

Перспективы использования цифровых технологий в мониторинге лесных пожаров северных регионов

Раздроков Е.Н., Волков Д.В.

В условиях высокой степени межрегионального нераЭффективный мониторинг лесных пожаров является актуальной темой для научных дискуссий, имеет важное социально-экономическое значение. Объектом исследования является лесная территория Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, предмет исследования – технология мониторинга лесных пожаров. Цель исследования – исследование опыта цифровизации мониторинга лесных пожаров и возможности его развития на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. В статье приведен литературный обзор по вопросам исследования лесных пожаров, технологий его мониторинга, в т.ч. на территориях Западной Сибири и Севера. Проанализирована сложившаяся ситуация с лесными пожарами в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре, результаты их мониторинга. Рассмотрен опыт использования цифровых технологий в мониторинге лесных пожаров в округе и перспективы внедрения беспилотной авиации в этот процесс.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Раздроков Е.Н., Волков Д.В. Перспективы использования цифровых технологий в мониторинге лесных пожаров северных регионов // Дискуссия. – 2025. – № 5 (138). – С. 78–85.

ГОСТ 7.1–2003

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Беспилотная авиация, мониторинг пожаров, лесной пожар, цифровизация.

Prospects for using digital technologies in monitoring forest fires in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra

Razdrokov E.N., Volkov D.V.

Effective monitoring of forest fires is a topical issue for scientific discussions and has important socio-economic significance. The object of the study is the forest territory of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra, the subject of the study is forest fire monitoring technology. The purpose of the study is to study the experience of digitalization of forest fire monitoring and the possibility of its development in the territory of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra. The article provides a literature review on the issues of forest fire research, monitoring technologies, including in the territories of Western Siberia and the North. The current situation with forest fires in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra and the results of their monitoring are analyzed. The experience of using digital technologies in monitoring forest fires in the district and the prospects for introducing unmanned aviation into this process are considered.

FOR CITATION

Razdrokov E.N., Volkov D.V. Prospects for using digital technologies in monitoring forest fires in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra. *Diskussiya [Discussion]*, № 5 (138), 78–85.

APA

KEYWORDS

Unmanned aircraft, fire monitoring, forest fire, digitalization.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с тем, что пожароопасный сезон на протяжении многих лет наносит колоссальный ущерб лесным ресурсам, инфраструктуре населенных пунктов и уносит с собой тысячи жизней необходимо оперативно выявлять информацию и реагировать на полученные данные о возможном возгорании. Для того, чтобы вовремя отреагировать и обезопасить граждан, природные объекты и застроенную инфраструктуру населенных пунктов необходимо использовать новейшие технологии, с помощью которых станет возможным своевременное выявление очагов возгорания лесных массивов, с учетом обеспечения экономической эффективности внедрения данных технологий.

Ввиду того, что по сей день для осуществления мониторинга лесных пожаров используется пилотируемая авиация, актуальным является внедрение беспилотной авиации для обеспечения безопасности пилотов, снижения затрат на эксплуатационные расходы и уменьшения выбросов углекислого газа в атмосферу посредством сгорания топлива.

Научная новизна исследования заключается в обосновании использования беспилотных летательных аппаратов для осуществления мониторинга лесопожарной обстановки применительно к условиям Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Результаты исследования имеют высокую практическую значимость для лесного

хозяйства Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

К основателям лесной пирологии в России можно отнести В. Н. Сукачёва [1], Н. П. Курбатского [2]. Зарубежными исследователями, заложившими основы изучения лесных пожаров, являются американские ученые Эдвард В. Комарек [3], Чарльз Купер [4], французский ученый Жан-Луи Филиппо [5].

На особенностях лесных пожаров Сибири и Дальнего Востока акцентировал свое внимание Э. Э. Валендик [6]. С. П. Арефьев [7] установил взаимосвязь деградации вечной мерзлоты и глубины горения торфа. Вопросами, связанными с лесными пожарами в северных странах, озадачивались канадский ученые: Майк Д. Флэнниган [8], который доказал увеличение площади лесных пожаров в Канаде на 300% с 1970 года; Мерритт Р. Турецкий [9] выявил ускорение таяния вечной мерзлоты после пожаров. Скандинавский ученый Йохан Гранстрём [10] разработал систему оценки пожарной опасности для северных лесов. Американский исследователь Эрик С. Касишке [11] обнаружил увеличение частоты тундровых пожаров на Аляске в 4 раза за 40 лет. К международным исследованиям северных лесных пожаров можно отнести работу научной группы ABoVE1 [12], участники которой разработали систему раннего предупреждения пожароопасной ситуации для северных территорий.

