение инвариантной методики, которая бы учитывала особенности лесопожарной обстановки для каждого конкретного участка местности со схожими условиями по одному или нескольким факторам, влияющим на вероятность возникновения природного пожара. В работе [8] предлагается применять метод поиска ассоциативных связей и построение дерева решений. Суть метода заключается в том, что рассматривается конкретный участок местности и на основе анализа архивных данных о неблагоприятных событиях (возникновение очагов пожаров) делается вывод о вероятности возникновения природного пожара для рассматриваемого участка местности. Операция кластеризации позволяет локализовать участки местности, для которых условия пожарной опасности будут схожими. В свою очередь такая локализация позволит в дальнейшем формировать модели прогноза пожарной опасности для каждого такого кластера, что более предпочтительно, чем распространение одной модели на ничем не обоснованные по размерам участки местности. Кластеризация (или кластерный анализ) представляет из себя задачу обобщения разрозненных объектов в группы (кластеры). При этом объекты, обобщаемые в виде группы, обладают схожими свойствами, отличными от объектов, принадлежащих другим группам (кластерам) [9]. В качестве наиболее простого в реализации алгоритма, реализующего операцию кластеризации с удовлетворительной точностью, рассматривается алгоритм k -средних, также называемый быстрым кластерным анализом, который относится к типу плоских алгоритмов [10]. Метод k -средних сводится к тому, что для определенного участка пространства минимизируется суммарное квадратичное отклонение точек кластеров от центров этих кластеров (1).

$$V = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S_i} (x - \mu_i)^2, \quad (1)$$
 где k – число кластеров; S_i – полученные кластеры; $i = 1, 2, 3, \dots, k$; μ_i – центры масс всех векторов; x из кластера S_i .

Основная идея заключается в том, что на каждой итерации вычисляется центр масс для каждого кластера, полученного на предыдущем шаге, затем векторы разбиваются на кластеры вновь в соответствии с тем, какой из новых центров оказался ближе по выбранной метрике. Алгоритм завершается, когда на какой-то итерации не происходит изменения внутрикластерного расстояния. Это происходит за конечное число итераций, так как количество возможных разбиений конечного множества конечно, а на каждом шаге суммарное квадратичное отклонение V уменьшается, поэтому заикливание невозможно. В качестве исходных данных для проведения кластеризации используются данные о зафиксированных термоточках. Пример кластеризации для территории Московской области подробно рассмотрен в работе [11]. Затем для локализованного участка местности, со сходными параметрами пожарной обстановки определяется степень влияния различных параметров на степень пожарной опасности. Так, например, одним из наблюдаемых параметров (по значениям которого имеются статистические данные) является нормализованный относительный индекс растительности (индекс NDVI). В настоящей работе оценим влияние этого фактора на степень пожарной опасности, данные рассмотрим на примере Красноярского края. Индекс NDVI во всем мире используют для определения степени засушливости (как правило, применяется в области сельского хозяйства), что вызывает интерес к его использованию в качестве параметра, характеризующего характеристики лесных горючих материалов. Вычисление значений NDVI производится с помощью двух показателей, получаемых со спутников (инфракрасных камер), а именно, отношение видимого красного цвета к ближнему инфракрасному, измеряемых в разных диапазонах.

$$NDVI = ((IR - R) / (IR + R)), \quad (2)$$
 где IR – значения пикселей из инфракрасного канала; R – значения пикселей из красного канала.

В качестве агрегатора баз данных, содержащих сведения, в том числе и о значениях NDVI выступает «озеро данных» информа-

ционно-аналитического центра МЧС России, где по данному показателю собрана информация с 2014 по настоящее время. Алгоритм получения данных и построения на основе их графиков построен на применении следующих программных продуктов: SQLAlchemy, pandas, matplotlib. Началу работы пользователя с программой, предшествует подключение к внешней базе данных – «озеру данных». В строке подключения указываются аутентификационные данные, а также SQL-запрос на выборку. После этого данные сохраняются в переменной python в формате pandas dataframe. Таким образом, в программе агрегируются данные по термическим точкам, подпадающим под категорию «Лесной пожар, Природный пожар», и по индексу вегетации в точках, соответствующим ближайшим координатам сетки. Следует заметить, что координатная сетка NDVI хранится в БД с разрядностью в 2.5 градуса, измерения при этом проводятся раз в 10 дней, что несколько затрудняет возможность получения достоверных и точных математических моделей. Для построения графиков считается среднее значение NDVI по формуле, указанной ниже (3), и количество пожаров по каждому из месяцев года.

$$NDVI_{\text{ср.}} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n NDVI, \quad (3)$$

где n – число наблюдений.

Вывод соответствующих графиков пользователю, осуществляется с помощью библиотеки matplotlib (рис. 1).

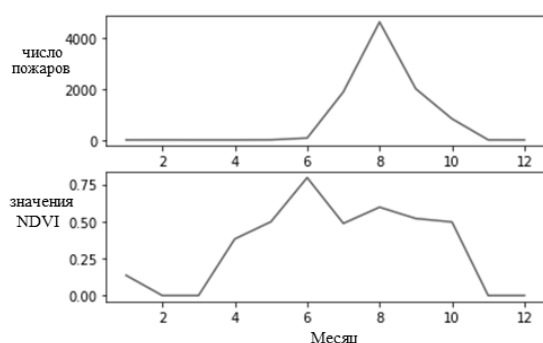


Рис. 1. Визуализация временных рядов количества природных пожаров и изменения значений NDVI (для рассматриваемого участка за 2014 год)

На верхнем графике показаны суммарное количество пожаров в интервале времени с

2014 до 2018 года, взятые на определенном участке местности, разбитые по месяцам года. На нижнем графике изображено среднее значение коэффициента вегетации NDVI. Следующий график (рис. 2) отображает изменения индекса вегетации для трех конкретных термоточек на протяжении месяца до возникновения пожара и через месяц после. Термоточка была зарегистрирована в весенний период. Вычисления проводились с помощью среды разработки jupyter и языков программирования python, SQL.

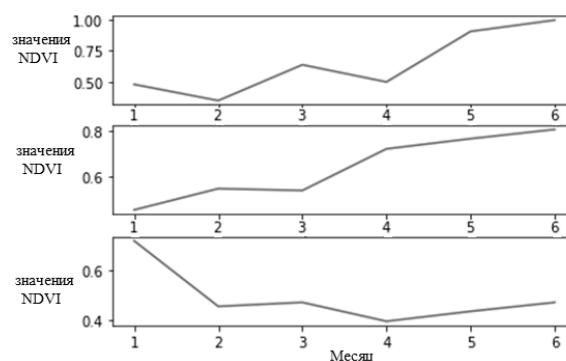


Рис. 2. График динамики изменения значений NDVI

На рисунке 3 представлена динамика изменения индекса вегетации для трех конкретных термоточек (зарегистрированных в летний период) на протяжении месяца до возникновения пожара и через месяц после.

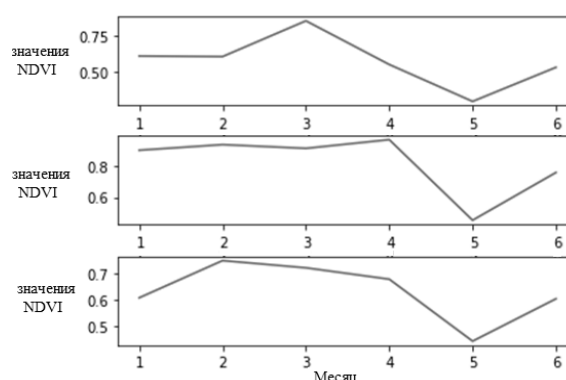


Рис. 3. График динамики изменения значений NDVI

На рис. 4 и 5 представлены графики изменения количества лесных пожаров, а также изменение индекса вегетации NDVI за 2015 и 2016 года.

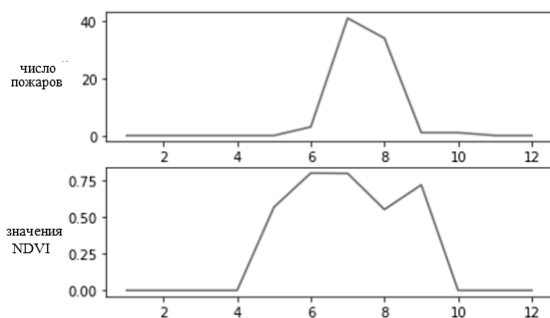


Рис. 4. Количество природных пожаров и соответствующие им значения NDVI для рассматриваемого участка за 2015 год

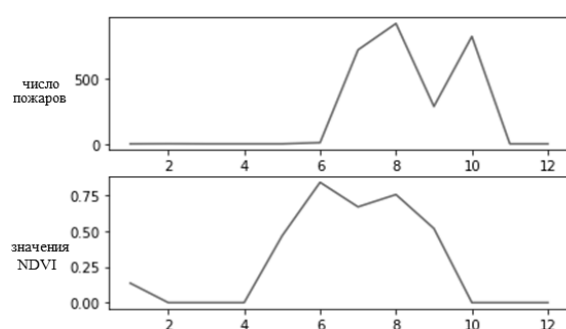


Рис. 5. Количество природных пожаров и соответствующие им значения NDVI для рассматриваемого участка за 2015 год.

Из представленных графиков динамики изменения значений NDVI видно, что есть

Список литературы

1. Охрана окружающей среды в России. 2020: Стат. сб. / Росстат. 0-92 М., 2020. 113 с.
2. Почитаев М.В., Иплаев М.Д. Повышение эффективности профилактики лесных пожаров // Вестник ПГТУ. 2014. №9(21). С.42-52.
3. Айриян А.И., Кочегаров А.В., Васильев А.А. Моделирование организации предупреждения лесных пожаров на территории Тамбовской области // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2017. №1. С.334-340.
4. Подрезов Ю.В. Особенности борьбы с лесными пожарами летом 2020 года // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2020. №5. С. 45-48.
5. Лобанов А.А. Геоинформационный

два пиковых значения, которые условно можно назвать весенне-летним и летним.

Таким образом, можно говорить о том, что перед возникновением природного пожара, для данного, конкретного участка местности, NDVI уменьшается: в весенне-летний период пороговым показателем является величина 0,5; в летний период пороговым показателем является величина 0,7. Данный показатель показывает зависимость индекса NDVI на возникновение пожаров.

3. Заключение

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что NDVI может применяться для создания инвариантной методики прогнозирования лесопожарной обстановки для каждого конкретного участка местности со схожими условиями по одному или нескольким факторам, в частности рассматриваемый индекс NDVI, как показывает анализ, оказывает влияние на вероятность возникновения природного пожара. Учет дополнительных наблюдаемых факторов позволит в дальнейшем улучшать модели прогнозирования и повышать достоверность оценки вероятности возникновения природных чрезвычайных ситуаций.

References

1. Environmental protection in Russia. 2020: Stat. sat. / Rosstat. 0-92 M., 2020. 113 p. (In Russian)
2. Pochitav M. V., M. D. IPView Improve the prevention of forest fires. *Vestnik PGTU*, 2014, No.9, pp. 42-52. (In Russian)
3. Yiran I.A., Stoker, A.V., Vasiliev A.A. Modeling the organization of prevention of forest fires on the territory of the Tambov region. *Problems of safety in emergency situations*, 2017, Vol. 1, pp. 334-340. (In Russian)
4. Podrezov Yu.V. Features of the fight against forest fires in the summer of 2020. *Problems of safety and emergency situations*, 2020, No. 5, pp. 45-48. (In Russian)
5. Lobanov A.A. Geoinformation monitoring of fires. *Educational resources and technologies*, 2015, No.2(10), pp. 119-126. (In Russian)

мониторинг пожаров // Образовательные ресурсы и технологии. 2015. №2 С. 119-126.

6. Губенко И.М., Рубинштейн К.Г. Сравнительный анализ методов расчета индексов пожарной опасности // Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2012. №347. С. 207-222.

7. Белоусов Р.Л., Вологдин В.А., Араштаев А.И., Трофлянин В.В. Анализ факторов природной пожарной опасности лесной территории республики Татарстан // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2018. №1. С. 69-81.

8. Костенчук М.И., Дрожжин Н.А., Белоусов Р.Л. Поиск закономерностей в оценке лесопожарной обстановки по погодным условиям. 2014. №2. С. 61-66.

9. Ершов К.С., Романова Т.Н. Анализ и классификация алгоритмов кластеризации // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2016. №19. С. 274-279.

10. Приходько А.С., Хмелевой С.В. Использование метода кластеризации средних для оптимизации отображения пространственных данных // Информатика и компьютерные технологии-2012 [Электронный ресурс] URL: <http://ea.donntu.org/handle/123456789/15398> (дата обращения 18.05. 2021 г.).

11. Мазаник А.И., Белоусов Р.Л., Дрожжин Н.А., Араштаев А.И. Пространственная группировка природных пожаров с помощью иерархической кластеризации данных // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2020. №2(45). С. 85-97.

Russian)

6. Gubenko I.M., Rubinstein K.G. Comparative analysis of methods for calculating fire hazard indices. *Proceedings of the Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation*, 2012, No. 347, pp. 207-222. (In Russian)

7. Belousov R.L., Vologdin V.A., Arashtaev A.I., Troflyanin V.V. Analysis of factors of natural fire danger of the forest territory of the Republic of Tatarstan. *Scientific and educational problems of civil protection*, 2018, No.1(36), pp. 69-81. (In Russian)

8. Kostenchuk M.I., Drozhzhin N.A., Belousov R.L. Search for patterns in the assessment of forest fire conditions by weather conditions. 2014, No.2, pp. 61-66. (In Russian)

9. Ershov K.S., Romanova T.N. Analysis and classification of clustering algorithms. *New information technologies in automated systems*, 2016, No.19, pp. 274-279. (In Russian)

10. Prikhodko A.S., Hop S.V. the use of the method of clustering k-means to optimize the display of spatial data. *Informatics and computer technologies-2012* [Electronic resource] URL: <http://ea.donntu.org/handle/123456789/15398> (accessed 18.05. 2021). (In Russian)

11. Mazanik A.I., Belousov R.L., Drozhzhin N.A., Parastaev A.I. Spatial grouping of wildfires with the help of hierarchical clustering of data. *Scientific and educational problems of civil protection*, 2020, No.2(45), pp. 85-97. (In Russian)