

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ О ПРИРОДНЫХ ПОЖАРАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Кравцов С.Л., Попова А.К., Маркова Д.С., Лепесевич Е.В., Решетник С.В.**

*Цель.* Достижение информационными системами о природных пожарах (ИСПП) Республики Беларусь и Российской Федерации современного уровня (как по степени автоматизации вычислений, так и по качеству представляемой информации) в ситуации уже изменившихся и ожидаемых погодных условий.

*Методы.* Качественно новый результат предлагается получить путем внедрения передовых технологий, основанных на обработке разнородных данных (наземных, спутниковых и т.д.) за длительный период времени, – подхода больших данных.

*Результаты.* Проведен анализ функционирующих в настоящее время ИСПП показавший, что существующие ИСПП Республики Беларусь и Российской Федерации, основанные на разработанных в 50-х гг. XX в. комплексных метеорологических показателях и созданные отдельно друг от друга без единого видения облика системы, осуществляют прогнозный мониторинг пожарной опасности на недостаточном для современных условий уровне, существенно уступая зарубежным аналогам.

Сформулированы предложения по совершенствованию ИСПП Республики Беларусь и Российской Федерации таким образом, чтобы они представляли собой комплексные системы, охватывающие полный цикл прогнозного мониторинга пожарной опасности: от предупреждения и подготовки к природным пожарам до анализа причиненного ими ущерба. Для более полного отражения картины пожарной опасности и учета особенностей изменившихся погодных условий предлагается перейти от комплексных метеорологических показателей Н.А. Диченкова (принят в Республике Беларусь) и В.Г. Нестерова (принят в Российской Федерации) к индексу пожарной опасности по метеорологическим условиям FWI (Fire Weather Index, FWI). Это также позволит гармонизировать оценку пожарной опасности на территории Республики Беларусь, Российской Федерации и прилегающих стран.

*Область применения исследований.* Изложенные предложения могут быть использованы при совершенствовании ИСПП Республики Беларусь и Российской Федерации.

*Ключевые слова:* природные пожары, информационная система, автоматизация вычислений, качество информации, изменение погодных условий.

(Поступила в редакцию 8 ноября 2022 г.)

### Введение

Были проанализированы следующие функционирующие ИСПП:

- Канадская система оценки опасности лесных пожаров CFFDRS (Canadian Forest Fire Danger Rating System, CFFDRS) – Канада (табл. 1);
- Европейская информационная система о лесных пожарах EFFIS (The European Forest Fire Information System, EFFIS) – Европейский союз;
- информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства Российской Федерации (ИСДМ-Рослесхоз) – Российская Федерация;
- ИСПП Республики Беларусь.

Все проанализированные ИСПП при оценке пожарной опасности исходят из следующих предположений: 1) рельеф местности: простой плоский; 2) растительный покров: однородный (для систем CFFDRS и EFFIS – насаждения зрелой сосны). Различия рельефа местности и растительного покрова учитываются лишь при прогнозе развития природных пожаров и оценке причиненного ими ущерба.

Все проанализированные ИСПП при оценке пожарной опасности используют данные с метеостанций. ИСПП Республики Беларусь основана на комплексном метеорологическом показателе Н.А. Диченкова (разработанном в 1970 г.), ИСПП Российской Федерации – на комплексном метеорологическом показателе В.Г. Нестерова (разработанном в 1949 г.). В результате: 1) поскольку указанные комплексные метеорологические показатели сочетают много эффектов, одно и то же их значение может быть достигнуто многими различными комбинациями факторов. Это указывает на невозможность раскрытия полной картины пожарной опасности в единственном показателе; 2) комплексные метеорологические показатели не учитывают влияние ветра и относительной влажности воздуха на влажность горючих материалов и скорость распространения природных пожаров; 3) после нескольких суток без осадков и с ростом температуры воздуха большая часть страны классифицируется как зона повышенной пожарной опасности, вследствие чего возможно введение ограничений доступа в лесные насаждения и требуются значительные ресурсы для мониторинга [1]. Пожарная опасность уменьшается только при выпадении осадков. Это значит, что в случае повышенной пожарной опасности комплексные метеорологические показатели не способны выявить аномалии во влажности горючих материалов, вероятности возгорания или в повышении потенциальной скорости распространения природных пожаров из-за сильных сухих ветров.

**Таблица 1. – Результаты сравнения информационных систем о природных пожарах**

Наименование системы	Составляющие информационных систем о природных пожарах		
	Оценка пожарной опасности	Прогноз развития природных пожаров	Оценка ущерба от природных пожаров
CFFDRS (Канада)	Индекс пожарной опасности по метеорологическим условиям FWI, содержащий 5 компонент: 1) код влажности верхнего слоя лесной подстилки, состоящего из мелких частиц FFMC (Fine Fuel Moisture Code, FFMC); 2) код влажности среднего слоя лесной подстилки, состоящего из лесного материала средних размеров DMC (Duff Moisture Code, DMC); 3) код засухи DC (Drought Code, DC); 4) индекс начального распространения ISI (Initial Spread Index, ISI); 5) индекс объединения BUI (Buildup Index, BUI)	Прогноз направления развития, размера и вида (верховой, низовой) природного пожара	Оценка распространения дыма от природных пожаров, площади выгоревших участков
	Лесная подстилка представлена тремя слоями (верхний слой глубиной 1–2 см, средний слой глубиной 5–10 см, нижний слой глубиной 10–20 см), на свойства которых влияют различные метеорологические факторы (включая продолжительность светлого времени суток). Соответствующие слоям компоненты индекса FWI (коды топлива FFMC, DMC и DC) характеризуются скоростью высыхания/увлажнения и раскрывают разные аспекты пожарной опасности. Разработаны 7 классов пожарной опасности. Все это позволило адекватно отразить такие изменения погодных условий, как потепление климата и волны тепла.  Единый мощный математический базис (десятки взаимосвязанных уравнений, откалиброванных по информации базы данных природных пожаров, включая тестовые)		Собственный математический базис
	Высокая степень автоматизации, например прогноз развития природных пожаров проводится в автоматическом режиме с использованием метеорологических данных, результатов вычисления компонент индекса и самого индекса FWI, а также предварительно подготовленных геопространственных данных (базы данных типов топлива). Обеспечено единое и постоянное научное сопровождение функционирования и совершенствования системы		

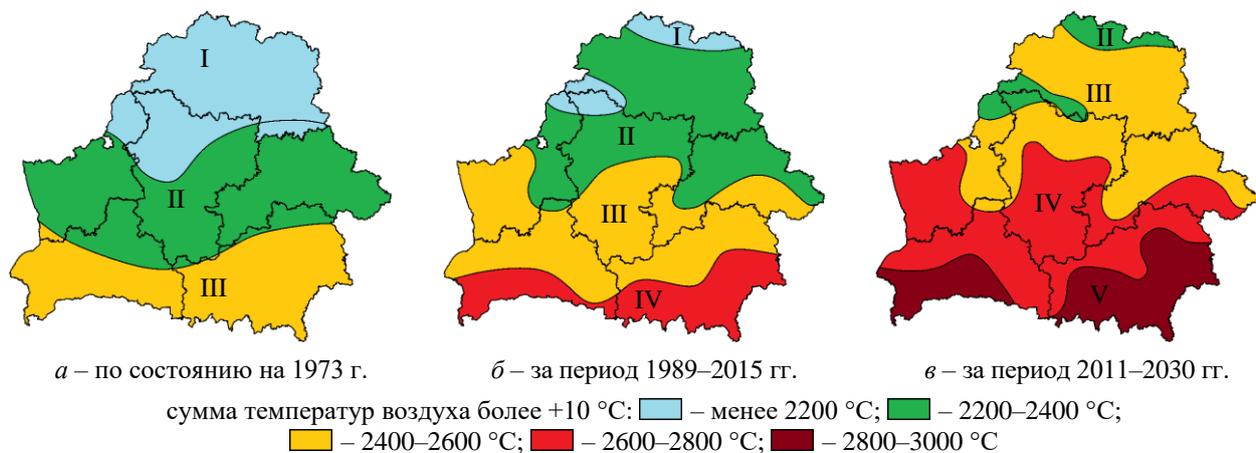
Продолжение таблицы 1

Наименование системы	Составляющие информационных систем о природных пожарах		
	Оценка пожарной опасности	Прогноз развития природных пожаров	Оценка ущерба от природных пожаров
EFFIS (Европейский союз)	Индекс пожарной опасности по метеорологическим условиям FWI, содержащий 5 компонент (как и в системе CFFDRS). Дополнительно 2 индекса, характеризующие экстремальность условий: 1) индекс экстремального прогноза EFI (Extreme Forecast Index, EFI); 2) индекс сдвига окончаний SOT (Shift of Tails, SOT)	Прогноз направления развития, а также размера природного пожара	Оценка площади выгоревших участков, выбросов в атмосферу, восстановления растительности, эрозии почвы
	Оценка пожарной опасности и прогноз развития природных пожаров проработаны, как и в системе CFFDRS. Дополнительно индексы EFI и SOT характеризуют локальную изменчивость – экстремальность (необычность), что улучшает адекватность отражения таких изменений погодных условий, как потепление климата и волны тепла		Собственный математический базис
	Высокая степень автоматизации, как и в системе CFFDRS		
ИСДМ-Рослесхоз (Российская Федерация)	Комплексный метеорологический показатель В.Г. Нестерова (единственный показатель – компоненты отсутствуют)	Прогноз направления развития, а также размера природного пожара	Оценка площади выгоревших участков
	Лесная подстилка представлена одним слоем, на который оказывает влияние весьма ограниченное количество метеорологических факторов. Разработаны 5 классов пожарной опасности. В результате учет таких изменений погодных условий, как потепление климата и волны тепла как минимум затруднен. Математический базис представляет собой одно уравнение	Адаптированная к российским условиям и имеющимся в ИСДМ-Рослесхоз данным модель развития природного пожара из системы CFFDRS	Собственный математический базис
	Высокая степень автоматизации, например оценка площади выгоревших участков проводится в автоматическом режиме по результатам идентификации «горячих» точек. Обеспечено единое и постоянное научное сопровождение функционирования и совершенствования системы		
ИСДМ-Рослесхоз (Российская Федерация)	Комплексный метеорологический показатель Н.А. Диченкова (единственный показатель – компоненты отсутствуют)	Прогноз направления развития, а также размера природного пожара	Оценка площади выгоревших участков
	Оценка пожарной опасности осуществляется подобно системе ИСДМ-Рослесхоз	Собственный математический базис	Собственный математический базис [2]
	Низкая степень автоматизации, например при прогнозе развития природного пожара необходимые исходные данные задаются оператором (тип топлива, источник возгорания, направление, скорость ветра и др.) [3]. Отсутствуют как единое, так и постоянное научное сопровождение функционирования и совершенствования ИСПП		

В основу систем CFFDRS и EFFIS заложен единый мощный математический базис (десятки взаимосвязанных уравнений, откалиброванных по информации базы данных природных пожаров, включая тестовые). Это позволило создать CFFDRS и EFFIS как единые взаимосвязанные системы (от прогноза пожарной опасности и оценки развития природных пожаров до анализа вызванного ими ущерба), использующие предварительно подготовленные (базу данных типов топлива) и свободнодоступные (автоматически скачиваемые) данные в совокупности с результатами дистанционного мониторинга. В результате удалось добиться высокой степени автоматизации работы каждой из систем и соответственно по-

высить объективность и снизить зависимость от человеческого фактора. Напротив, отдельные составляющие ИСПП Республики Беларусь создавались без единого видения облика системы. Как следствие, достигнута минимальная степень взаимосвязи, что, в свою очередь, обусловило низкую степень автоматизации работы системы. Кроме того, результаты работы составляющих ИСПП Республики Беларусь характеризуются высокой зависимостью от человеческого фактора – цена неверных решений очень высока. По степени автоматизации ИСПП Российской Федерации близка к системам CFFDRS и EFFIS.

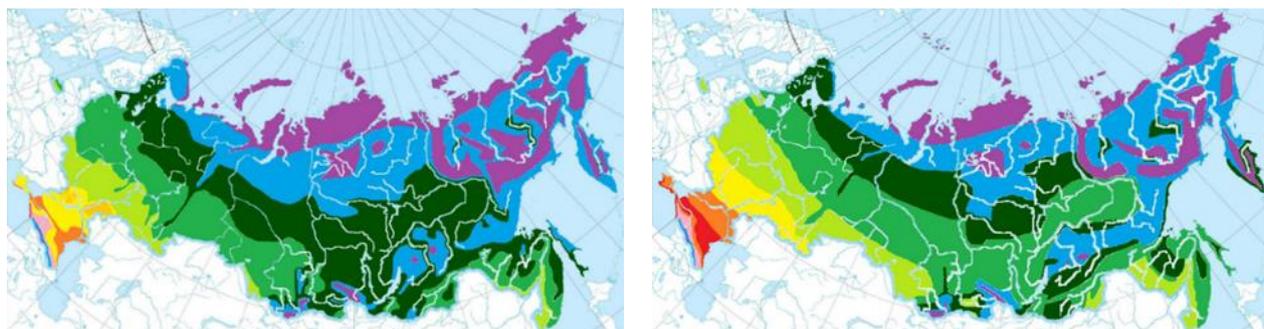
Ситуация усугубляется непрекращающимся ростом среднегодовой температуры воздуха (вследствие изменения климата). Действительно, в Республике Беларусь с 1989 г. зафиксировано увеличение средней температуры воздуха на 1,3 °С и учащение засух на 40 %. Прогнозы показывают, что эта тенденция сохранится, и дополнительный рост средних температур воздуха составит 1 °С к 2030 г., 2 °С к 2060 г. и до 4,4 °С к 2099 г. В результате потепления климата происходит изменение и смещение границ агроклиматических зон (основанных на сумме температур воздуха более +10 °С). Так, в 1973 г. (рис. 1а [4]) в Республике Беларусь было три агроклиматические зоны: северная (наиболее холодная – около 40 % территории страны), центральная и южная. В период с 1989 по 2015 г. (рис. 1б [4]) размер северной зоны уменьшился до 10–12 %, центральная и южная зоны остались в тех же размерах, но сместились на север. При этом появилась новая, четвертая агроклиматическая зона. Согласно прогнозам к 2030 г. северная зона исчезнет, новая четвертая зона расширится, на юге появится еще более теплая пятая зона (рис. 1в [4]), а с 2041 по 2060 г. от южной зоны останется лишь маленький островок на севере, остальные зоны сместятся на север, на юге страны появится еще более теплая агроклиматическая зона.



Агроклиматические зоны: I – северная; II – центральная; III – южная; IV, V – новые агроклиматические зоны

**Рисунок 1. – Прогноз изменения агроклиматических зон на территории Республики Беларусь**

Возросшие в последние годы в Российской Федерации количество и масштабность лесных пожаров (начали активно гореть даже леса в зоне вечной мерзлоты) в значительной степени объясняются глобальными изменениями климата. При этом рост среднегодовой температуры воздуха в Российской Федерации происходит в 2,5 раза быстрее [5], чем в глобальном измерении. Изменение климата проявляется не только в увеличении среднегодовых температур (рис. 2 [б]), но и в смещении лесных пожаров в более удаленные районы Крайнего Севера. Увеличение количества и площади лесных пожаров в этих районах приобрело системный характер. Масштабные лесные пожары в Сибири наблюдались в 2020 г. и в 2021 г. При этом пожары в Сибири – это не только следствие глобального изменения климата, но и его причина (выброс диоксида углерода, оседание черного углерода на льдах). Фактически наблюдается замкнутый круг.



а – по состоянию на 1964 г.

б – за период 2001–2016 гг.

Сумма температур воздуха более +10 °С: ■ – менее 400 °С; ■ – 400–1000 °С; ■ – 1000–1600 °С; ■ – 1600–2200 °С; ■ – 2200–2800 °С; ■ – 2800–3400 °С; ■ – 3400–4000 °С; ■ – более 4000 °С; ■ – резкая смена агроклиматических зон в горах

**Рисунок 2. – Изменение агроклиматических зон на территории Российской Федерации**

Развитие глобального потепления дополнительно приводит к учащению глобальных волн тепла (превышение не менее чем на 5 °С нормы температуры воздуха не менее чем за 3–5 суток подряд). Согласно анализу ученых университета штата Вашингтон метеорологических данных за 1979–2010 гг. оказалось, что частота волн тепла с 1980-х увеличилась в 7 раз, их интенсивность – на 17 %, а географическая протяженность – на 46 %. Волны тепла и засухи, усугубляемые потеплением климата, делают природные пожары более разрушительными, частыми и трудными для борьбы. Засухи, волны тепла – такие явления уже нельзя считать чем-то необычным для территорий Республики Беларусь и Российской Федерации. Это новая реальность, в которой предстоит жить.

Таким образом, ИСПП Республики Беларусь и Российской Федерации существенно уступают зарубежным аналогам (в частности, системам CFFDRS и EFFIS). В результате в настоящее время уже оказывается невозможным осуществлять прогнозный мониторинг пожарной опасности на современном уровне без совершенствования ИСПП Республики Беларусь и Российской Федерации.

## Основная часть

### Общая характеристика лесного и торфяного фондов

*Республика Беларусь.* Лесной фонд Республики Беларусь по состоянию на 1 января 2022 г. составляет 9707 тыс. га, общий запас насаждений – 1879,1 млн м<sup>3</sup>, средний возраст насаждений – 57 лет [7]. Лесистость территории страны составляет 40,1 % (8333 тыс. га). Максимальная лесистость наблюдается в Гомельской области (46,9 %), наименьшая лесистость – в Гродненской (36,0 %) и Брестской (36,4 %) областях. Подверглось загрязнению радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции (АЭС) 17,6 % лесного фонда. Доля насаждений хвойных пород (сосна, ель) в лесном фонде составляет 58,4 %, мягколиственных пород (береза, ольха, осина) – 37,7 %, твердолиственных пород (дуб, ясень, граб) – 4,0 %.

В Республике Беларусь известно 9192 торфяника суммарной площадью 2939 тыс. га (14,2 % площади страны), из них болот – 926,8 тыс. га. Геологические запасы торфа составляют около 4000 млн т, извлекаемые запасы – от 600 до 800 млн т. Около 15 % торфяников содержат промышленные запасы торфа. В настоящее время эксплуатируется около 400 месторождений, разрабатываемый торфяной фонд составляет 98,8 тыс. га (ежегодно добывается от 1,7 до 3,2 млн т). Наибольшее количество крупных торфяных месторождений (с полезной площадью в несколько тысяч гектаров) расположено на территориях Брестской, Гомельской и Минской областей [8].

Преобладают торфяные болота низинного типа, на которые приходится около 82 % общей площади торфяного фонда страны [8]. Влажность торфяного болота верхового типа

в естественном насыщенном водой состоянии составляет от 89 до 94 %, низинного – от 89 до 92 %. При этом нижние слои торфа даже в жаркое сухое время остаются насыщенными водой. Поэтому неосушенные торфяники горят крайне редко, пожары на них бывают лишь беглыми, затрагивающими только поверхностный торфяной слой.

*Российская Федерация.* По состоянию на 2022 г. площадь земель лесного фонда Российской Федерации составила 1,19 млрд га (46,4 % площади страны) – более 20 % всех лесов планеты. Общий запас насаждений составил 82 500,1 млн м<sup>3</sup> [9]. Наибольшие объемы древесины в Российской Федерации представлены лиственницей, сосной, березой и елью. Сосна, ель и лиственница относятся к наиболее ценным породам. Доля насаждений хвойных пород составляет 519,7 млн га, мягколиственных пород – 152,5 млн га, твердолиственных – 18,5 млн га. Регионами с максимальной лесистостью являются Иркутская область (82,3 %), Приморский край (77,6 %), Костромская область (73,4 %), Коми (72,7 %) и Пермский край (71,3 %).

По данным государственного земельного учета торфяниками занято 140,8 млн га (более 8 % площади всей страны). Общая площадь торфяных месторождений в Российской Федерации в границах промышленной залежи торфа (более 0,7 м) составляет 47,6 млн га с запасами торфа 188,9 млрд т на 46 805 торфяных месторождениях. Особенно много торфяных месторождений в Западной Сибири. Здесь учтено 5004 месторождения, общие ресурсы которых составляют более 100 млрд т, т.е. более 20 % мировых и более 50 % российских запасов [10].

### **Проблема природных пожаров на территории Республики Беларусь и Российской Федерации**

В целом погодные условия Республики Беларусь и Российской Федерации не благоприятствуют возгораниям и распространению природных пожаров, территория в основном характеризуется простым плоским рельефом. Несмотря на это, природные пожары на территории стран возникают ежегодно, полностью исключить их невозможно.

*Республика Беларусь.* На территории лесного фонда страны на протяжении 1959–2021 гг. возникло более 139 тыс. лесных пожаров на общей площади около 231,3 тыс. га, в том числе в 2021 г. – 470 лесных пожаров на площади 523 га [11; 12]. Средняя площадь лесного пожара за этот период, которая является показателем оперативности его обнаружения и ликвидации, составила 1,53 га. В Республике Беларусь на протяжении 2015–2021 гг. возникло 1897 торфяных пожаров (в том числе в 2021 г. – 83) и 18 845 пожаров травы и кустарников (в том числе в 2021 г. – 2123) [7; 13]. Среднегодовое количество торфяных пожаров за этот период составило 271, пожаров травы и кустарников – 2692. Средняя площадь торфяного пожара составила 1,3 га. Наибольшая площадь торфяников (1355 га) была пройдена пожарами в 2002 г. [14]. В случае экстремальных погодных условий (например, сильной засухи и аномальной жары в критический период вегетации) даже относительно небольшое количество природных пожаров может привести к значительным выгоревшим площадям, как это произошло в 2015 г. – по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь [15; 16] при 1219 лесных пожарах общая пройденная пожарами площадь составила 16 948,9 га (средняя площадь лесного пожара – 13,9 га, что в 9,1 раза больше, чем за период 1959–2021 гг.).

Особую опасность представляют трансграничные природные пожары, что проявилось в экстремально пожароопасном 2015 г., когда количество природных пожаров резко возросло. При этом более половины пройденной пожарами площади находилось на юге страны – на приграничных с Украиной территориях [7] – образовалось в результате трансграничных пожаров.

Природные пожары по количеству и суммарному ущербу занимают одну из лидирующих позиций среди чрезвычайных ситуаций природного характера. Так, по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь за 2016–2021 гг. [17], сред-

негодовой ущерб только лишь от лесных пожаров составил 255,8 тыс. долларов США, среднегодовые расходы на тушение и ликвидацию последствий лесных пожаров – 250,1 тыс. долларов США.

*Российская Федерация.* По данным ИСДМ-Рослесхоз, на территории лесного фонда страны на протяжении 2018–2022 гг. возникло около 148,5 тыс. лесных пожаров на общей площади около 76,2 млн га [18–22] (около 4,5 % площади всей страны). Средняя площадь лесного пожара за этот период составила 513,4 га, средняя площадь лесных пожаров за год – 15,2 млн га.

Наибольшая пройденная пожарами площадь наблюдалась в 2021 г. – более 18,8 млн га [18] (для сравнения: площадь Республики Беларусь составляет 20,76 млн га). Более 10,5 млн га из них пришлось на Якутию, крупные очаги также находились в Иркутской и Тюменской областях. Всего в стране за год было зарегистрировано около 27,5 тыс. лесных пожаров, дым от горящих лесов впервые за историю спутниковых наблюдений достиг Северного полюса.