Мониторинг лесных пожаров, как способ их раннего предупреждения и ликвидации находится в ракурсе пристального внимания многих ученых. К исследователям спутникового мониторинга относятся: Кристофер Элвидж [13], который доказал возможность глобального мониторинга пожаров с 1990-х годов; Луи Гиго [14], создавший базовый алгоритм обнаружения пожаров для инструмента MODIS, который работает на космических аппаратах Terra и Aqua. На использовании авиационного и наземного мониторинга сосредоточились канадский ученый Брайан Стокс [15], разработавший систему авиационной разведки пожаров в таежных лесах; российские ученые Э. Н. Валендик [16], который обосновал необходимость сочетания спутниковых и наземных методов; А. И. Сухинин [17], обосновавший возможности спутникового мониторинга пожарной ситуации.

Применение инновационных технологий в исследовании лесных пожаров нашло отражение в трудах ученого из Нидерландов Сандра Веравербеке [18]. С. Веравербеке разработал методы спектрального анализа последствий пожаров, создал алгоритмы оценки степени повреждения растительности. Международные исследования мониторинга лесных пожаров включают работу группы NASA FIRMS [19], которая создала глобальную систему оперативного мониторинга; европейской группы Copernicus EMS [20], которая создала методы интеграции данных разных спутников.

Эффективность использования искусственного интеллекта в мониторинге лесных пожаров доказал Сандр Веравербеке [18]. Эмиль Чиприани [21], разработал алгоритмы ИИ для Copernicus EMS2. Б. Р. Андриевский [22] с научным коллективом представил обзор различных способов применения искусственного интеллекта для управления БПЛА.

В постоянно меняющемся мире охраны окружающей среды лесные пожары стали одной из наиболее актуальных проблем. Леса занимают более 31% территории земного шара, из которых ежегодно от пожаров страдает около 400 миллионов гектаров леса.

Ханты-Мансийский автономный округ – Югра относится к числу особо подверженных риску лесных пожаров регионов России благодаря своим обширным лесным массивам и суровым условиям климата. Значительная часть территории покрыта хвойными лесами, которые восприимчивы к возникновению пожаров в результате человеческой деятельности, естественных явлений (например, молнии) и изменения климата.

В Ханты-Мансийском автономном округе – Югре ситуация с лесными пожарами меняется от года к году неоднозначно. С 2020 г. по 2023 г. количество пожаров выросло на 40 %, в 2024 г. по сравнению с прошлым этот показатель сократился более чем в два раза (таблица 1). Достаточно большой разброс наблюдается по показателю площади, пройденной огнем, приходящейся на один пожар – от 57 га в 2021 г. до 979 га в 2022 г. К благоприятным показателям можно отнести сокращение площади, пройденной огнем.

Усилия по предотвращению лесных возгораний требуют незамедлительных действий, поскольку временной фактор критически влияет на успешность мер противодействия. Ранняя идентификация возгорания зачастую оказыва-

1 Эксперимент по изучению арктическо-бореальной уязвимости (The Arctic-Boreal Vulnerability Experiment (ABoVE)) – крупномасштабное исследование изменений окружающей среды и их последствий для социально-экологических систем.

2 Служба управления чрезвычайными ситуациями «Коперник».

Таблица 1
Состояние лесных пожаров на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры
за 2020-2024 годы

Годы	Количество пожаров	Площадь, пройденная огнем, га	Оценочная стоимость ущерба, тыс. р.	Процент площади, пройденной огнем, %	Площадь предотвращенных пожаров, га	Оценочная стоимость предотвращенного ущерба, тыс. р.
2020	485	146160,94	21924141,00	0,29	34553,41	5183012,06
2021	300	17207,83	2581174,50	0,03	4068,04	610206,74
2022	444	434590,58	65188587,00	0,86	102740,09	15411013,48
2023	682	65969,89	9895483,50	0,13	15595,72	2339357,80
2024	303	9358,94	1403841,00	0,02	2212,52	331877,30
Отношение 2024 к 2020, %	62,5	5,48	5,37	3,45	5,71	5,36

Источник: составлено авторами по данным: ФБУ «Авиалесоохрана».

ется решающим моментом между небольшой вспышкой и разрушительным пламенем.

Существует несколько видов систем мониторинга лесопожарной обстановки: космический мониторинг, аэроконтроль, автоматизированные системы мониторинга (специальные камеры и сенсоры), территориальная система мониторинга (сетевое взаимодействие подразделений министерства природных ресурсов и ведомства по чрезвычайным ситуациям), информационные системы (специализированные программы и веб-сервисы, предназначенные для обработки собранных данных и формирования отчётов о состоянии лесных массивов).

Система спутникового дистанционного зондирования земли и дистанционного видеомониторинга «Лесохранитель», действующая на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, характеризуется параметрами, представленными в таблице 2.

Таблица 2
Описание проекта «Лесохранитель»

Аспект	Описание
Цель проекта	Внедрение системы автоматического обнаружения пожаров и незаконных рубок для оперативного предупреждения угроз и снижения нарушений природоохранного законодательства.
Инструменты мониторинга	Видеонаблюдение с нейросетями для выявления дыма и рубок Космические снимки
Результаты мониторинга	Обнаружение: белый/чёрный дым, лесные рубки, термические точки, открытый огонь, свалки мусора.
Подсистема пожаров	Автоматическое обнаружение днём и ночью Оповещение через СМС, email, мессенджеры Погрешность до 150 м Один диспетчер на 30 камер
Подсистема рубок	Анализ космических снимков (10-60 м разрешение) Сравнение с разрешительными документами Периодичность съёмки: 2-3 раза в месяц
Социальный эффект	Увеличение эффективности патрулирования Снижение потерь лесных площадей Повышение удовлетворённости населения
Экономический эффект	Снижение ущерба от пожаров на 13 млн р. (2023) Снижение нарушений по рубкам на 57% (2023) Снижение ущерба от рубок на 11 млн р.
Инновационность	Единая платформа управления лесами Интеграция с системами «Безопасный город» Полная автоматизация процессов Использование разнородных данных (космос, БПЛА, видео)

Источник: составлено авторами по данным: [24].

Система видеомониторинга «Лесохранитель» внедрена в 2023 году, что позволило обеспечить условия для заметного снижения площади, пройденной огнем, за один лесной пожар (см. таблицу 2). методик оценки рисков. Решение этих проблем обеспечит улучшение качества и оперативности реагирования на возникающие угрозы, снизив экономический и экологический ущерб от лесных

Таблица 3

Состояние авиационного мониторинга лесопожарной обстановки
в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре за период 2020-2024 гг.

Годы	Фактическая площадь мониторинга, га	Использованные средства, тыс. р.	Количество летных часов, ч.	Стоимость одного летного часа, тыс. р.
2020	40273,58	27742,32	275,43	100,72
2021	41558,92	29994,14	284,22	105,53
2022	43573,61	32511,67	298,00	109,10
2023	43178,19	33544,38	295,29	113,60
2024	45348,61	36457,92	310,14	117,55
Отношение 2024 к 2020, %	112,6	131,4	112,6	116,7

Источник: составлено авторами по данным: БУ «База авиационной и наземной охраны лесов».

Результаты авиационного мониторинга лесопожарной обстановки на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры за 2020-2024 гг. свидетельствуют об увеличении площади мониторинга, его продолжительности и использованных средств (таблица 3).

Мониторинг лесных пожаров в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в настоящее время нуждается в совершенствовании ввиду низкой пропускной способности коммуникационных сетей, недостаточной поддержки новых технологий и отсутствия унифицированных

пожаров. В таблице 4 представлены перспективные направления цифровизации мониторинга лесопожарной обстановки.

На основании определенного объема авиационных работ на территории лесов Ханты-Мансийского автономного округа – Югры эксперты ООО «Оператор инфраструктуры БАС» определили необходимые технические характеристики для определения моделей беспилотных воздушных судов (таблица 5).

По соотношению объема транспортной работы, затрат на топливо расхода топлива самыми

Таблица 4

Перспективные направления цифровизации мониторинга лесопожарной обстановки
на территории ХМАО – Югры

Направление	Технологии и инструменты	Преимущества и возможности	Статус/Планы
Видео-мониторинг («Лесохранитель»)	82 камеры (включая 77 новых), нейросетевой анализ	Обнаружение задымления на ранних стадиях, радиус обзора до 45 км, автоматическое оповещение	Активное использование, возможное расширение зоны покрытия
Беспилотные авиасистемы (БАС)	Беспилотные летательные аппараты	Патрулирование лесов, обнаружение очагов возгорания ночью, автономная работа до 14 часов	Разработка проекта БАС, интеграция с другими системами мониторинга
Территориальная информационная система (ТИС)	Спутниковые данные, видео-наблюдение, БАС, ИИ	Автоматическая передача координат пожаров, прогнозирование ЧС, объединение данных в единую базу	Развитие аналитических модулей, улучшение взаимодействия между ведомствами
Искусственный интеллект (ИИ)	Алгоритмы автоматического обнаружения аномалий	Снижение времени реагирования, минимизация человеческого фактора, анализ экологической обстановки	Внедрение новых моделей машинного обучения для повышения точности
Межведомственная координация	Единая цифровая платформа для МЧС, лесхозов и экологов	Оперативное управление ресурсами, улучшение взаимодействия при тушении пожаров	Расширение функционала системы, тиражирование опыта в других регионах РФ

Источник: составлено авторами.

перспективными моделями беспилотных летательных аппаратов являются InnoVtol-3s и Диам 20 (таблица 6).

Результаты расчетов эффективности цифровизации мониторинга лесопожарной обстановки при помощи использования беспилотных летательных аппаратов доказывают высокую эффективность (таблица 7).

Преимущества и экономическая эффективность использования беспилотной авиации при проведении мониторинга лесопожарной обстановки в сравнении с применяемой пилотируемой авиацией доказывают необходимость перехода Правительством Ханты-Мансийского автономного округа – Югры на новую технологию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка состояния мониторинга лесных пожаров на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры показала ограниченность используемых инструментов и необходимость перехода на новую технологию с использованием элементов цифровизации. Беспилотная авиация демонстрирует значительный потенциал повышения уровня эффективности мониторинга лесных пожаров, в связи с чем необходимо активно внедрять эту технологию в практику как на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, как и на других сходных территориях.

Таблица 5

Необходимые технические характеристики моделей БПЛА

Наименование	Показатель
Масса полезной нагрузки, кг	Не менее 3
Крейсерская скорость полета, км/ч	Не менее 70
Максимальная продолжительность полета, км	Не менее 300
Дальность действия линии связи (видео), км	Не менее 20
Дальность действия линии связи (телеметрия), км	Не менее 40

Источник: составлено авторами.

Таблица 6

Показатели использования моделей БПЛА

Модель	Аэропракт А-22	InnoVtol-3s	Диам 20
Объем транспортной работы в год, км	245 000		
Расход топлива, л/ч	18	1,13	0,68
Кол-во летных часов, ч	1 434	3 062	2 722
Вид топлива	Бензин АИ-95		
Сумма затрат на топливо, тыс. р.	1 420	190	102
Кол-во топлива / энергии	19 тонн	2,6 тонны	1,4 тонны

Источник: составлено авторами.

Таблица 7

Результаты показателей эффективности мониторинга лесопожарной обстановки

Показатели	Пилотируемая авиация	Беспилотная авиация	Отношение, %
Предотвращенный ущерб от лесных пожаров за ед. затрат, тыс. р.	9,10	51,45	565%
Площадь предотвращенных лесных пожаров за ед. затрат, тыс. р.	0,06	0,34	565%
Охват территории лесных массивов за ед. затрат, га/р.	1,24	4,48	360%

Источник: составлено авторами.

Список литературы

1. *Руководство к исследованию типов леса.* – 3-е изд., допол. – М.; Л.: Гос. изд-во с.-х. и колх.-кооп. лит., 1931. – 328 с.
2. Курбатский, Н. П. Методические указания для опытной разработки местных шкал пожарной опасности. – Л.: ЦНИИЛХ, 1954. – 33 с.
3. Комарек Эдвард, В. Природа пожаров от молний. – Исследовательская станция «Талл Тимберс», 1968.
4. Купер, Ч. Ф. «Экология огня» // *Scientific American*. – Т. 204, № 4, апрель 1961. – С. 150-160.
5. Ван Вагнер, К. Э., Пикетт, Т. Л. Уравнения и программа на ФОРТРАНЕ для канадской системы прогноза погоды при лесных пожарах. – Канадская лесная служба, 1970.
6. Валендик, Э. Н., Верховец, С. В., Кисляхов, Е. К. и др. Технологии контролируемых выжиганий в лесах Сибири. – Красноярск, 2011. – 160 с.
7. Арефьев, С. П. Торфяные пожары: механизмы и последствия. – М.: Наука, 2021. – 215 с.
8. Фланниган, М. Д., Стокс, Б. Дж., Уоттон, Б. М. Изменение климата и лесные пожары // *Наука об окружающей среде в целом*. – 2000. – 262 (3). – С. 221-229.
9. Турецкий, М. Р., Эбботт, Б. У., Джонс, М. С. и др. Разрушение вечной мерзлоты ускоряет выброс углерода // *Nature*. – 2020. – 569 (7754). – С. 32-34.
10. Гранстрем, Й. