

УДК 630\*524.4

**А. А. Пушкин, Н. Я. Сидельник, С. В. Ковалевский**  
Белорусский государственный технологический университет

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ В ЛЕСАХ**

В статье показана возможность использования материалов космической съемки для оценки пожарной опасности в лесах. В качестве программной платформы для оценки пожарной опасности использовались геоинформационные системы с рядом дополнительных программных модулей. Для оценки лесной пожарной опасности предлагается рассчитывать такие спектральные индексы, как NDVI (EVI), NDWI и TVDI, и температуру поверхности по данным космической съемки. При этом необходимо вычислить средние значения данных индексов для всего объекта оценки лесной пожарной ситуации. Выполнялось сравнение средних значений данных индексов с их значениями по отдельным участкам и определение пожарной опасности для данных участков. Производилась интерполяция полученных значений классов пожарной опасности участков в пределах границ таксационных выделов (лесных кварталов). В результате им присваивался один преобладающий по площади класс пожарной опасности. Конечным продуктом является векторный полигональный слой классов пожарной опасности для каждого лесного выдела, содержащий в атрибутивной таблице таксационную характеристику насаждений и классы пожарной опасности, что позволит в дальнейшем проектировать противопожарные мероприятия для целей лесного хозяйства.

**Ключевые слова:** космическая съемка, Landsat 8, вегетационный индекс, лесная пожарная опасность, геоинформационная система.

**A. A. Pushkin, N. Ya. Sidelnik, S. V. Kovalevskiy**  
Belarusian State Technological University

### **THE USING OF THE SATELLITE IMAGERY FOR THE ASSESSMENT OF THE FOREST FIRE DANGER**

In the article are given the possibility of using satellite imagery of Landsat 8 for assessing forest fire danger. As a software platform for assessing the fire danger was used geographic information systems with a number of plugins. To assess the forest fire danger is suggested to calculate the spectral indices and surface temperature according to satellite imagery. It was calculated the following indices: the vegetation index NDVI (EVI), NDWI and TVDI. It is necessary to calculate the average value of the index for the whole object of evaluation of forest fire situation. It was made a comparison of mean values of data indexes with their values for individual sites and the definition of fire danger for these sites. It was produced by interpolation values obtained classes of fire danger areas within the boundaries of forest inventory subcompartment (forest compartment). As a result, they are assigned one dominant area fire rating class. The end product is a vector polygon layer classes of fire danger for every forest stands containing attribute table of the forest characteristics and classes of fire danger, which will allow to design the fire protection measures for the purposes of the forestry.

**Key words:** satellite imagery, Landsat 8, vegetation index, forest fire danger, geographic information system.

**Введение.** Лесные пожары являются серьезной проблемой для населения во всем мире, так как помимо прямого ущерба, включающего в себя человеческие жертвы, затраты на тушение и восстановление пострадавших территорий, стоимость выгоревшей древесины, нарушается экологический баланс на данной территории [1].

Проблема прогноза степени пожароопасности лесов в связи с природными (засуха, наземные гроззовые разряды) или антропогенными (умышленный поджог, халатное поведение лю-

дей в лесу, воздействие автомобильных и железных дорог и др.) факторами весьма актуальна [1].

В связи с этим важную роль играет своевременная и корректная оценка лесной пожарной опасности. Основу такой оценки составляют индексы лесной пожарной опасности – математические формулы, формализующие влияние осадков, температуры и влажности воздуха, влагосодержания лесных горючих материалов, деятельности человека, гроззовую активность и иные факторы и позволяющие прогнозировать

возможность возникновения пожаров на определенной территории [2].

**Основная часть.** Лесные пожары под воздействием множества условий распределяются по территории и во времени очень неравномерно. Условия, влияющие на возникновение и поведение пожара, можно подразделить на три основные группы: лесорастительные (постоянные), метеорологические (переменные), а также дополнительные (грозовая активность и антропогенная нагрузка) [3]. Воздействие этих условий выражается оценкой лесопожарной опасности.

В связи с этим существуют различные методы оценки пожарной опасности, в основе которых лежат:

– метеорологический подход, при котором учитываются наиболее значимые погодные условия: скорость ветра, солнечная радиация, температура воздуха и почвы, количество осадков, влажность воздуха (например, методики Н. П. Курбатского, В. Г. Нестерова [3–5]);

– использование детерминировано-вероятностных моделей, которые основаны на физико-химических законах горения, а также статистических данных [1, 3]. К настоящему времени создан и интенсивно развивается метод прогнозистического моделирования лесной пожарной опасности [1–3], который учитывает сценарий совместного появления антропогенной нагрузки и грозовой активности, свойства лесных горючих материалов, метеорологические условия по статистическим, экспериментальным данным и результатам численного моделирования;

– использование данных космической съемки, которые наиболее часто применяют так называемые «индексные» изображения для своей работы со спектральной информацией. На основе комбинации значений яркости в определенных каналах, информативных для выделения исследуемого объекта, и расчета по этим значениям «спектрального индекса» объекта строится изображение, соответствующее значению индекса в каждом пикселе, что и позволяет выделить исследуемый объект или оценить его состояние. Спектральные индексы, используемые для изучения и оценки состояния растительности, получили общепринятое название вегетационных индексов [6].

В настоящее время существует более 160 вариантов вегетационных индексов. Расчет большей части вегетационных индексов базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках кривой спектральной отражательной способности растений. Например, растительные индексы (индексы «зелености») рассчитываются по данным в широких спектральных зонах. Они суммируют и отражают влияние таких факторов, как содержание хло-

рофилла, площадь листовой поверхности, сомкнутость и структура растительного покрова (NDVI, EVI и др.) [6].

Существуют индексы, определяющие содержание углерода в виде лигнина и целлюлозы (например, PRSI), которые в больших количествах присутствуют в древесине и в мертвых или сухих растительных тканях. Увеличение этих показателей может отражать процесс «старения» и отмирания растений, что показывает на возможное увеличение сухих лесных горючих материалов.

Используются также индексы для оценки содержания влаги в растительном покрове (NDWI, NDII и др.). Высокое содержание влаги характерно для здоровой растительности, которая быстрее растет и более устойчива к пожарам.

Для расчета вегетационных индексов применяют данные космической съемки (Landsat 8, Terra Modis и др.), содержащие различные диапазоны, главными из которых являются красный (Red), синий (Blue), зеленый (Green), инфракрасные каналы (ближний (NIR) и ближний коротковолновый (SWIR)) и тепловые каналы (TIRS).

Основным преимуществом вегетационных индексов является легкость их получения строго по материалам космической съемки и широкий диапазон решаемых с их помощью задач. При проведении оценки пожарной опасности лесов на основании материалов космической съемки системы Landsat 8 определялись ключевые вегетационные индексы, связанные с растительностью (NDVI (EVI)), влажностью (NDWI) и температурой (TVDI) в геоинформационной системе [6].

Вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованная разность яркостей в красной ( $B_{RED}$ ) и ближней инфракрасной ( $B_{NIR}$ ) зонах космического снимка:

$$NDVI = \frac{B_{NIR} - B_{RED}}{B_{NIR} + B_{RED}}. \quad (1)$$

Индекс NDVI при расчете пожарной опасности лесов используется для анализа количества растительности (а значит, количества лесных горючих материалов). Чем выше значение индекса, тем больше растительности на исследуемой территории. Он имеет размах от 1 (интенсивная густая растительность) до –1 (угнетенные с точки зрения наличия хлорофилла поверхности – открытая почва, асфальт, бетон и т. д.).

В отличие от индекса NDVI, индекс EVI [6] позволяет выделить больше градаций в районах с высокой зеленой биомассой и имеет преимущества для мониторинга растительности,

поскольку влияние почвы и атмосферы в значениях данного индекса минимизировано. В этой связи при использовании материалов космической съемки, имеющей вышеперечисленные недостатки, следует рассчитывать индекс EVI (Enhanced Vegetation Index – улучшенный вегетационный индекс), который по своей значимости аналогичен NDVI. Для этого используется следующее уравнение:

$$EVI = 2,5 \cdot \frac{B_{NIR} - B_{RED}}{B_{NIR} + 6 \cdot B_{RED} - 7,5 \cdot B_{BLUE} + 1}, \quad (2)$$

где  $B_{NIR}$ ,  $B_{RED}$ ,  $B_{BLUE}$  – цифровые значения пикселей инфракрасного, красного и синего каналов космического снимка.

Индекс NDWI [3, 6] при оценке пожарной опасности применяется для определения наличия влаги в растительном покрове. Индекс NDWI (Normalized Difference Water Index – нормализованный разностный водный индекс) определяется как отношение разности и суммы коэффициентов поглощения  $B_{NIR}$  и  $B_{SWIR}$  каналов:

$$NDWI = \frac{B_{NIR} - B_{SWIR}}{B_{NIR} + B_{SWIR}}. \quad (3)$$

Существуют и другие индексы для определения степени обеспеченности растений водой, но большинство из них используют средний инфракрасный канал (MIR), поэтому их применение возможно только при использовании материалов космической съемки, имеющих этот канал, который отсутствует на космических снимках Landsat 8.

Расчет температуры поверхности необходим для определения возможности возгорания лесных горючих материалов, что, в свою очередь, является важным аспектом при оценке пожарной опасности лесов.

Космические методы определения поверхностной температуры основываются на применении тепловых каналов изображений со спутников NOAA AVHRR, Terra Modis, которые являются наиболее используемыми для данных целей. Но для целей лесного хозяйства они не всегда применимы из-за их низкого пространственного разрешения (500–1000 м), в отличие от снимков Landsat 8 (разрешение 100 м), которые являются более предпочтительными из-за того, что размеры выделов в лесном хозяйстве меньше разрешающей способности снимков Terra Modis и NOAA AVHRR. Это затруднит точное определение пожарной опасности для каждого выдела.

Температурно-вегетационный индекс TVDI – Temperature Vegetation Dryness Index (Sandhold, 2002) первоначально использовался для оценки

состояния влажности и температуры почвы и растительности:

$$TVDI = \frac{T_s - T_{Smin}}{T_{Smax} - T_{Smin}}, \quad (4)$$

где  $T_s$  – температура поверхности;  $T_{Smin}$  – минимальная температура поверхности;  $T_{Smax}$  – максимальная температура поверхности.

Пространственное распределение данного индекса представляет собой взаимосвязь температуры поверхности и индекса NDVI с широким диапазоном условий влажности. Исследования Goward и др. (1985) показали сильную обратно пропорциональную зависимость между температурой поверхности ( $T_s$ ,  $T_{Smin}$ ,  $T_{Smax}$ ) и индексом NDVI, что объясняется охлаждением при испарении влаги живой зеленой биомассы.

Определение лесной пожарной опасности предусматривает установление конкретных классов пожароопасности для отдельных участков земель лесного фонда при последовательном выполнении следующих этапов:

1) сравнение средних значений данных индексов с их значениями по отдельным участкам, полученным в результате классификации, и определение классов пожарной опасности данных участков;

2) объединение таблиц атрибутивных данных векторных индексов NDVI (EVI), NDWI, TVDI, которое выполняется с целью представления значений всех необходимых для определения пожарной опасности индексов в атрибутивной таблице данных одного векторного слоя;

3) расчет средних значений этих индексов, которые определяются как среднеарифметические величины для всего объекта оценки лесной пожарной ситуации в целом. После нахождения среднеарифметических значений необходимых вегетационных индексов производится сравнение полученных результатов с индексом каждого конкретного участка. Для этого вычисляется разность между среднеарифметическим значением соответствующего индекса и значением индекса конкретного участка;

4) интерполяция полученных значений классов. По найденным значениям разностей определяется конкретный класс пожарной опасности, который заносится в атрибутивную таблицу данных для каждого участка. Чаще всего значение класса пожарной опасности для каждого участка, выделенного на векторном слое в результате дешифрирования космического снимка, не совпадает с границами выдела (может включать несколько классов пожарной опасности). Поэтому более целесообразно провести интерполяцию полученных значений классов пожарной опасности в пределах границ лесных

выделов (кварталов) в зависимости от площади каждого класса пожарной опасности, которые приходятся на площадь выдела на основании космических снимков.

В итоге каждому выделу или лесному кварталу присваивается один преобладающий по площади класс пожарной опасности. Данная операция выполняется на основе базовых интерполяционных процедур используемой геоинформационной системы с применением исходных векторных картографических слоев, полученных в результате лесоустройства (выдел, квартал), а также векторного слоя с классами пожарной опасности объектов, полученных по результатам тематического дешифрирования.

Конечным информационным продуктом является векторный полигональный слой классов пожарной опасности для каждого лесного выдела, содержащий в атрибутивной таблице таксационную характеристику насаждений и классы пожарной опасности, что позволит в дальнейшем проектировать противопожарные мероприятия для целей лесного хозяйства.

**Заключение.** В настоящее время на территории лесного фонда применяется также космический способ мониторинга лесных пожаров с использованием белорусского космического

аппарата дистанционного зондирования Земли, позволяющего обеспечить получение данных о возникновении пожаров и их последствиях.

Использование материалов космической съемки при оценке пожарной опасности позволяет опосредованно учитывать как метеорологические факторы, так и характеристику лесных насаждений. При этом метеорологические факторы учитываются путем расчета специализированных индексов (нормализованной влажности, температурно-вегетационным) и температуры поверхности, а характеристика лесной растительности – в виде вегетационных индексов. Все анализируемые показатели получены, используя только материалы космической съемки. Это значительно упрощает сбор исходных данных.

Таким образом, разработанная методика позволяет интегрировано учитывать метеорологические факторы и характеристики лесных насаждений и создавать выделные (поквартальные) карты пожарной опасности лесных территорий.

Совместное использование данного подхода определения лесной пожарной опасности с существующей методикой может вывести оценку и прогнозирование пожарной опасности лесов на новый качественный уровень.

### Литература

1. Барановский Н. В. Математическое моделирование наиболее вероятных сценариев и условий возникновения лесных пожаров: дис. канд. физ.-мат. наук: 05.13.18 / ТГУ. Томск, 2007. 153 с.
2. 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.
3. Ходаков В. Е., Жарикова М. В. Лесные пожары: методы исследований. Херсон: Грин Д. С., 2011. 470 с.
4. Курбатский Н. П., Доррер Г. А., Дорогов Б. И. Расчет распределения источников пожаров в лесу // Лесное хозяйство. 1978. № 7. С. 76–78.
5. Кац А. Л., Гусев В. Л., Шабунина Т. А. Методические указания по прогнозированию пожарной опасности в лесах по условиям погоды. М.: Гидрометеоздат, 1975. 16 с.
6. Черепанов А. С., Дружинина Е. Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. 2009. № 3. С. 28–32.

### References

1. Baranovsky N. V. *Matematicheskoye modelirovaniye naiboleye veroyatnykh stsenariyev i usloviy voiniknoveniya lesnykh pozharov. Dis. kand. fiz.-mat. nauk* [Mathematical modeling of the most probable scenarios and conditions of forest fires. Cand. dis.]. Tomsk, 2007. 153 p.
2. Hubenko I. M., Rubinstein K. G. Comparative analysis of methods for calculating the indices of fire danger. *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra Rossiyskoy Federatsii* [Proceedings of the Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation], 2012, no. 347, pp. 207–222 (in Russian).
3. Hodakov V. E., Zharikova M. V. *Lesnyye pozhary: metody issledovaniy* [Forest fires: research methods]. Kherson, Green D. S. Publ., 2011. 470 p.
4. Kurbatsky N. P., Dorrer G. A., Dorogov B. I. Calculation of the distribution of sources of fires in the forest. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1978, no. 7, pp. 76–78 (in Russian).
5. Katz A. L., Gusev V. L., Shabunina T. A. *Metodicheskiye ukazaniya po prognozirovaniyu pozhar-noy opasnosti v lesakh po usloviyam pogody* [Methodological guidelines for predicting fire danger-of forests due to weather conditions]. Moscow, Gidrometeoizdat Publ., 1975. 16 p.

6. Cherepanov A. S., Druzhinina E. G. Spectral properties of plants and vegetation indices. *Geomatika* [Geomatics], 2009, no. 3, pp. 28–32 (in Russian).

#### **Информация об авторах**

**Пушкин Андрей Александрович** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: pushkin@belstu.by

**Сидельник Николай Ярославович** – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: sidelnik@belstu.by

**Ковалевский Сергей Владимирович** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kovalevsky@belstu.by

#### **Information about the authors**

**Pushkin Andrey Aleksandrovich** – Ph. D. Agriculture, assistant professor, assistant professor, Department of Forest Management. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: pushkin@belstu.by

**Sidelnik Nikolai Yaroslavovich** – Ph. D. Agriculture, senior lecturer, Department of Forest Management. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sidelnik@belstu.by

**Kovalevskiy Sergey Vladimirovich** – Ph. D. Agriculture, assistant professor, assistant professor, Department of Forest Management. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kovalevsky@belstu.by

*Поступила 16.02.2015*