Лидером (по относительному количеству природных пожаров и пройденной ими площади на 1 млн га) в Российской Федерации за 2011–2021 гг. оказалась Еврейская автономная область, где за этот период природные пожары охватили 64,7 % от площади.

По данным Рослесхоза, средний размер ущерба от лесных пожаров в год составляет около 300 млн долларов США, из них от 45,2 до 75,3 млн долларов США – ущерб лесному хозяйству (потери древесины). Остальные потери – расходы на тушение и последующую расчистку выгоревших участков, ущерб от гибели животных и загрязнения продуктами горения, затраты на восстановление лесных насаждений.

Рекордный ущерб принесли природные пожары 2010 г., которые затронули всю территорию европейской части страны. Было зафиксировано более 34,8 тыс. природных пожаров, в том числе более 1 тыс. торфяных пожаров. Всего от пожаров и вызванного ими смога пострадали 17 регионов, более 2,5 тыс. семей остались без крова, более 60 человек погибли в огне и от отравления продуктами горения [23], ущерб был оценен в 2,1 млрд долларов США (в 7 раз больше, чем в среднем за год).

Особенностью Российской Федерации является наличие *зон контроля лесных пожаров* – территорий (расположенных в труднодоступных и удаленных областях с низкой плотностью населения при отсутствии крупных объектов экономики), где прогнозируемые затраты на тушение природных пожаров превышают ожидаемый ущерб, который может быть ими причинен. Природные пожары в зонах контроля находятся под наблюдением посредством авиационных и (или) космических средств. В настоящее время зоны контроля существуют в 18 регионах, их площадь составляет 505,4 млн га (около 42,5 % общей площади лесного фонда). Значительная часть зон контроля расположена в Сибири и на Дальнем Востоке.

Пожары на территориях зон контроля часто достигают огромных размеров. Например, в 2021 г. только один из пожаров в зоне контроля на территории Якутии разросся более чем на миллион гектаров.

Гигантские масштабы российских лесов, наличие огромных малонаселенных удаленных лесных территорий, отсутствие инфраструктуры и отношение населения (привыкшего к неисчерпаемости лесных богатств) в совокупности с изменением климата привели к тому, что в Российской Федерации отмечается статистически значимая тенденция роста частоты, площади и интенсивности лесных пожаров. Прогнозируется, что при сохранении существующих уровня охраны от лесных пожаров и скорости изменения погодных условий ежегодная пройденная пожарами площадь в отдельных регионах Российской Федерации к концу XXI в. возрастет приблизительно в 2 раза [6].

**Предлагаемая структура усовершенствования информационных систем о природных пожарах Республики Беларусь и Российской Федерации**

Усовершенствованные ИСПП Республики Беларусь и Российской Федерации должны представлять собой комплексные системы, охватывающие полный цикл прогнозного мониторинга пожарной опасности: от предупреждения и подготовки к природным пожарам до анализа вызванного ими ущерба. Усовершенствованные ИСПП Республики Беларусь и Российской Федерации должны содержать следующие основные модули (по аналогии с [24], рис. 3): оценки пожарной опасности, обнаружения активных природных пожаров, новостей о природных пожарах, оперативной оценки ущерба от природных пожаров, сезонной оценки ущерба от природных пожаров, базы данных о природных пожарах, долгосрочного прогнозирования погодных условий, типов топлива.

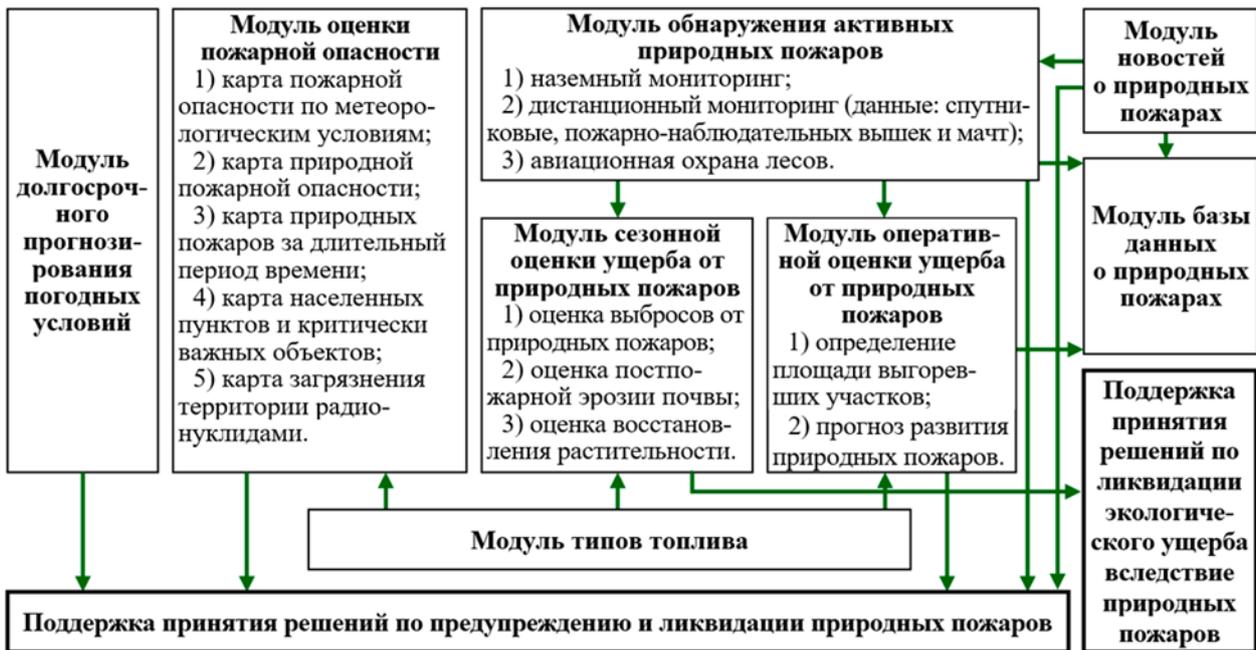


Рисунок 3. – Общая структура усовершенствованных информационных систем о природных пожарах Республики Беларусь и Российской Федерации

**Модуль оценки пожарной опасности.** Оценку пожарной опасности целесообразно проводить на основе совместного пространственного анализа (в геоинформационной системе) следующих карт (рис. 4): пожарной опасности по метеорологическим условиям, природной пожарной опасности, природных пожаров за длительный период времени, населенных пунктов и критически важных объектов, загрязнения территории радионуклидами.

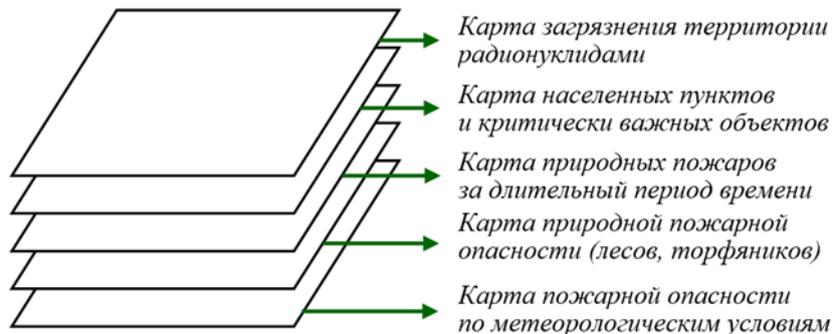


Рисунок 4. – Структура оценки пожарной опасности

На этапе совместного пространственного анализа данных могут быть применены алгоритмы искусственного интеллекта, например, для отслеживания динамики «горячих» точек, определения зон риска возникновения природных пожаров, оценки сложности

тушения и объема работ, которые предстоит проделать в случае возгорания. При этом дополнительно к перечисленным могут использоваться такие данные за длительный период времени, как погодные условия; типы топлива; характеристики объектов на земной поверхности; расстояние до ближайших дорог, населенных пунктов, водных объектов; рельеф; параметры других природных пожаров на той же территории.

**Карта оценки пожарной опасности по метеорологическим условиям.** Недостатков комплексных метеорологических показателей Н.А. Диченкова и В.Г. Нестерова лишен индекс пожарной опасности по метеорологическим условиям FWI, который используется в системах CFFDRS и EFFIS. В связи с этим целесообразно сосредоточить усилия на адаптации индекса FWI с целью гармонизированной оценки пожарной опасности на территории Республики Беларусь, Российской Федерации и прилегающих стран. FWI зависит исключительно от ежедневно получаемых метеорологических данных [25]: температуры и относительной влажности воздуха, скорости ветра и количества осадков. При этом в действительности FWI представляет пожарную опасность на своем пике в середине дня (обычно 16:00 ч).

FWI состоит из пяти компонент (рис. 5 [26]). Первые три характеризуют изменения содержания влаги в трех видах топлива лесной подстилки в насаждениях зрелой сосны [25] с разными скоростями высыхания:

- первая компонента – код влажности верхнего слоя лесной подстилки FFMC: представляет собой оценку содержания влаги в подстилке и других видах топлива (иголах, мхе, веточках диаметром менее 1 см);
- вторая компонента – код влажности среднего слоя лесной подстилки, состоящего из лесного материала средних размеров DMC: представляет собой содержание влаги в слабо уплотненных, разлагающихся органических материалах;
- третья компонента – код засухи DC: индикатор содержания влаги в глубоких, компактных слоях органического материала.

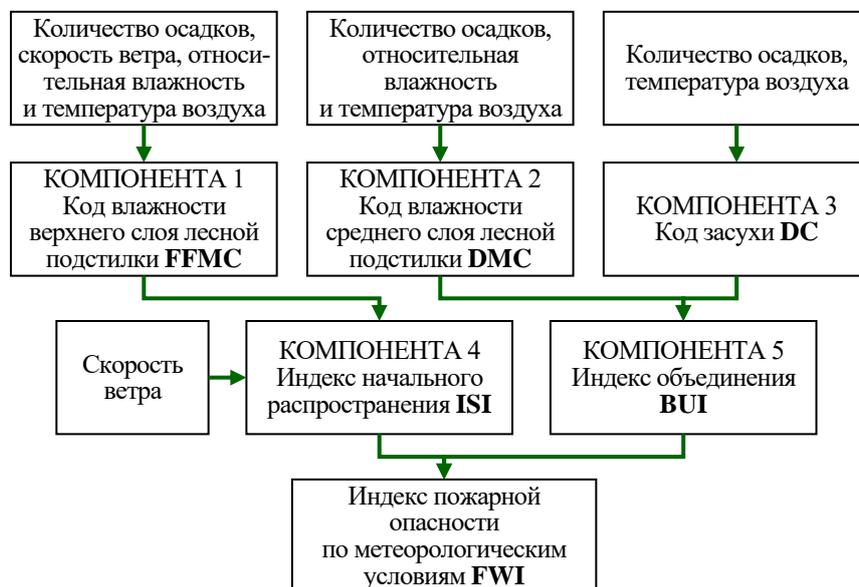


Рисунок 5. – Схема вычисления индекса пожарной опасности по метеорологическим условиям FWI

Считается, что каждый вид топлива высыхает в геометрической прогрессии. Надлежащей мерой скорости высыхания является время задержки (т.е. время потери около 2/3 свободной влаги выше равновесного состояния при температуре в полдень +21,1 °С, относительной влажности воздуха 45 % и скорости ветра 13 км/ч) (табл. 2 [26; 27]).

Таблица 2. – Свойства кодов влажности топлива

Код	Индикатор пожарной опасности	Время задержки, сут.	Емкость воды, мм	Требуемые параметры	Глубина топлива, см	Сухая масса топлива, кг/м <sup>2</sup>
FFMC	Легкость возгорания	2/3	0,6	T, H, W, r	1–2	0,25
DMC	Вероятность возгорания вследствие гроз, скорость сгорания топлива среднего слоя лесной подстилки	12	15	T, H, r, Mo	5–10	5
DC	Сложность тушения, скорость сгорания топлива глубоких органических материалов	52	100	T, r, Mo	10–20	25

*Примечание.* T – температура воздуха, H – относительная влажность воздуха, W – скорость ветра, r – количество осадков, Mo – месяц.

На основе значений трех кодов влажности и скорости ветра формируются два промежуточных индекса, которые, в свою очередь, объединяются для получения непосредственно значения FWI [25–27]:

– четвертая компонента – индекс начального распространения ISI: комбинация скорости ветра и FFMC, которая представляет собой скорость распространения природного пожара без учета влияния переменного количества топлива;

– пятая компонента – индекс объединения BUI: комбинация DMC и DC, которая представляет собой общее количество топлива, доступное для распространяющегося природного пожара;

– индекс пожарной опасности по метеорологическим условиям FWI: комбинация ISI и BUI, которая представляет собой интенсивность распространяющегося природного пожара как мощность выхода энергии на единицу длины фронта природного пожара.

Каждая отдельная компонента индекса FWI зависит только от метеорологических данных и представляет собой индекс, раскрывающий различные аспекты пожарной опасности [26]. FWI обладает рядом положительных свойств. В частности, его относительно просто реализовать, он основан на надежных научных принципах и несет важную информацию, которую можно напрямую соотнести с поведением природных пожаров, и поэтому его легко интерпретировать.

Пороговые величины компонент и самого индекса FWI для каждого класса пожарной опасности, а также количество классов пожарной опасности применительно к условиям Республики Беларусь и Российской Федерации должны быть установлены на основе анализа условий, наблюдавшихся во время природных пожаров. Учитывая различие климатических условий в пределах территории Республики Беларусь и Российской Федерации, целесообразно дополнительно вычислять показатели (такие как индекс экстремального прогноза EFI и индекс сдвига окончаний SOT) локальной изменчивости условий по сравнению с данными за длительный период времени (20–30 лет) – экстремальность (необычность).

### **Карта природной пожарной опасности**

*Природная пожарная опасность лесов.* В силу своего породного, возрастного и структурного состава, а также антропогенного воздействия все лесные насаждения являются потенциально пожароопасными – со средним классом природной пожарной опасности (согласно шкале И.С. Мелехова) 2,6 для территории Республики Беларусь [28] и 2,72 для территории Российской Федерации [29]. Природная пожарная опасность оценивается по результатам составления лесоустроительных проектов, обновляемых не реже одного раза в 10 лет.

В лесном фонде Республики Беларусь насаждения I класса природной пожарной опасности занимают 6,7 %, II класса – 26,1 %, III класса – 34,5 %, IV класса – 25,7 % и V класса – 7,0 %. Это обусловлено преобладанием хвойных (сосновых и еловых) пород, которые относятся к высокому и среднему классу природной пожарной опасности и на долю

которых приходится 58,4 % лесного фонда страны. Среди сосновых насаждений легковозгораемые типы составляют 37,3 %, средневозгораемые – 42,6 %, трудновозгораемые – 20,1 %; среди еловых соответственно – 1,3; 80,1 и 18,6 %.

Выполненный в работе [11] анализ свидетельствует, что 88,3 % от общей пройденной пожарами площади в лесном фонде Республики Беларусь находится в сосновых, 6,7 % – в березовых, 2,7 % – в еловых, 1,8 % – в черноольховых насаждениях. В других лесных насаждениях доля пройденной пожарами площади составляет около 0,5 % от общей площади. Значительная часть (46,7 %) пройденной пожарами площади находится в наиболее распространенных и пожароопасных в лесном фонде мшистых и вересковых сосновых насаждениях.

Природная пожарная опасность на территории Российской Федерации распределена неравномерно – большая часть лесных насаждений Центрального (1,76), Южного и Северо-Кавказского (2,07) и Заволжского (1,95) федеральных округов характеризуется низким и средним уровнями природной пожарной опасности. Умеренный и высокий уровни природной пожарной опасности соответствуют большинству лесных насаждений Сибирского (3,68), Северо-Западного (3,25) и Дальневосточного (3,59) федеральных округов [29].

Наибольшее количество природных пожаров на территории Российской Федерации (рис. 6 [30]) приходится на хвойные листопадные (19,8 %), лиственные (15,7 %) и хвойные вечнозеленые (11,1 %) леса, наименьшее – на смешанные леса (2,9 %) и хвойный кустарник (1,2 %).

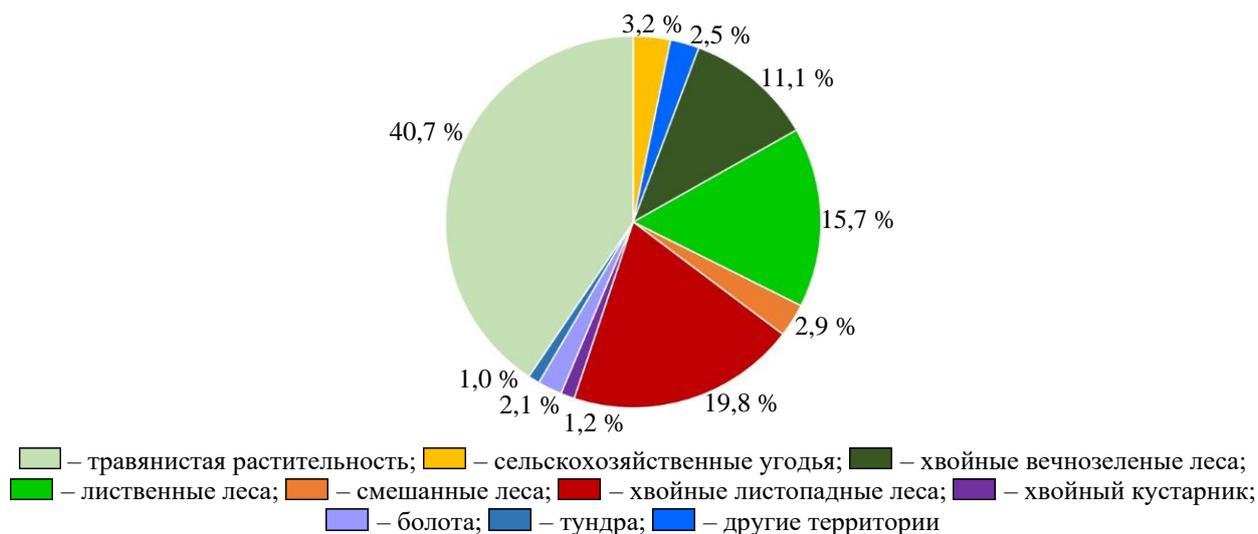


Рисунок 6. – Распределение количества природных пожаров по типам растительного покрова

**Природная пожарная опасность торфяников.** Пожароопасными являются все осушенные торфяники, сельхозугодья на месте осушенных болот, выработанные торфяники с действующей осушительной сетью, а также разрабатываемые торфяники. Кроме того, выведенные из хозяйственного оборота торфяники часто за длительное время зарастают мелколесьем и кустарниками, с отдельными закустаренными прогалинами, что обостряет пожарную опасность. Например, в периоды сильных засух 1999 г. и 2002 г. горели почти все осушенные торфяники Республики Беларусь. В 2002 г. пожарами было охвачено около 5000 га. В работе [31] на основе интегральной оценки комплекса показателей (степени разложения, зольности, влажности, мощности торфа, уровня залегания болотных вод, рельефа, характеристик горючести растительного материала, степени нарушенности) типы растительных сообществ болот объединены в пять классов по степени устойчивости к пожарам.

**Карта природных пожаров за длительный период времени.** Описание создания карты природных пожаров представлено в пункте «Определение площади выгоревших участков».

**Карта населенных пунктов и критически важных объектов.** Природные пожары могут представлять угрозу населенным пунктам и критически важным объектам – складам хранения горюче-смазочных материалов, складам хранения минеральных удобрений и средств защиты растений, хранилищам зерна, продовольственным и непродовольственным складам, нефте-, газо- и продуктопроводам, предприятиям химической и нефтеперерабатывающей промышленности, пожаровзрывоопасным объектам, особо охраняемым территориям и объектам культурного наследия и т.д. Так, торфяные пожары могут представлять угрозу нефте-, газо- и продуктопроводам – на территории Республики Беларусь расположено только лишь магистральных нефте- газо- и продуктопроводов около 2,5 тыс. км, значительная часть которых пролегает по осушенным торфяникам. На территории же Российской Федерации значительная часть магистральных нефте- (54,8 тыс. км), газо- (188,4 тыс. км) и продуктопроводов (23,2 тыс. км) пролегает в районах вечной мерзлоты, участвовавшие природные пожары в которых могут приводить к их разрушению – посредством влияния на деградацию вечной мерзлоты.

**Карта загрязнения территории радионуклидами.** В результате аварии на Чернобыльской АЭС по состоянию на 1 января 2016 г. 17,6 % лесного фонда Республики Беларусь оказались загрязнены радионуклидами (в первую очередь это Цезий-137 – Cs-137). В Российской Федерации загрязнению радионуклидами подверглись 19 регионов. Уровень загрязнения почвы в них составляет более 1 Ки/км<sup>2</sup> по Cs-137 на общей площади 59,3 тыс. км<sup>2</sup>. Подавляющее большинство загрязненных радионуклидами лесов Российской Федерации – около 87 % – находятся в зоне с плотностью загрязнения почвы Cs-137 от 1 до 5 Ки/км<sup>2</sup>. Наиболее сильному загрязнению радионуклидами подверглись Брянская, Калужская, Тульская и Орловская области. В лесах этих регионов имеются участки с плотностью загрязнения почвы Cs-137 до 15 Ки/км<sup>2</sup>, а в Брянской области даже до 200 Ки/км<sup>2</sup>. В радиоактивно загрязненных лесных и кустарниковых насаждениях вследствие ограничения или прекращения хозяйственной деятельности идет активный процесс накопления горючих материалов, что усугубляет пожарную опасность. Для территорий, загрязненных 30 лет назад, поверхность земли уже не представляет особой угрозы для населения, т.к. почти все радионуклиды к настоящему времени уже расположены на глубине 15–30 см либо удержаны в тканях деревьев и кустарников [28]. Но при торфяном пожаре горят именно эти слои почвы. А при лесном пожаре горят деревья, накопившие в тканях радионуклиды. В 2016 г. на территории Гомельской и Могилевской областей Республики Беларусь, наиболее пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС, зафиксировано 60 пожаров общей площадью 43 га. На указанных территориях за эти годы зафиксировано 20 торфяных пожаров общей площадью 17,7 га [28].

**Модуль обнаружения активных природных пожаров** должен обеспечивать получение целостного представления о текущих природных пожарах, а также исходной информации, помогающей картированию выгоревших участков. Для своевременного обнаружения и ликвидации природных пожаров в Республике Беларусь и Российской Федерации создана многоуровневая система мониторинга, включающая наземный мониторинг, дистанционный мониторинг (данные: спутниковые, пожарно-наблюдательных вышек и мачт), авиационную охрану лесов.

**Наземный мониторинг.** В Республике Беларусь является основным источником обнаружения природных пожаров (до 80 %), его маршруты и сроки определяются классом природной пожарной опасности лесов, классом пожарной опасности лесов по условиям погоды и степенью антропогенного воздействия на лесные насаждения. Обход проводится одним человеком или группой 3–5 человек. Средняя площадь одного обхода составляет 800 га. Преимуществом наземного мониторинга является его мобильность, а недостатком – ограниченная видимость, невозможность оперативного обнаружения пожара, если он расположен на значительном расстоянии от маршрута. В Российской Федерации вследствие

огромной площади лесного фонда и ограниченного финансирования наземный мониторинг носит ограниченный характер (около 6,8 % площади лесного фонда).

**Спутниковые данные.** Основой обнаружения активных пожаров по спутниковым данным является идентификация «горячих» точек (областей с аномально высокой температурой по сравнению с окружением) с помощью полностью автоматизированных методов [24]. Результат идентификации «горячих» точек фильтруется (например, с использованием цифровой модели рельефа, карт дорог и населенных пунктов) с целью уменьшения ложных тревог [24]. По спутниковым данным обнаруживаются, как правило, крупные и длительные природные пожары (до 10–15 %). Частота получения таких данных (для ИСДМ-Рослесхоз, использующей данные более чем от 15 спутников, частота наблюдений отдельных территорий превышает 20 раз в сутки [32]) приемлема для мониторинга распространения лесных пожаров, которые в основном имеют не очень высокую скорость распространения. Спутниковые данные незаменимы в оценке угроз природных пожаров с сопредельных территорий. Недостатки данного способа связаны с низким пространственным разрешением используемых данных (от сотен метров до нескольких километров). В последние годы с целью минимизации ложных тревог для обнаружения активных пожаров стали использоваться спутниковые данные среднего и высокого пространственного разрешения (включая данные со спутников белорусско-российской группировки – пространственное разрешение 10 м).

**Данные пожарных наблюдательных вышек и мачт.** Пожарно-наблюдательные вышки и мачты (высотой до 35–40 м) оборудуются вращающимися по кругу камерами видеонаблюдения с установкой автоматической системы мониторинга и раннего обнаружения лесных пожаров, например «Лесной страж» [33]. Точность определения координат дыма/огня составляет около 500 м. Наблюдениями с пожарно-наблюдательных вышек и мачт (всего их установлено около 700) охвачено более 90,0 % территории лесного фонда Республики Беларусь. В Российской Федерации в связи с огромной площадью лесного фонда и значительными затратами на поддержание в надлежащем состоянии наблюдательные вышки не обновлялись последние 15–20 лет, и большинство из них уже не могут быть использованы из-за аварийного технического состояния. Вместе с тем проект приказа Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации «Об утверждении нормативов противопожарного обустройства лесов» (подготовлен 6 августа 2021 г., в настоящее время находится на доработке) предусматривает строительство в лесах наблюдательных вышек, оснащенных средствами автоматизированного обнаружения пожаров. При этом допускается использовать и видеокамеры, уже установленные на вышках сотовых операторов. Вопрос, как быстро этот процесс будет происходить и насколько будет охвачен лесной фонд страны, остается открытым.

**Авиационная охрана лесов.** Осуществляет систематическое наблюдение с воздуха за территорией лесного фонда для своевременного обнаружения и тушения лесных пожаров. Режим патрулирования (маршрут, кратность и время полетов) определяется в зависимости от класса пожарной опасности лесов по условиям погоды в соответствии с регламентом работы лесопожарных служб с таким расчетом, чтобы обеспечивалась просматриваемость всей территории лесного фонда при средних условиях видимости. С помощью авиатрулирования на протяжении последних более 40 лет в лесном фонде Республики Беларусь обнаруживается около 40 % пожаров, в том числе 75 % площадью до 0,05 га. В Российской Федерации Федеральное бюджетное учреждение «Центральная база авиационной охраны лесов "Авиалесоохрана"» (ФБУ «Авиалесоохрана») охватывает 95 % площади лесного фонда страны, причем свыше 60 % относится к районам авиационной охраны. ФБУ «Авиалесоохрана» обнаруживает свыше 80 % всех возникающих на обслуживаемой территории пожаров и участвует в тушении 50 % из них.

**Модуль новостей о природных пожарах** должен идентифицировать (по ключевым словам) и определять геолокацию всех новостей, связанных с природными пожарами,

которые публикуются в Интернете: новостных лентах, связанных с природными пожарами, RSS-каналах, фотохостинге Flickr, Twitter, YouTube и др. [24]. Основная цель сбора новостей о природных пожарах – предоставить вспомогательную информацию экспертам, выполняющим оперативную оценку ущерба от природных пожаров, а также обзорную информацию для руководителей ликвидации природных пожаров.

**Модуль оперативной оценки ущерба от природных пожаров** предназначен для оперативного определения площадей выгоревших участков, а также для прогноза развития природных пожаров.

**Определение площади выгоревших участков.** Необходимо для оценки последствий природных пожаров, обновления информации о лесном фонде, планирования природоохранных, противопожарных и лесовосстановительных мероприятий. Выгоревшие участки картируются по результатам обнаружения активных природных пожаров – из «горячих» точек на основе алгоритма выращивания областей (присоединение к «горячим» точкам соседних на основании некоторого критерия их близости, например разницы в яркости, заданной пороговой величиной, – один из методов классификации без обучения (кластеризации)) с уточнением результатов посредством визуальной интерпретации данных [24]. Картирование выгоревших участков напрямую из координат активных природных пожаров позволяет проводить обработку в близком к реальному времени режиме.

В ИСПП для получения карт выгоревших участков используются спутниковые данные сенсоров Terra/Aqua MODIS с пространственным разрешением 250 м [34]. Преимуществом такого подхода является оперативность, т.к. данные могут обновляться с частотой несколько раз в сутки. Такое пространственное разрешение позволяет картировать выгоревшие участки площадью около 40 га и более. В связи с этим спутниковые данные сенсоров Terra/Aqua MODIS могут быть использованы для картирования выгоревших участков: для Российской Федерации (средняя площадь лесного пожара по данным за 2009–2021 гг. составила 693,65 га) в качестве основных, для Республики Беларусь (средняя площадь лесного пожара по данным за 1969–2021 гг. составила 1,53 га; средняя площадь торфяного пожара по данным за 2015–2021 гг. – 1,3 га) в качестве дополнительных. В качестве же основных для Республики Беларусь для картирования выгоревших участков и в качестве дополнительных для Российской Федерации целесообразно использовать свободно доступные данные спутников серий Sentinel-2 [34] и Landsat, а также серии Ресурс-П и белорусско-российской группировки.

**Прогноз развития природных пожаров.** При условии, что скорость ветра не равна нулю, а его направление остается относительно постоянным, возникающие из точечного источника возгорания природные пожары обычно в равновесном состоянии принимают приблизительно эллиптическую или овальную форму [3; 35]. Путем анализа данных о природных пожарах разработаны эмпирические соотношения для определения отношения длины к ширине, скорости распространения фронтальной, фланговой и тыльной частей природного пожара [35]. Эти соотношения учитывают направление и скорость ветра, тип топлива, значения компонент индекса FWI.

**Модуль сезонной оценки ущерба от природных пожаров.** В конце пожароопасного сезона картированные в течение сезона выжженные участки должны быть объединены в единую карту, которая далее может быть использована совместно с данными о типах топлива для оценки ущерба.

**Выбросы от природных пожаров** (газы и частицы) оказывают серьезное влияние на местное население, особенно в случае природных пожаров вблизи населенных пунктов [24]. Данные о выгоревших участках можно использовать для расчета выбросов. Выбросы от природных пожаров зависят от продолжительности и интенсивности, общей площади, типа и количества сгоревшего топлива.

**Оценка эрозии почвы.** Эрозия почвы является еще одним серьезным негативным последствием природных пожаров. Кроме того, ущерб, связанный с эрозией почвы, обычно необратим [24]. Поэтому важно оценить потерю почвы в пострадавших от природных пожаров районах, и определить те из них, где следует применять профилактические меры, чтобы избежать дальнейшего ущерба. Подверженность выгоревших участков эрозии почвы зависит от интенсивности природных пожаров и степени сгорания растительного покрова [24].

**Оценка восстановления растительности** после природных пожаров может быть проведена путем сопоставления разновременных спутниковых данных – до и после природных пожаров. В настоящее время разностный нормализованный коэффициент сгорания dNBR (difference Normalized Burnt Ratio, dNBR) считается одним из лучших для анализа выгоревших участков и поэтому находит широкое применение в ИСПП [34].

**Модуль базы данных о природных пожарах.** Анализ пространственных и временных тенденций природных пожаров имеет решающее значение для понимания их основных движущих факторов и возникающих в результате экологических и социально-экономических последствий, а также для планирования надлежащих мер по предотвращению природных пожаров и борьбе с ними [24]. База данных о природных пожарах (для Республики Беларусь – централизованная база данных по учету чрезвычайных ситуаций (включая природные пожары) и их последствий; для Российской Федерации – единая база данных о природных пожарах) содержит ряд общепринятых характеристик каждого природного пожара (включая его вид, время и место), дополнительные и сопутствующие материалы (тестовые, видео, звуковые и графические) [36]. В настоящее время в базе данных о природных пожарах Республики Беларусь содержится информация о более чем 140 тыс. пожарах (включая природные пожары) за период с 2002 г. [36]; для Российской Федерации – о более чем 660 тыс. природных пожарах за период с 2012 г.

**Модуль долгосрочного прогнозирования погодных условий.** Долгосрочные прогнозы погодных условий используются для оценки общей пожарной обстановки на предстоящий пожароопасный сезон и определения районов с наибольшей вероятностью природных пожаров. Долгосрочные прогнозы погодных условий получают от Гидрометцентра России. В Республике Беларусь долгосрочное прогнозирование погодных условий не проводится. Гидрометцентр России выпускает долгосрочные прогнозы на 14 суток, месяц, 46 суток и сезон (3 месяца). Качество долгосрочных прогнозов значительно зависит от сезона, региона, режима атмосферной циркуляции и иных факторов, оказывающих влияние на атмосферу [37]. Успешность долгосрочного прогноза на сезон составляет 60–65 %. Успешность долгосрочного прогноза осадков остается невысокой.

**Модуль типов топлива.** Тип топлива представляет собой топливный комплекс с необходимой однородностью, простирающийся в области достаточного размера, чтобы равновесное поведение природного пожара могло быть поддержано в течение значительного периода времени [35]. В соответствии с этим диапазон типов топлива (хвойные, лиственные, смешанные, порубочные остатки, открытые – полевая растительность [35]) должен охватывать наиболее значимые для территории Республики Беларусь и Российской Федерации комплексы растительного покрова и не обязательно должен соответствовать схемам инвентаризации леса. Тип топлива в совокупности с погодными условиями определяет поведение природного пожара (скорость распространения, потребление топлива – лесной подстилки, древесного топлива и кроны деревьев), стандартную топливную нагрузку, переход пожара от низового к верховому.

### Заключение

ИСПП Республики Беларусь и Российской Федерации созданы с учетом погодных условий по состоянию на 50-е гг. XX в. обособленно друг от друга и от ИСПП прилегающих стран. При этом отдельные составляющие ИСПП Республики Беларусь создавались без единого видения облика системы. В результате в настоящее время ИСПП Республики Беларусь и Российской Федерации существенно уступают зарубежным аналогам (как по степени автоматизации вычислений – в первую очередь это относится к ИСПП Республики Беларусь, так и по качеству представляемой информации). Усовершенствованные на основании единых передовых технологий, а также отечественных наработок ИСПП Республики Беларусь и Российской Федерации должны представлять собой единые взаимосвязанные системы – от прогноза пожарной опасности и оценки развития природных пожаров до анализа вызванного ими ущерба. Это в совокупности с использованием большого объема накопленных к этому времени разнородных данных и привлечением проверенных решений позволит повысить автоматизацию вычислений и объективность результатов, более полно отразить картину пожарной опасности и учесть особенности изменившихся погодных условий (путем перехода от комплексных метеорологических показателей Н.А. Диченкова и В.Г. Нестерова к индексу пожарной опасности по метеорологическим условиям FWI), обеспечить формирование единого информационного пространства, а также совместимость результатов прогнозного мониторинга пожарной опасности на территории Республики Беларусь, Российской Федерации и прилегающих стран.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Совершенствование гидрометеорологической службы и систем раннего предупреждения в Республике Беларусь [Электронный ресурс] / Группа Всемирного банка. – Вашингтон, 2020. – 108 с. – Режим доступа: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/219301594880509884/pdf/Strengthening-Hydromet-and-Early-Warning-Services-in-Belarus-A-Road-Map.pdf>. – Дата доступа: 29.08.2022.
2. Ильючик, М.А. Геоинформационная система комплексного мониторинга земель лесного фонда, лесопользования и оценки пожарной опасности «СМ-Лесфонд» / М.А. Ильючик [и др.] // Седьмой Белорусский космический конгресс: материалы конгресса, Минск, 24–26 октября 2017 г. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2017. – Т. 2. – С. 251–254.
3. Баровик, Д.В. Программный комплекс оперативного моделирования распространения лесных пожаров / Д.В. Баровик, Д.А. Горбацевич, В.Б. Таранчук // Информатизация образования – 2010: педагогические аспекты создания информационно-образовательной среды: материалы междунар. науч. конф., Минск, 27–30 октября 2010 г. – Минск: БГУ, 2010. – С. 54–58. – URI: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/11168>.
4. Мельник, В. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата в рамках разработки национальной стратегии адаптации сельского хозяйства к изменению климата в Республике Беларусь: проект Clima East (контракт CEEF2016-071-BL) [Электронный ресурс] / В. Мельник [и др.]. – Минск – Женева, 2017. – 83 с. – Режим доступа: <https://climate.esopartnerstvo.by/sites/default/files/2017-09/%5BRUS%5D%20Agriculture%20Climate%20Change%20Zoning%20in%20Belarus.pdf>. – Дата доступа: 29.08.2022.
5. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 год [Электронный ресурс]. – М.: Росгидромет, 2017. – 70 с. – Режим доступа: [https://www.meteorf.gov.ru/upload/pdf\\_download/Доклад2016.pdf](https://www.meteorf.gov.ru/upload/pdf_download/Доклад2016.pdf). – Дата доступа: 29.08.2022. – EDN: XNLKXR.
6. Мингалев, Д.Э. Изменение климата в России (1985–2016) на примере сравнения старой и новой карт агроклиматических поясов / Д.Э. Мингалев // Евразийский союз ученых. – 2017. – № 9-3 (42). – С. 5–9. – EDN: RTBRFC.
7. Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь: результаты наблюдений, 2021 год [Электронный ресурс] / Под общ. ред. М.И. Лемутовой. – Минск: Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды (Белгидромет). – 2022. – 556 с. Режим доступа: <https://www.nsmos.by/content/818.html>. – Дата доступа: 29.08.2022.

8. Прогноз пожаров в природных экосистемах на пожароопасный сезон 2015 года / Республиканский центр управления и реагирования на чрезвычайные ситуации МЧС Республики Беларусь. – Минск, 2015. – 8 с.
9. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад [Электронный ресурс]. – М.: Минприроды России; МГУ им. М.В. Ломоносова, 2021. – 864 с. – Режим доступа: <https://2020.ecology-gosdoklad.ru/api/media/file/d3005e7015da96594907894c110510956a5a7dff.pdf>. – Дата доступа: 29.08.2022.
10. Промышленное производство в России. 2021: стат. сб. [Электронный ресурс] / Росстат. – М., 2021. – 305 с. – Режим доступа: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Prom\\_proiz-vo\\_2021.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Prom_proiz-vo_2021.pdf). – Дата доступа: 29.08.2022.
11. Усеня, В.В. Послепожарное состояние и восстановление лесных фитоценозов на территории Республики Беларусь / В.В. Усеня // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2018. – Т. 63, № 3. – С. 316–327. – DOI: 10.29235/1029-8940-2018-63-3-316-327. – EDN: YASDUL.
12. Статистический ежегодник Республики Беларусь, 2022 [Электронный ресурс] / И.В. Медведева [и др.]. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2022. – 374 с. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/da7/2ofs6kwxniiwet4h4icu0kdluroip08.pdf>. – Дата доступа: 29.08.2022.
13. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2019 год [Электронный ресурс] / Под общ. ред. Е.П. Богодяж. – Минск: Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды (Белгидромет). – 2020. – 493 с. – Режим доступа: <https://www.nsmos.by/content/793.html>. – Дата доступа: 29.08.2022.
14. Москаленко, Н.В. Экологические аспекты реабилитации переданных в лесной фонд деградированных мелиорированных торфяников / Н.В. Москаленко [и др.] // Веснік Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. – 2019. – № 1. – С. 36–42. – EDN: TAPCZN.
15. Общая площадь, пройденная лесными пожарами [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации Республики Беларусь: [dataportal.belstat.gov.by](http://dataportal.belstat.gov.by). – Режим доступа: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=144102>. – Дата доступа: 29.08.2022.
16. Количество лесных пожаров [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации Республики Беларусь: [dataportal.belstat.gov.by](http://dataportal.belstat.gov.by). – Режим доступа: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=163103>. – Дата доступа: 29.08.2022.
17. Расходы по тушению и ликвидации последствий лесных пожаров [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации Республики Беларусь: [dataportal.belstat.gov.by](http://dataportal.belstat.gov.by). – Режим доступа: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=144117>. – Дата доступа: 29.08.2022.
18. Сводный отчет о лесных пожарах (термических аномалиях) на всех видах территорий по данным космического мониторинга по состоянию на 30 декабря 2021 г. (нарастающим итогом с 01.01.2021) [Электронный ресурс] // Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства ФБУ «Авиалесохрана»: [public.aviales.ru](http://public.aviales.ru). – Режим доступа: [http://public.aviales.ru/main\\_pages/openform1.shtml?2021-12-30](http://public.aviales.ru/main_pages/openform1.shtml?2021-12-30). – Дата доступа: 29.08.2022.
19. Сводный отчет о лесных пожарах (термических аномалиях) на всех видах территорий по данным космического мониторинга по состоянию на 30 декабря 2018 г. (нарастающим итогом с 01.01.2018) [Электронный ресурс] // Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства ФБУ «Авиалесохрана»: [public.aviales.ru](http://public.aviales.ru). – Режим доступа: [http://public.aviales.ru/main\\_pages/openform1.shtml?2018-12-30](http://public.aviales.ru/main_pages/openform1.shtml?2018-12-30). – Дата доступа: 29.08.2022.
20. Сводный отчет о лесных пожарах (термических аномалиях) на всех видах территорий по данным космического мониторинга по состоянию на 30 декабря 2019 г. (нарастающим итогом с 01.01.2019) [Электронный ресурс] // Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства ФБУ «Авиалесохрана»: [public.aviales.ru](http://public.aviales.ru). – Режим доступа: [http://public.aviales.ru/main\\_pages/openform1.shtml?2019-12-30](http://public.aviales.ru/main_pages/openform1.shtml?2019-12-30). – Дата доступа: 29.08.2022.

21. Сводный отчет о лесных пожарах (термических аномалиях) на всех видах территорий по данным космического мониторинга по состоянию на 30 декабря 2020 г. (нарастающим итогом с 01.01.2020) [Электронный ресурс] // Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства ФБУ «Авиалесохрана»: public.aviales.ru. – Режим доступа: [http://public.aviales.ru/main\\_pages/openform1.shtml?2020-12-30](http://public.aviales.ru/main_pages/openform1.shtml?2020-12-30). – Дата доступа: 29.08.2022.
22. Сводный отчет о лесных пожарах (термических аномалиях) на всех видах территорий по данным космического мониторинга по состоянию на 30 декабря 2022 г. (нарастающим итогом с 01.01.2022) [Электронный ресурс] // Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства ФБУ «Авиалесохрана»: public.aviales.ru. – Режим доступа: [http://public.aviales.ru/main\\_pages/openform1.shtml?2022-12-30](http://public.aviales.ru/main_pages/openform1.shtml?2022-12-30). – Дата доступа: 29.08.2022.
23. Зуенко, В.А. Проблемы тушения лесных пожаров в Российской Федерации / В.А. Зуенко, А.С. Родимцев // Агротехника и энергообеспечение. – 2015. № 3 (7). – С. 95–107. – EDN: YIPLD.
24. San-Miguel-Ayanz, J. Comprehensive monitoring of wildfires in Europe: The European Forest Fire Information System (EFFIS) / J. San-Miguel-Ayanz [et al.] // Approaches to managing disaster – Assessing hazards, emergencies and disaster impacts. – 2012. – P. 87–108. DOI: 10.5772/28441.
25. De Groot, W.J. Interpreting the Canadian forest fire weather index (FWI) system [Electronic resource] / W.J. de Groot // Proc. Fourth Central Regional Fire Weather Committee Scientific and Technical Seminar, April 2, 1987, Winnipeg, Manitoba. – Canadian Forestry Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, 1987. – P. 3–14. – Mode of access: <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=23688>. – Date of access: 29.08.2022.
26. Van Wagner, C.E. Development and structure of the Canadian forest fire weather index system [Electronic resource] / C.E. Van Wagner. – Canadian Forestry Service, Headquarters, Ottawa, 1987. – Forestry technical report 35. – 35 p. – Mode of access: <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=19927>. – Date of access: 29.08.2022.
27. Van Wagner, C.E. Structure of the Canadian forest fire weather index / C.E. Van Wagner. – Departmental Publication 1333, Canadian Forestry Service, Petawawa Forest Experiment Station, Chalk River, Ontario, 1974. – 49 p.
28. Гармаза, А.К. Лесные пожары в Беларуси: материальный ущерб и опасные факторы пожара / А.К. Гармаза [и др.] // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2017. – № 2 (198). – С. 322–327. – EDN: YMIEPD.
29. Ponomarev, E.I. System of wildfires monitoring in Russia / E.I. Ponomarev, V. Ivanov, N. Korshunov // Wildfire hazards, risks, and disasters / Editors: J.F. Shroder, D. Paton. – Oxford: Elsevier, 2015. – Chapter 10. – P. 187–205. – DOI: 10.1016/B978-0-12-410434-1.00010-5.
30. Лупян, Е.А. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в 21 веке на территории Российской Федерации (цифры и факты по данным детектирования активного горения) / Е.А. Лупян [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14, № 6. – С. 158–175. – DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-158-175. – EDN: YLXCNK.
31. Груммо, Д.Г. Оценка и прогноз пожароопасной ситуации при оптимизации гидрологического режима верхового болота «Ельня» (Беларусь) / Д.Г. Груммо [и др.] // Социально-экологические технологии. – 2016. – № 4. – С. 7–19. – EDN: YMFZBR.
32. Лупян, Е.А. Организация работы со спутниковыми данными в информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) / Е.А. Лупян [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т. 12, № 5. – С. 222–250. – EDN: UZNDUD.
33. Система автоматического мониторинга и раннего обнаружения лесных пожаров «Лесной страж» для нужд лесохозяйственных учреждений [Электронный ресурс]. – Минск: Армософт, 2020. – 8 с. – Режим доступа: [https://Strazh.by/files/Lesnoy\\_Strazh.pdf](https://Strazh.by/files/Lesnoy_Strazh.pdf). – Дата доступа: 29.08.2022.
34. Волосюк, А.И. Оценка последствий лесных пожаров на основе автоматизированной обработки материалов дистанционного зондирования Земли / А.И. Волосюк, А.А. Топаз // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. – Минск: – 2022. – Т. 1. – С. 57–70. – DOI: 10.33581/2521-6740-2022-1-57-70. – EDN: PHMOSY.
35. Development and structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System [Electronic resource]. – Forestry Canada, Headquarters, Fire Danger Group and Science and Sustainable Development Directorate, Ottawa, 1992. – Information Report ST-X-3. – 64 p. – Mode of access: <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=10068>. – Date of access: 29.08.2022.

36. Проровский, В.М. Совершенствование системы сбора информации о чрезвычайных ситуациях в целях подготовки показателей глобальных задач Сендайской рамочной программы / В.М. Проровский, М.В. Ходин // II Междунар. науч.-практ. конф. «Безопасность человека и общества: совершенствование системы реагирования и управления защитой от чрезвычайных ситуаций», Минск, 20 нояб. 2018 г.: материалы конф. – Минск: УГЗ, 2018. – С. 157–161.
37. Вильфанд, Р.М. Долгосрочные метеорологические прогнозы в Гидрометцентре России / Р.М. Вильфанд [и др.] // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2019. – № 4 (374). – С. 12–36. – EDN: ATVКСN.

**Совершенствование информационных систем о природных пожарах  
Республики Беларусь и Российской Федерации**

**Improvement of information systems on natural fires  
in Republic of Belarus and Russian Federation**

**Кравцов Сергей Леонидович**

кандидат технических наук

Государственное научное учреждение  
«Объединенный институт проблем  
информатики Национальной академии наук  
Беларуси», лаборатория аэрокосмического  
мониторинга, заведующий лабораторией

Адрес: ул. Сурганова, 6,  
220012, г. Минск, Беларусь

Email: Krautsou\_sl@rambler.ru

ORCID: 0000-0002-1476-9553

**Sergey L. Kravtsov**

PhD in Technical Sciences

State Scientific Institution «United Institute  
of Informatics Problems of the National  
Academy of Sciences of Belarus»,  
Laboratory of Aerospace Monitoring,  
Head of Laboratory

Address: Surganova str., 6,  
220012, Minsk, Belarus

Email: Krautsou\_sl@rambler.ru

ORCID: 0000-0002-1476-9553

**Попова Анастасия Константиновна**

кандидат технических наук

Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт динамики систем  
и теории управления имени В.М. Матросова  
Сибирского отделения Российской академии  
наук, лаборатория комплексных  
информационных систем, старший  
научный сотрудник

Адрес: ул. Лермонтова, 134, а/я 292,  
664033, г. Иркутск, Россия

Email: chudnenko@icc.ru

ORCID: 0000-0001-6209-678X

**Anastasiya K. Popova**

PhD in Technical Sciences

Matrosov Institute for System Dynamics  
and Control Theory of Siberian Branch  
of Russian Academy of Sciences,  
Laboratory of Complex Information Systems,  
Senior Researcher

Address: Lermontova str., 134, PO Box 292  
664033, Irkutsk, Russia

Email: chudnenko@icc.ru

ORCID: 0000-0001-6209-678X

**Маркова Дарья Сергеевна**

Государственное научное учреждение  
«Объединенный институт проблем  
информатики Национальной академии наук  
Беларуси», лаборатория аэрокосмического  
мониторинга, стажер младшего научного  
сотрудника

Адрес: ул. Сурганова, 6,  
220012, г. Минск, Беларусь

Email: hanna49@rambler.ru

**Daria S. Markova**

State Scientific Institution «United Institute  
of Informatics Problems of the National  
Academy of Sciences of Belarus»,  
Laboratory of Aerospace Monitoring,  
Trainee Junior Researcher

Address: Surganova str., 6,  
220012, Minsk, Belarus

Email: hanna49@rambler.ru

**Лепесевич Екатерина Вячеславовна**

Государственное научное учреждение  
«Объединенный институт проблем  
информатики Национальной академии наук  
Беларуси», лаборатория аэрокосмического  
мониторинга, младший научный сотрудник

Адрес: ул. Сурганова, 6,  
220012, г. Минск, Беларусь

Email: 13958@mail.ru

**Ekaterina V. Lepesevich**

State Scientific Institution «United Institute  
of Informatics Problems of the National  
Academy of Sciences of Belarus»,  
Laboratory of Aerospace Monitoring,  
Junior Researcher

Address: Surganova str., 6,  
220012, Minsk, Belarus

Email: 13958@mail.ru

***Решетник Сергей Владимирович***

Государственное научное учреждение  
«Объединенный институт проблем  
информатики Национальной академии наук  
Беларуси», лаборатория аэрокосмического  
мониторинга, главный конструктор проекта

Адрес: ул. Сурганова, 6,  
220012, г. Минск, Беларусь  
Email: rsvlad@tut.by

***Sergey V. Reshetnik***

State Scientific Institution «United Institute  
of Informatics Problems of the National  
Academy of Sciences of Belarus»,  
Laboratory of Aerospace Monitoring,  
Chief Designer of Project

Address: Surganova str., 6,  
220012, Minsk, Belarus  
Email: rsvlad@tut.by

## IMPROVEMENT OF INFORMATION SYSTEMS ON NATURAL FIRES IN REPUBLIC OF BELARUS AND RUSSIAN FEDERATION

**Kravtsov S.L., Popova A.K., Markova D.S., Lepesevich E.V., Reshetnik S.V.**

*Purpose.* Achievement of a present-day level of information systems on natural fires (ISNF) of the Republic of Belarus and the Russian Federation (both in terms of the degree of automation of calculations and the quality of the information provided) in situations of changing weather conditions.

*Methods.* A qualitatively new result is proposed to be obtained by introducing advanced technologies based on the processing of heterogeneous data (terrestrial, satellite, etc.) over a long period of time – the «big data» approach.

*Findings.* An analysis of currently functioning ISNFs was carried out which showed that the existing ISNFs of the Republic of Belarus and the Russian Federation, based on those developed in the 50s. of XX century complex meteorological indicators and created separately from each other without unified vision of the system, carry out forecast monitoring of fire danger at a level insufficient for modern conditions significantly inferior to foreign analogues.

Proposals are formulated to improve the ISNFs of the Republic of Belarus and the Russian Federation in such a way that they are complex systems covering the full cycle of forecast monitoring of fire danger: from warning and preparation for natural fires to analysis of the damage caused by them. To make a comprehensive picture of fire danger taking into account the peculiarities of changed weather conditions, it is recommended to change the use of complex meteorological indicators of N.A. Dichenkov (adopted in Belarus) and V.G. Nesterov (adopted in Russian Federation) onto the Fire Weather Index (FWI). It will also allow to harmonize the fire hazard assessment on the territory of Republic of Belarus, Russian Federation and adjacent countries.

*Application field of research.* The above suggestions can be used to improve the ISNFs of the Republic of Belarus and the Russian Federation.

*Keywords:* natural fires, information system, automation of calculations, quality of information, change in weather conditions.

(The date of submitting: November 8, 2022)

### REFERENCES

1. *Sovershenstvovanie gidrometeorologicheskoy sluzhby i sistem rannego preduprezhdeniya v Respublike Belarus'* [Improving the hydrometeorological service and early warning systems in the Republic of Belarus]. World Bank Group, Washington, 2020. 108 p. Available at: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/219301594880509884/pdf/Strengthening-Hydromet-and-Early-Warning-Services-in-Belarus-A-Road-Map.pdf> (accessed: 29.08.2022). (rus)
2. Il'yuchik M.A., Tsay S.S., Pushkin A.A., Mel'nik P.G. Geoinformatsionnaya sistema kompleksnogo monitoringa zemel' lesnogo fonda, lesopol'zovaniya i otsenki pozharnoy opasnosti «SM-Lesfond» [Geoinformation system for integrated monitoring of forest fund lands, forest management and fire hazard assessment «SM-Lesfond»]. *Proc. VII Belarusian Space Congress, Minsk, Oktober 24–26, 2017*. Minsk: UIIP NAS of Belarus, 2017. Vol. 2. Pp. 251–254. (rus)
3. Barovik D.V., Gorbatsevich D.A., Taranchuk V.B. Programmnyy kompleks operativnogo modelirovaniya rasprostraneniya lesnykh pozharov [Software complex for operational modeling of the spread of forest fires]. *Proc. Intern. scientific conf. «Informatization of education – 2010: pedagogical aspects of the development of information educational environment», Minsk, Oktober 27–30, 2010*. Minsk: BSU, 2010. Pp. 54–58. – URI: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/11168>. (rus)
4. Mel'nik V., Yatsukhno V., Denisov N., Nikolaeva L., Faloleeva M. *Agroklimaticheskoe zonirovaniye territorii Belarusi s uchetom izmeneniya klimata v ramkakh razrabotki natsional'noy strategii adaptatsii sel'skogo khozyaystva k izmeneniyu klimata v Respublike Belarus'* [Agro-climatic zoning of the territory of Belarus taking into account climate change as a part of the development of a national strategy for adapting agriculture to climate change in the Republic of Belarus]: Clima East project (contract CEEF2016-071-BL). Minsk-Zheneva: 2017. 84 p. Available at: <https://climate.ecopartnerstvo.by/sites/default/files/2017-09/%5BRUS%5D%20Agriculture%20Climate%20Change%20Zoning%20in%20Belarus.pdf> (accessed: 29.08.2022). (rus)

5. *Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2016 god* [A report on climate features in the territory of the Russian Federation in 2016]. Moscow: Roshydromet, 2017. 70 p. Available at: [https://www.meteorf.gov.ru/upload/pdf\\_download/Доклад2016.pdf](https://www.meteorf.gov.ru/upload/pdf_download/Доклад2016.pdf) (accessed: 29.08.2022). (rus). EDN: XNLKXR.
6. Mingalev D.E. *Izmenenie klimata v Rossii (1985–2016) na primere sravneniya staroy i novoy kart agroklimaticheskikh poyasov* [Climate change in Russia (1985–2016) on the example of comparing old and new maps of agro-climatic zones]. Eurasian Union of Scientists, 2017. No. 9-3 (42). Pp. 5–9. (rus). EDN: RTBRFC.
7. *Natsional'naya sistema monitoringa okruzhayushchey sredy v Respublike Belarus': rezul'taty nablyudeniya, 2021 god* [National environmental monitoring system in the Republic of Belarus: observation results, 2021]: under total ed. M.I. Lemutova. Minsk: Belhydromet, 2022. 556 p. Available at: <https://www.nsmos.by/content/818.html> (accessed: 29.08.2022). (rus)
8. *Prognoz pozharov v prirodnykh ekosistemakh na pozharoопасnyy sezon 2015 goda* [Forecast of fires in natural ecosystems for the fire season 2015]. Republican Center for Emergency Management and Response of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus. Minsk, 2015. 8 p. (rus)
9. *O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2020 godu* [On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2020]. State report. Moscow: Ministry of Natural Resources of Russia, Lomonosov Moscow State University, 2021. 864 p. Available at: <https://2020.ecology-gosdoklad.ru/api/media/file/d3005e7015da96594907894c110510956a5a7dff.pdf> (accessed: 29.08.2022). (rus)
10. *Promyshlennoe proizvodstvo v Rossii. 2021* [Industrial production in Russia. 2021]: statistical compendium. Moscow: Rosstat, 2021. 305 p. Available at: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Prom\\_proiz-vo\\_2021.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Prom_proiz-vo_2021.pdf) (accessed: 29.08.2022). (rus)
11. Usenya V.V. *Poslepozharное sostoyanie i vosstanovlenie lesnykh fitotsenozov na territorii Respubliki Belarus'* [Postfire condition and renewal of forest phytocenoses on the territory of the Republic of Belarus]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Biological Series*, 2018. Vol. 63, No. 3. Pp. 316–327. (rus). DOI: 10.29235/1029-8940-2018-63-3-316-327. EDN: YASDUL.
12. Medvedeva I.V. et al. *Statisticheskiiy ezhegodnik Respubliki Belarus', 2022* [Statistical Yearbook of the Republic of Belarus, 2022]. Minsk: National Statistical Committee of the Republic of Belarus, 2022. 374 p. Available at: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/da7/2ofs6kwxniiibet4h4icu0kdltruipo8.pdf> (accessed: 29.08.2022). (rus)
13. *Natsional'naya sistema monitoringa okruzhayushchey sredy Respubliki Belarus': rezul'taty nablyudeniya, 2019 god* [National environmental monitoring system of the Republic of Belarus: observation results, 2019]: under total ed. E.P. Bogodyazh. Minsk: Belhydromet, 2020. 493 p. Available at: <https://www.nsmos.by/content/793.html> (accessed: 29.08.2022). (rus)
14. Moskalenko N.V., Bulko N.I., Mashkov I.A., Tolkacheva N.V., Serenkova V.A., But'kovets V.V. *Ekologicheskie aspekty rehabilitatsii peredannykh v lesnoy fond degradirovannykh meliorirovannykh torfyanikov* [Ecological aspects of rehabilitation transferred to the forest fund of degraded reclaimed peats]. *Vesnik of Palesky State University. Series in Natural Sciences*, 2019. No 1. Pp. 36–42. (rus). EDN: TAPCZN.
15. Total area affected by forest fires. *National Statistical Committee. Interactive business intelligence system for distribution of official statistical information: dataportal.belstat.gov.by*, available at: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=144102> (accessed: 29.08.2022).
16. Number of forest fires. *National Statistical Committee. Interactive business intelligence system for distribution of official statistical information: dataportal.belstat.gov.by*, available at: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=163103> (accessed: 29.08.2022).
17. *Raskhody po tusheniyu i likvidatsii posledstviy lesnykh pozharov* [Expenses for extinguishing and eliminating the consequences of forest fires]. *National Statistical Committee. Interactive business intelligence system for distribution of official statistical information: dataportal.belstat.gov.by*, available at: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=144117> (accessed: 29.08.2022). (rus)
18. *Svodnyy otchet o lesnykh pozharakh (termicheskikh anomal'yakh) na vsekh vidakh territoriy po dannym kosmicheskogo monitoringa po sostoyaniyu na 30 dekabrya 2021 g. (narastayushchim itogom s 01.01.2021)* [Summary report on forest fires (thermal anomalies) in all types of territories according to space monitoring data as of December 30, 2021 (cumulative total from 01.01.2021)]. *Information system for remote monitoring of the Federal Forestry Agency of the Federal Budgetary Institution «Avialesokhrana»: public.aviales.ru*. Available at: [http://public.aviales.ru/main\\_pages/openform1.shtml?2021-12-30](http://public.aviales.ru/main_pages/openform1.shtml?2021-12-30) (accessed: 29.08.2022). (rus)

19. Svodnyy otchet o lesnykh pozharakh (termicheskikh anomal'yakh) na vsekh vidakh territoriy po dannym kosmicheskogo monitoringa po sostoyaniyu na 30 dekabrya 2018 g. (narastayushchim itogom s 01.01.2018) [Summary report on forest fires (thermal anomalies) in all types of territories according to space monitoring data as of December 30, 2018 (cumulative total from 01.01.2018)]. *Information system for remote monitoring of the Federal Forestry Agency of the Federal Budgetary Institution «Avialesokhrana»: public.aviales.ru*. Available at: [http://public.aviales.ru/main\\_pages/openform1.shtml?2018-12-30](http://public.aviales.ru/main_pages/openform1.shtml?2018-12-30) (accessed: 29.08.2022). (rus)
20. Svodnyy otchet o lesnykh pozharakh (termicheskikh anomal'yakh) na vsekh vidakh territoriy po dannym kosmicheskogo monitoringa po sostoyaniyu na 30 dekabrya 2019 g. (narastayushchim itogom s 01.01.2019) [Summary report on forest fires (thermal anomalies) in all types of territories according to space monitoring data as of December 30, 2019 (cumulative total from 01.01.2019)]. *Information system for remote monitoring of the Federal Forestry Agency of the Federal Budgetary Institution «Avialesokhrana»: public.aviales.ru*. Available at: [http://public.aviales.ru/main\\_pages/openform1.shtml?2019-12-30](http://public.aviales.ru/main_pages/openform1.shtml?2019-12-30) (accessed: 29.08.2022). (rus)
21. Svodnyy otchet o lesnykh pozharakh (termicheskikh anomal'yakh) na vsekh vidakh territoriy po dannym kosmicheskogo monitoringa po sostoyaniyu na 30 dekabrya 2020 g. (narastayushchim itogom s 01.01.2020) [Summary report on forest fires (thermal anomalies) in all types of territories according to space monitoring data as of December 30, 2020 (cumulative total from 01.01.2020)]. *Information system for remote monitoring of the Federal Forestry Agency of the Federal Budgetary Institution «Avialesokhrana»: public.aviales.ru*. Available at: [http://public.aviales.ru/main\\_pages/openform1.shtml?2020-12-30](http://public.aviales.ru/main_pages/openform1.shtml?2020-12-30) (accessed: 29.08.2022). (rus)
22. Svodnyy otchet o lesnykh pozharakh (termicheskikh anomal'yakh) na vsekh vidakh territoriy po dannym kosmicheskogo monitoringa po sostoyaniyu na 30 dekabrya 2022 g. (narastayushchim itogom s 01.01.2022) [Summary report on forest fires (thermal anomalies) in all types of territories according to space monitoring data as of December 30, 2022 (cumulative total from 01.01.2022)]. *Information system for remote monitoring of the Federal Forestry Agency of the Federal Budgetary Institution «Avialesokhrana»: public.aviales.ru*. Available at: [http://public.aviales.ru/main\\_pages/openform1.shtml?2022-12-30](http://public.aviales.ru/main_pages/openform1.shtml?2022-12-30) (accessed: 29.08.2022). (rus)
23. Zuenko V.A., Rodimtsev A.S. Problemy tusheniya lesnykh pozharov v Rossiyskoy Federatsii [Forest conflagration extinguishing problems on Russian Federation territory]. *Agrotekhnika i energoobespechenie*, 2015. No. 3 (7). Pp. 95–107. (rus). EDN: YIIULD.
24. San-Miguel-Ayaz J., Schulte E., Schmuck G., Camia A., Strobl P. et al. Comprehensive monitoring of wildfires in Europe: The European Forest Fire Information System (EFFIS). *Approaches to Managing Disaster – Assessing Hazards, Emergencies and Disaster Impacts*, 2014. Pp. 87–108. DOI: 10.5772/28441.
25. De Groot W.J. Interpreting the Canadian forest fire weather index (FWI) system. *Proc. Fourth Central Regional Fire Weather Committee Scientific and Technical Seminar, April 2, 1987, Winnipeg, Manitoba*. Canadian Forestry Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, 1987. Pp. 3–14. Available at: <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=23688> (accessed: 29.08.2022).
26. Van Wagner C.E. *Development and structure of the Canadian forest fire weather index system*. Canadian Forestry Service, Headquarters, Ottawa, 1987. Forestry technical report 35. 35 p. Available at: <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=19927> (accessed: 29.08.2022).
27. Van Wagner C.E. *Structure of the Canadian forest fire weather index*. Departmental Publication 1333, Canadian Forestry Service, Petawawa Forest Experiment Station, Chalk River, Ontario, 1974. 49 p.
28. Garmaza A.K., Ermak I.T., Bosak V.N., Peretrukhin V.V., Chernushevich G.A., Klimchik G.Ya. Lesnye pozhary v Belarusi: material'nyy usherb i opasnye faktory pozhara [Forest fires in Belarus: material damage and hazardous factors of fire]. *Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry. Environmental management. Reprocessing of renewable resources*, 2017. No. 2 (198). Pp. 322–327. (rus). EDN: YMIEPD.
29. Ponomarev E.I., Ivanov V., Korshunov N. System of wildfires monitoring in Russia. In book: *Wildfire hazards, risks, and disasters*. Oxford: Elsevier, 2015. Chapter 10. Pp. 187–205. DOI: 10.1016/B978-0-12-410434-1.00010-5.
30. Lupyan E.A., Bartalev S.A., Balashov I.V., Egorov V.A., Ershov D.V., Kobets D.A., Senko K.S., Stytsenko F.V., Sychugov I.G. Sputnikovyy monitoring lesnykh pozharov v 21 veke na territorii Rossiyskoy Federatsii (tsifry i fakty po dannym detektirovaniya aktivnogo goreniya) [Satellite monitoring of forest fires in the 21st century in the territory of the Russian Federation (facts and figures based on active fires detection)]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017. Vol. 14, No. 6. Pp. 158–175. (rus). DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-158-175. EDN: YLXCNK.

31. Grummo D.G., Zelenkevich N.A., Sozinov O.V., Moyseychuk E.V. Otsenka i prognoz pozharoopasnoy situatsii pri optimizatsii gidrologicheskogo rezhima verkhovogo bolota «El'nya» (Belarus') [Evaluation and forecast of fire hazard in the optimization of the hydrological regime of raised bog «Yelnya» (Belarus)]. *Environment and Human: Ecological Studies*, 2016. No 4. Pp. 7–19. (rus). EDN: YMFZBR.
32. Lupyan E.A., Egorov V.A., Efremov V.Yu., Zharko V.O., Kovganko K.A., Kolbudaev P.A., Krashennnikova Yu.S., Proshin A.A., Mazurov A.A., Uvarov I.A., Stytsenko F.V., Sychugov I.G., Flitman E.V., Khvostikov S.A., Shulyak P.P. Organizatsiya raboty so sputnikovymi dannymi v informatsionnoy sisteme distantsionnogo monitoringa lesnykh pozharov Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaystva (ISDM-Rosleskhoz) [Satellite data processing management in Forest Fires Remote Monitoring Information System (ISDM-Rosleskhoz) of the Federal Agency for Forestry]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015. Vol. 12, No. 5. Pp. 222–250. (rus). EDN: UZNDUD.
33. Sistema avtomaticheskogo monitoringa i rannego obnaruzheniya lesnykh pozharov «Lesnoy strazh» dlya nuzhd lesokhozyaystvennykh uchrezhdeniy [System of automatic monitoring and early detection of forest fires «Forest Guard» for the needs of forestry institutions]. Minsk: Armosoft, 2020. 8 p. Available at: [https://Strazh.by/files/Lesnoy\\_Strazh.pdf](https://Strazh.by/files/Lesnoy_Strazh.pdf) (accessed: 29.08.2022). (rus)
34. Volosyuk A.I., Topaz A.A. Otsenka posledstviy lesnykh pozharov na osnove avtomatizirovannoy obrabotki materialov distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Assessment of forest fire effects based on automated processing of Earth remote sensing imager]. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*, 2022. Vol. 1. Pp. 57–70. (rus). DOI: 10.33581/2521-6740-2022-1-57-70. EDN: PHMOSY.
35. *Development and structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System*. Forestry Canada, Headquarters, Fire Danger Group and Science and Sustainable Development Directorate, Ottawa, 1992. Information Report ST-X-3. 64 p. Available at: <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=10068> (accessed: 29.08.2022).
36. Prorovskiy V.M., Khodin M.V. Sovershenstvovanie sistemy sbora informatsii o chrezvychaynykh situatsiyakh v tselyakh podgotovki pokazateley global'nykh zadach Sendayskoy ramochnoy programmy [Improving the system for collecting information on emergency situations in order to prepare indicators for the global targets of the Sendai Framework]. *Proc. II Intern. scientific-practical. conf. «Bezopasnost' cheloveka i obshchestva: sovershenstvovanie sistemy reagirovaniya i upravleniya zashchitoy ot chrezvychaynykh situatsiy»*, Minsk, November 20, 2018. Minsk: University of Civil Protection, 2018. Pp. 157–161. (rus)
37. Vil'fand R.M., Zaripov R.B., Kiktev D.B., Kruglova E.N., Kryzhov V.N., Kulikova I.A., Tishchenko V.A., Tolstykh M.A., Kha V.M. Dolgosrochnye meteorologicheskie prognozy v Gidromettsentre Rossii [Long-range forecasting at Hydrometeorological Center of Russia]. *Hydrometeorological Research and Forecasting*, 2019. No. 4 (374). Pp. 12–36. (rus). EDN: ATVKCN.