



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2022-20-6-85-93>

Оригинальная статья / Original paper

УДК 004.021

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ КЛАССИФИКАЦИИ УРОВНЯ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ В ЛЕСАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

А.К. ЛАБОХА, А.Ю. ШАМЫНА, А.Д. АРДЯКО

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Поступила в редакцию 8 июня 2022

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

Аннотация. В статье предлагаются усовершенствования методики определения уровня пожарной опасности в лесах на основе прогнозных метеорологических и аэрокосмических данных. Проведен краткий анализ различных методик определения уровня пожарной опасности в лесах и используемых при этом наборов исходных параметров с целью определения оптимальных характеристик и свойств конечной методики для дальнейшего применения. Расчет оценки пожароопасности производится на основе базового показателя горимости по условиям погоды и корректирующих коэффициентов по значениям вегетационных индексов. Предложено разбиение вегетационных индексов по квартилям для относительной оценки растительности на рассматриваемой территории. Получены карты распределения лесных кварталов по классам пожарной опасности для территории Воложинского лесхоза согласно предложенной и иным методикам. Проведен сравнительный анализ численных и пространственных характеристик полученных оценок пожарной опасности в лесах по различным методикам. Согласно результатам оценки усовершенствованной методики, результаты ее применения коррелируют с оценкой согласно стандартизированной методике, позволяя скорректировать ее по результатам оценки растительности. Целесообразна верификация предложенной методики в пожароопасный период в реальных условиях с последующей оценкой результатов и доработкой в случае необходимости.

Ключевые слова: оценка опасности лесных пожаров, классы пожарной опасности, показатель горимости, аэрокосмические данные, вегетационные индексы.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Лабоха А.К., Шамына А.Ю., Ардяко А.Д. Совершенствование методики классификации уровня пожарной опасности в лесах с использованием метеорологических и аэрокосмических данных. Доклады БГУИР. 2022; 20(6): 85-93.

IMPROVEMENT OF THE CLASSIFICATION METHOD FOR THE FIRE HAZARD LEVEL IN FORESTS USING METEOROLOGICAL AND AEROSPACE DATA

ALEXANDER K. LABOKHA, ARTSIOM Yu. SHAMYNA, ALIAKSEI D. ARDYAKO

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 8 June 2022

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

Abstract. The article proposes improvements to the method for determining the fire hazard level in forests based on predictive meteorological and aerospace data. A brief analysis of various methods for the fire hazard level determining in forests and the sets of initial parameters used in this case was carried out in order to determine the final method's optimal characteristics and properties for further application. The calculation of the fire hazard assessment is based on the flammability basic indicator according to weather conditions and correction factors based on the vegetation indices values. Vegetation indices division into quartiles is proposed for a vegetation relative assessment in the territory under consideration. Maps of the forest blocks distribution by fire hazard classes for the Volozhinsky forestry enterprise territory were obtained according to the proposed and other methods. A comparative analysis of the numerical and spatial characteristics of the obtained assessments of forests fire hazard using various methods was carried out. According to the improved methodology assessment results, its application results correlate with the assessment according to the standardized methodology, but adjusted according to the vegetation assessment results. It is advisable to verify the proposed methodology during a fire hazard period in real conditions, followed by an assessment of the results and refinement if necessary.

Keywords: forest fire hazard assessment, fire hazard classes, fire rate, aerospace data, vegetation indices.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Labokha A.K., Shamina A.Yu., Ardyako A.D. Improvement of the Classification Method for the Fire Hazard Level in Forests Using Meteorological and Aerospace Data. Doklady BGUIR. 2022; 20(6): 85-93.

Введение

Классификация территории лесного фонда по классам пожарной опасности, описанная в госстандарте Республики Беларусь¹, позволяет производить регулярную оценку горимости лесов исключительно по условиям погоды и является основным подходом в Беларуси, однако имеет низкое пространственное разрешение и не учитывает оценку состояния растительности. В свою очередь, использование аэрокосмических снимков и вегетационных индексов на их основе позволяет учесть воздействие большего числа факторов, влияющих на пожароопасность лесов, а также повысить пространственную точность конечной оценки. Однако использование исключительно аэрокосмических данных не позволяет выполнять оценку пожароопасной обстановки регулярно и как минимум раз в сутки по причинам привязанности к интервалу съемки спутником и возможной потери данных на снимке ввиду высокой облачности. Соответственно, существует возможность совершенствования методики классификации уровня пожарной опасности в лесах в случае совместного применения оценки по условиям погоды и вегетационных индексов как показателей состояния растительности, что позволит выполнять регулярную оценку пожароопасности лесов вне зависимости от условий аэрокосмической съемки и детализировать ее для меньших территориальных единиц.

¹Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг аэрокосмический. Номенклатура контролируемых параметров чрезвычайных ситуаций: СТБ 1408-2003 (ГОСТ Р 22.1.04-96): [введен впервые: дата введения 01.01.2004]. – Изд. официальное. – Минск: Госстандарт, БелГИСС, печ. 2003. – III 9 с. – (Государственный стандарт Республики Беларусь).

Существующие методики оценки уровня пожарной опасности в лесах

Вопросы мониторинга и прогнозирования лесных пожаров в Беларуси регулируются госстандартом СТБ 1408-2003¹, который является модификацией стандарта Российской Федерации. Согласно стандарту комплексный показатель горимости леса по условиям погоды рассчитывается по комплексному показателю Н.А. Диченкова на основе числа сухих суток (осадков менее 2,6 мм) и разницы температур воздуха и точки росы, а класс пожарной опасности – по таблице по значению комплексного показателя и сумме осадков за 10 суток. Сейчас расчет комплексного показателя горимости производится раз в сутки на основе фактических погодных условий с 56 пунктов метеонаблюдений, неравномерно распределенных по 118 районам Республики Беларусь, из-за чего могут игнорироваться локальные аномалии погоды. Использование прогнозных данных различных метеорологических моделей позволяет решить проблему регулярности данных погодных условий и повысить их пространственное разрешение до 10–25 км в зависимости от модели.

На рис. 1 представлено распределение лесных кварталов Воложинского лесхоза по классам пожарной опасности по методике СТБ 1408-2003 (показателю Н.А. Диченкова); использовались метеоданные прогнозной модели ERA5 с пространственным разрешением 0,25°×0,25°. Территории соответствует 18 рассчитанных значений; при расчете по фактическим значениям показателя метеостанции Воложина были бы экстраполированы на всю территорию.

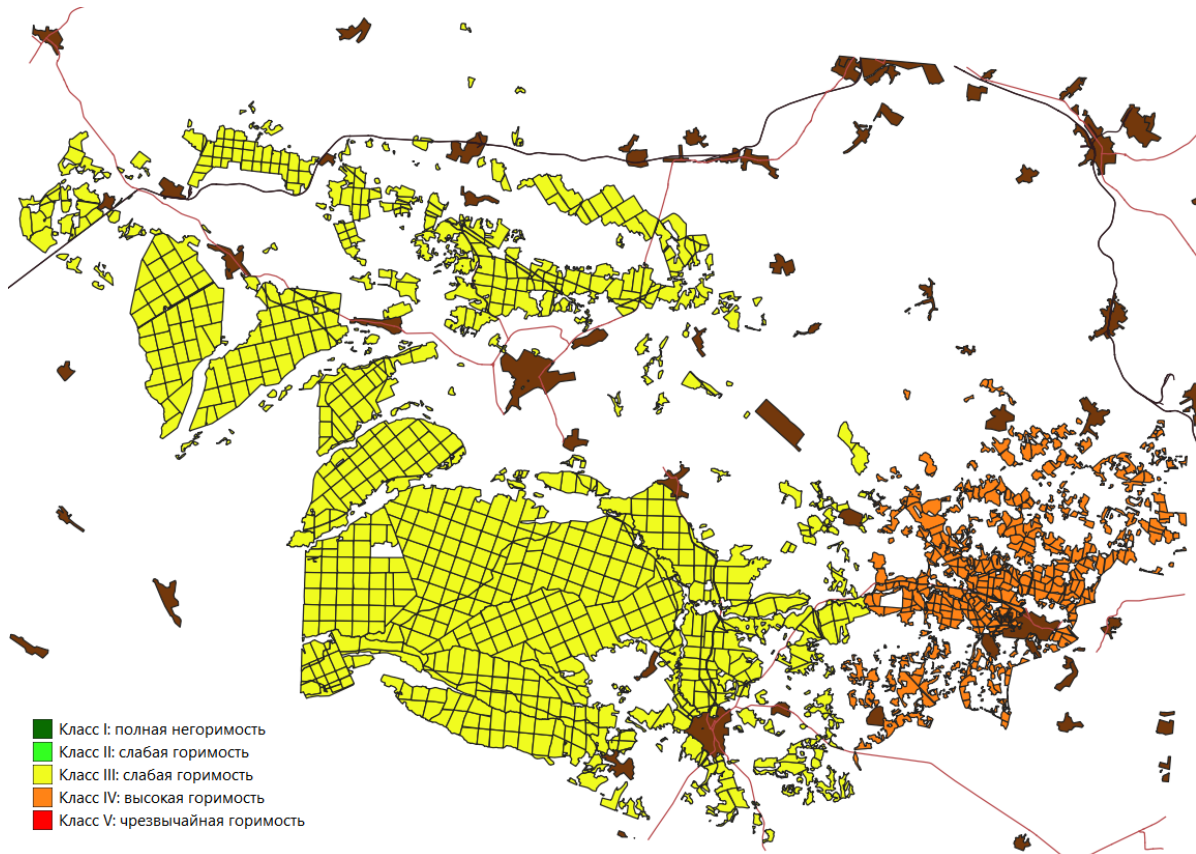


Рис. 1. Классы пожарной опасности лесных кварталов на 24.04.2019 г. по СТБ 1408-2003

Fig. 1. Fire hazard classes of forest quarters as of 24.04.2019 according to STB 1408-2003

Для оценки пожарной опасности по условиям погоды также можно использовать показатель Л.И. Сверловой [1], главное отличие которого от показателя Н.А. Диченкова – увязывание порога сбрасывания накопленного показателя с количеством выпавших осадков и учет скорости ветра. Можно сделать вывод, что оба показателя были выведены эмпирически и поэтому позволяют оценить уровень пожароопасности только на некотором приближении (пороговое число осадков для сброса показателя существенно влияет на конечную оценку).

Для определения уровня пожарной опасности в лесах также используются сведения об оценке состояния лесного фонда. В качестве примера можно привести Польшу, где согласно принятой методике (Rozporządzenie Ministra Środowiska № 1070 z dnia 13 lipca 2015 r.) степень риска лесных пожаров определяется на основании фактических измерений влажности, температуры воздуха, относительной влажности воздуха и количества осадков за последние сутки; число станций измерений показателей регламентировано в зависимости от пожарной категории лесов. Этот более комплексный подход со сбором данных непосредственно на территории лесного фонда, помимо апробации, требует значительных финансовых инвестиций. Поэтому для получения сведений о состоянии лесного фонда и последующей оценки уровня пожарной опасности в лесах возможно использовать дистанционные методы сбора данных.

Перспективным является применение аэрокосмических данных для мониторинга природных комплексов. Выполнение операций с различными спектральными каналами (диапазонами) снимков позволяет рассчитывать вегетационные индексы – показатели для оценки параметров растительности – и переходить к оценке качественных и количественных показателей зеленых насаждений. Большинство вегетационных индексов выведены эмпирически с учетом различий отражательной способности в зависимости от типа растительности и ее состояния [2]. Необходимо также учитывать существующие ограничения: нерегулярность выполнения снимков, искажения и потерю части данных в случае облачности.

Одной из первой масштабных работ в данном направлении была система ежедневного определения и прогнозирования уровня пожарной опасности для бореальных лесов Канады [3]. Для определения уровня пожарной опасности использовалась накопленная за сутки влага и три вегетационных параметра. В результате сравнения значений четырех показателей в пикселе со средним на исследуемой области каждый пиксель получал от 0 (низкий класс опасности) до 4 баллов (высокий класс опасности). Полученная система прошла верификацию определения уровня пожарной опасности: более 95 % зафиксированных пожаров произошли в областях с классом пожарной опасности от «умеренного» до «чрезвычайно высокого».

Попытка создания подобной системы были предприняты в Беларуси в 2014–2015 гг. командой А.А. Пушкина [4]. В ее основу был положен тот же принцип, что и в канадском исследовании: сравнительная оценка значений параметров на конкретном участке со средними по исследуемой территории. Конечная оценка от 0 до 4 баллов соответствует принятой в Беларуси пятиуровневой градации классов пожарной опасности.

Распределение лесных кварталов Воложинского лесхоза по классам пожарной опасности согласно методике А.А. Пушкина представлено на рис. 2. В настоящей работе в качестве источника снимков была использована спутниковая система Sentinel-2 с пространственным разрешением 20 м. Для получения индекса TVDI использовались данные спутниковой системы Sentinel-3, содержащей температурный датчик; их пространственное разрешение составляет всего 1 км, что незначительно снижает точность полученной оценки.

Анализ построенных карт с распределением по классам пожарной опасности на 24.04.2019 г., 10.06.2020 г. и 17.06.2020 г. показал, что в указанные даты кварталам были присвоены все возможные классы пожарной опасности. Выбор указанных дат обусловлен отсутствием значимой облачности на аэрокосмических снимках, а также различными уровнями пожарной опасности, определенными согласно методике по СТБ 1408-2003. На территории Воложинского лесхоза 24.04.2019 г. действовал запрет на посещение лесов, однако согласно полученной оценке в 476 кварталах из 998 (47,7 %) должен быть установлен низкий (I или II) класс пожарной опасности. Запрет на посещение лесов 10.06.2020 г. введен не был, однако согласно оценке по методике А.А. Пушкина для 128 кварталов (12,8 %) получен высокий (IV или V) класс пожарной опасности.

Можно сделать вывод, что в результате применения методики, предложенной А.А. Пушкиным, для произвольной территории и даты потенциально может быть получен любой класс пожарной опасности. Рассмотренная методика позволяет скорее оценить вегетационное состояние растительности лесных кварталов и может быть усовершенствована. Применение подобного подхода позволяет повысить пространственное разрешение и перейти от уровня лесхозов к лесничествам, лесным кварталам или выделам.

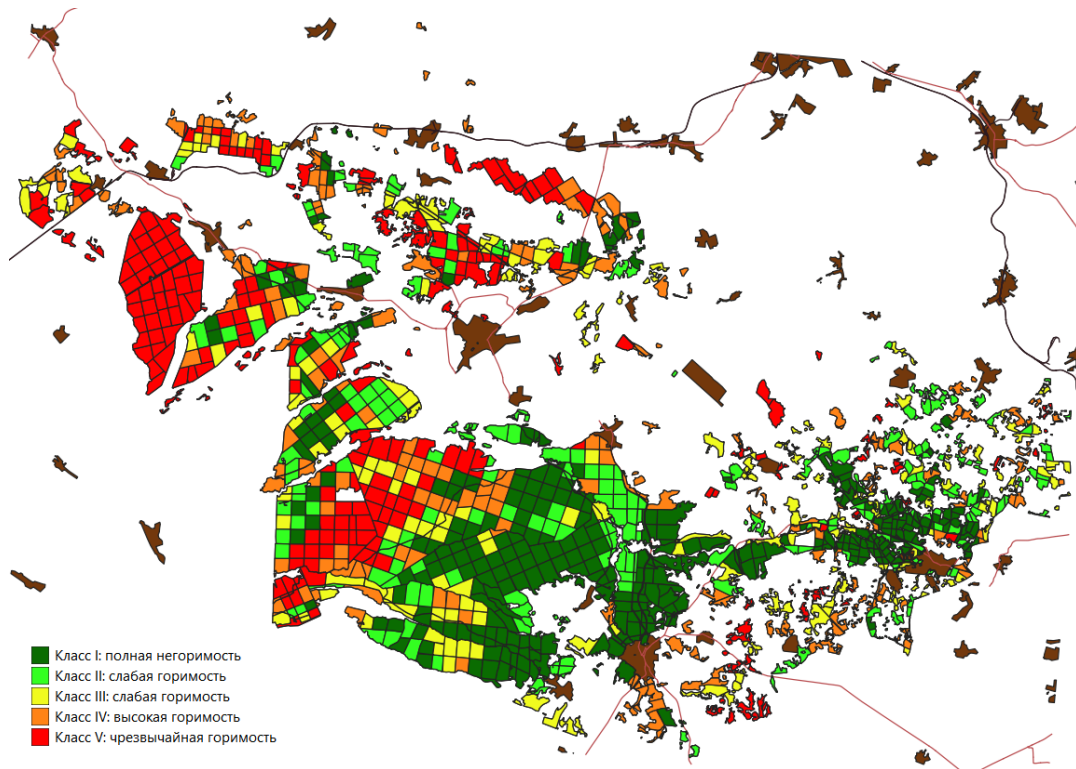


Рис. 2. Классы пожарной опасности лесных кварталов на 24.04.2019 г. по методике А.А. Пушкина
Fig. 2. Fire hazard classes of forest quarters as of 24.04.2019 according to A.A. Pushkin's method

Совершенствование системы оценки уровня пожарной опасности в лесах на основе метеорологических показателей и аэрокосмических снимков

Анализ результатов применения методики А.А. Пушкина показывает, что важен не только выбор отдельных параметров, но и каким образом они учитываются: путем анализа абсолютных значений либо их сравнения со средними значениями. Поскольку для большинства вегетационных индексов еще не получена таблица точного соответствия значений индекса фактическому состоянию растительности, отсутствует статистика изменений в зависимости от времени года и иных факторов, то определение уровня пожарной опасности по значениям вегетационных индексов потребует длительной верификации для доработки методики оценки. Поэтому в качестве базовой оценки уровня горимости насаждений было решено использовать оценку по условиям погоды на основе показателя Н.А. Диченкова¹, а ее корректировку выполнять с помощью сравнения значений вегетационных индексов.

Для более точного учета метеорологических показателей и в связи с отсутствием ограничений по использованию только целых значений классическая схема соответствия показателя Н.А. Диченкова классам горимости K_b была детализирована (табл. 1). В качестве базовой оценки по условиям погоды K_b также может быть использован комплексный показатель Сверловой [1] или предложен новый, однако это является предметом отдельного исследования.

Для корректировки базового показателя горимости были выбраны три вегетационных индекса, достаточно полно характеризующих группы факторов влияния на пожароопасность лесов согласно предшествующим исследованиям [3, 4]. Индекс наличия «сухого» углерода PSRI позволит определить количество сухой и отмирающей биомассы, которая является легковоспламеняющейся. Индекс сухости растительного покрова DMCI позволит оценить влажность поверхности, а нормализованный разностный водный индекс NDWI – влажность непосредственно растительности. Деление значений показателя относительно среднего, примененное в работах [3, 4], не учитывает степень различия со средним, уравнивая по весу значение, незначительно меньшее среднего, с близким к минимальному. Использование квартилей ($Q_1 = 0,25$, $Q_2 = 0,5$ и $Q_3 = 0,75$ квантили) для разбиения ряда значений показателя на четыре группы позволит не только сравнивать с медианой, но и учитывать степень

удаленности от нее, что дает возможность детализировать влияние состояния растительности в конечной оценке. В табл. 2 сопоставлены четверти, образуемые квартилями, с корректирующими коэффициентами для вегетационных индексов PSRI, DMCI и NDWI.

Таблица 1. Схема соответствия комплексного показателя базовому значению горимости
Table 1. Scheme of correspondence of the complex indicator to the basic value of the flammability

Комплексный показатель Complex indicator	< 250	< 350	< 450	< 550	< 700	< 1500	< 2700	< 4000	< 5700	< 7700	< 10000	< 12500	≥ 12500
Базовое значение горимости K_b Base value of burning K_b	1	$1\frac{1}{3}$	$1\frac{2}{3}$	2	$2\frac{1}{3}$	$2\frac{2}{3}$	3	$3\frac{1}{3}$	$3\frac{2}{3}$	4	$4\frac{1}{3}$	$4\frac{2}{3}$	5

Таблица 2. Корректирующие коэффициенты квартилей для вегетационных индексов
Table 2. Correction coefficients of quartiles for vegetation indices

	Квартиль Quartile	1	2	3	4
Корректирующий коэффициент K_i Corrective index	для индексов PSRI, DMCI for indexes PSRI, DMCI	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{2}$
	для индекса NDWI for index NDWI	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{6}$	$-\frac{1}{6}$	$-\frac{1}{2}$

В результате корректирующий коэффициент оценки вегетационного состояния растительности K_{veg} будет находиться в диапазоне $[-1,5, 1,5]$ и рассчитываться по формуле

$$K_{veg} = K_{PSRI} + K_{DMCI} + K_{NDWI}, \quad (1)$$

где K_{PSRI} , K_{DMCI} , K_{NDWI} – корректирующие коэффициенты индексов PSRI, DMCI и NDWI.

Суммарный показатель $K_{res} = K_b + K_{veg}$ является дробным с диапазоном, превышающим используемый в настоящее время в Беларуси диапазон классов горимости от 1 до 5. Поэтому итоговый класс горимости K_{fire} в случае выхода K_{res} за пределы диапазона $[1, 5]$ равен ближайшей границе диапазона. Обработка аэрокосмических снимков осуществлялась в геоинформационной системе QGIS 3.10, которая позволяет получить консольный код команд для дальнейшей полной или частичной автоматизации обработки снимков.

На рис. 3 представлено распределение лесных кварталов Воложинского лесхоза по классам пожарной опасности на 24 апреля 2019 г. по усовершенствованной методике, полученное с использованием снимков спутника Sentinel-2. При ее визуальном сравнении с картами пожарной опасности согласно методик СТБ 1408-2003 (рис. 1) и А.А. Пушкина (рис. 2) можно отметить корреляцию классов пожарной опасности, определенных по усовершенствованной методике, с классами горимости по другим методикам. Класс горимости по предложенной методике в подавляющем большинстве случаев равен либо является соседним к классу, определенному по методике СТБ 1408-2003. Изменение класса пожарной опасности в сторону большей либо меньшей горимости обусловлено учетом показателей вегетации. Корреляция результатов предложенной методики с методикой А.А. Пушкина обусловлена использованием для определения корректирующего коэффициента тех же вегетационных индексов, которые используются в показателе А.А. Пушкина. Подобные утверждения также справедливы для полученных карт оценки пожарной опасности в лесах на 10 и 17 июня 2020 г. Таким образом, визуальный анализ карт пожарной опасности подтверждает адекватность предложенного показателя и наличие взаимосвязей с существующими показателями.

Динамика изменения среднего уровня пожарной опасности в лесах на территории Воложинского лесхоза, определенная по различным методикам, приведена на рис. 4. Можно заметить, что средний уровень горимости по методике А.А. Пушкина в среднем равен 2,75 и не коррелирует с погодными условиями, которые используются в методике СТБ 1408-2003. В то же время средний уровень горимости по усовершенствованной методике, очевидно, коррелирует с методикой СТБ, что обусловлено применением по результатам оценки вегетации

как положительных, так и отрицательных коэффициентов для корректировки базовой оценки по условиям погоды. Значимые расхождения (до 0,5 класса) наблюдаются только при среднем уровне горимости около 1 либо 5, что объясняется невозможностью дальнейшей корректировки класса горимости за пределы используемого диапазона.

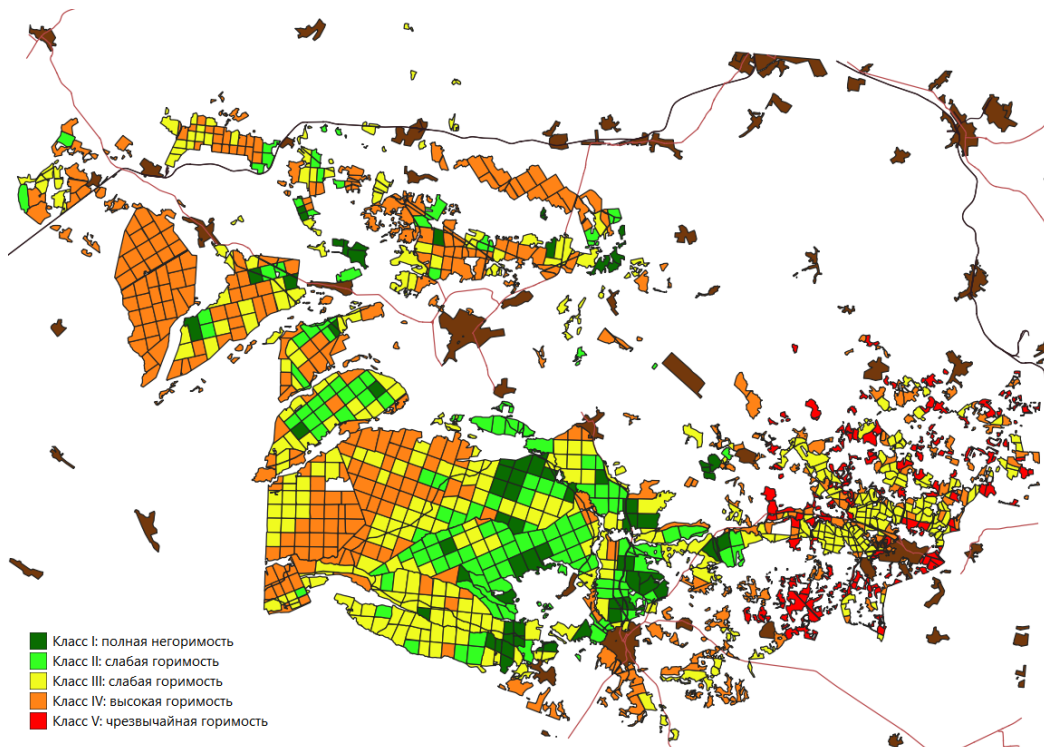


Рис. 3. Классы пожарной опасности лесных кварталов на 24.04.2019 г. по усовершенствованной методике
Fig. 3. Fire hazard classes of forest quarters as of 24.04.2019 according to the improved methodology

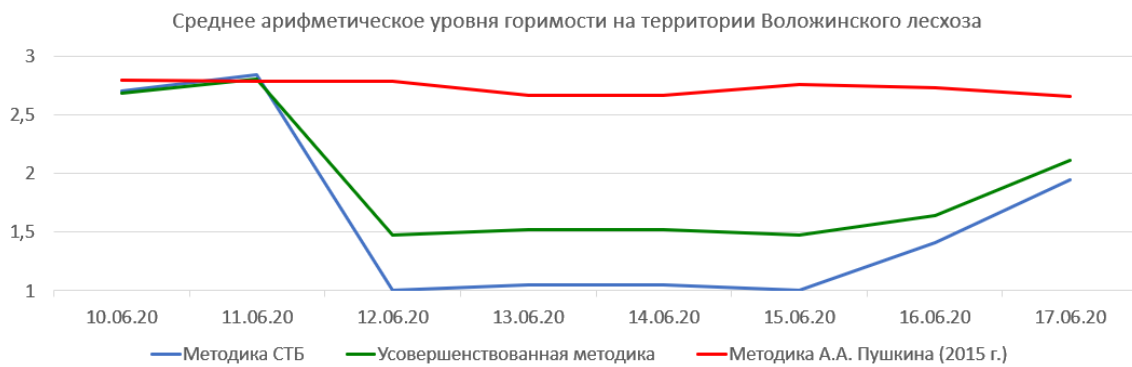


Рис. 4. Среднее арифметическое уровня горимости 10–17 июня 2020 г. по различным методикам
Fig. 4. Arithmetic mean of fire level on June 10-17, 2020 according to various methods

Был проведен анализ распределения лесных кварталов по классам пожарной опасности, его визуализация представлена на рис. 5. Показатель методики А.А. Пушкина позволяет выполнить оценку состояния растительности и сопутствующих показателей, но не подходит для использования в качестве оценки пожарной опасности в лесах с учетом существующей нормативной правовой базы. Распределение кварталов по классам горимости в результате применения усовершенствованной методики в целом соответствует распределению по действующему стандарту: часть кварталов была перераспределена в соседние классы пожарной опасности по результатам оценки вегетации. Таким образом, предложенный показатель сохраняет преимущество в определении уровня горимости лесов по условиям погоды, но при этом позволяет лучше стратифицировать кварталы в пределах лесничеств и обходов на основе оценки состояния растительности по вегетационным индексам. Это позволит оптимизировать проведение защитных мероприятий в лесах по предупреждению пожаров, маршруты обхода и патрулирования.

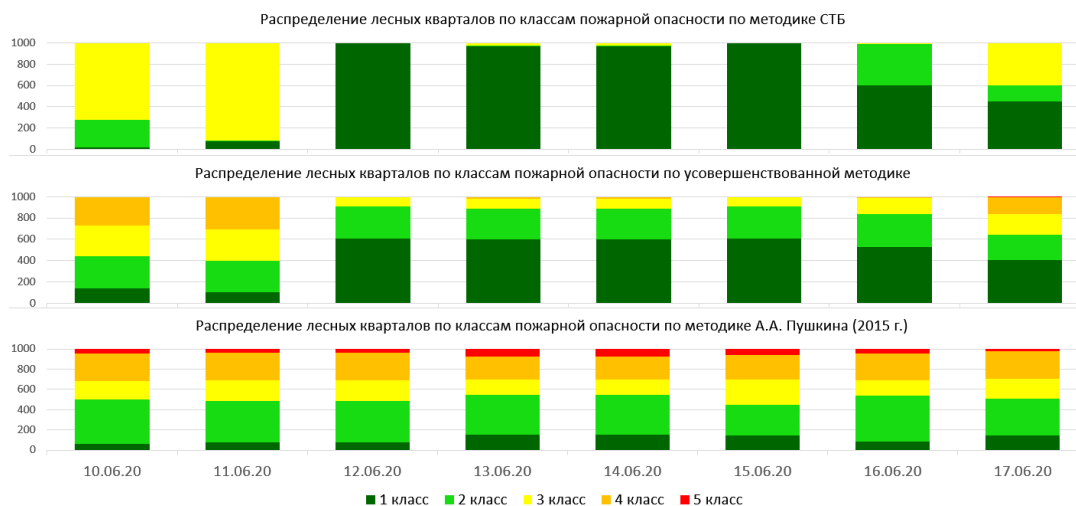


Рис. 5. Классификация пожароопасности лесных кварталов 10-17 июня 2020 г. по различным методикам
Fig. 5. Distribution of forest areas on June 10-17, 2020 by fire hazard classes according to various methods

Важно отметить, что применение методов замены участков снимка, содержащих облачность, является необходимым условием для построения качественной и эффективной системы регулярного мониторинга, использующей аэрокосмические снимки. Это обусловлено высоким процентом облачности: согласно статистике спутниковых снимков, процент облачных дней составляет до 60 % для территории Беларуси [5], а в 2019–2020 гг. из 402 снимков территории Воложинского лесхоза за пожароопасный период с марта по октябрь, выполненных спутниками Sentinel-2, только 97 снимков содержали на снимке не более 20 % облачности.

Заключение

Анализ существующих методик определения уровня пожарной опасности в лесах позволил предложить новый подход, совмещающий оценку пожарной опасности по условиям погоды с результатами сравнительного анализа состояния растительности. Проведенная верификация подтвердила адекватность предложенного показателя и возможность его использования для определения уровня пожарной опасности в лесах. Применение аэрокосмических данных позволяет повысить пространственную точность конечного результата и провести дополнительную классификацию объектов исследования на основе дополнительных факторов.

По результатам фактических наблюдений и верификации в пожароопасный период предложенная методика определения уровня пожарной опасности в лесах может быть скорректирована путем доработки используемых коэффициентов или разбиения по квантилям. Также методика может быть дополнена результатами оценки как других вегетационных индексов, так и метеорологических параметров, таких как влажность почвы. Именно методики классификации уровня пожарной опасности, включающие как оценку по метеорологическим показателям, так и оценку состояния растительности, являются наиболее перспективными.

Список литературы

1. Сверлова Л.И. *Метод оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды*. Хабаровск: Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Дальневосточный научно-исследовательский центр УГМС ДВ; 1998.
2. Черепанов А.С. Вегетационные индексы. *Геоматика*. 2011;2:98-102.
3. Chowdhury E.H.; Hassan Q.K. Development of a New Daily-Scale Forest Fire Danger Forecasting System Using Remote Sensing Data. *Remote Sens.* 2015;7:2431-2448. DOI: 10.3390/rs70302431.
4. Пушкин А.А., Сидельник Н.Я., Ковалевский С.В. Использование материалов космической съемки для оценки пожарной опасности в лесах. *Труды БГТУ*. 2015;1(174):36-40.
5. Delgado-Bonal A., Marshak A., Yang Y., Oreopoulos L. Cloud Height Daytime Variability From DSCOVR/EPIC and GOES-R/ABI Observations. *Frontiers in Remote Sensing*. 2022;3:780243. DOI: 10.3389/frsen.2022.780243.

References

1. Sverlova L.I. [Method for assessing fire hazard in forests by weather conditions]. Khabarovsk: Federal'naya sluzhba Rossii po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchej sredy. Dal'nevostochnyj nauchno-issledovatel'skij centr UGMS DV; 1998. (In Russ.)
2. Cherepanov A.S. [Vegetation indexes]. *Geomatika*. 2011;2:98-102. (In Russ.)
3. Chowdhury E.H.; Hassan Q.K. Development of a New Daily-Scale Forest Fire Danger Forecasting System Using Remote Sensing Data. *Remote Sens*. 2015;7:2431-2448. DOI: 10.3390/rs70302431.
4. Pushkin A.A., Sidel'nik N.YA., Kovalevskij S.V. [Use of space imagery materials for assessing fire hazard in forests]. *Trudy BGTU*. 2015;1(174):36-40. (In Russ.)
5. Delgado-Bonal A., Marshak A., Yang Y., Oreopoulos L. Cloud Height Daytime Variability From DSCOVR/EPIC and GOES-R/ABI Observations. *Frontiers in Remote Sensing*. 2022;3:780243. DOI: 10.3389/frsen.2022.780243.

Вклад авторов

Лабоха А.К. Лабоха А.К. предложил усовершенствования методики определения уровня пожарной опасности в лесах и осуществил их верификацию.

Шамына А.Ю. осуществил подготовку метеоданных и интеграцию их использования в существующее решение.

Ардяко А.Д. провел подготовку картографических материалов и принял участие в обобщении полученных результатов.

Authors' contribution

Labokha A.K. proposed improvements in the method for determining the fire hazard level in forests and carried out their verification.

Shamyna A.Yu. carried out the preparation of weather data and the integration of their use into the existing solution.

Ardyako A.D. prepared cartographic materials and took part in results summarizing.

Сведения об авторах

Лабоха А.К., магистр, ассистент Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Шамына А.Ю., м.т.н., старший преподаватель Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Ардяко А.Д., м.т.н., аспирант Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Information about the authors

Labokha A.K., M. Sci., Assistant at the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Shamyna A.Yu., M. Sci., Senior Lecturer at the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Ardyako A.D., M. Sci., Postgraduate at the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники;
тел. +375 17 293-84-63
email: labokha.poit@bsuir.by
Лабоха Александр Константинович

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovka St., 6,
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics;
tel. +375 17 293-84-63;
email: labokha.poit@bsuir.by
Labokha Alexander Konstantinovich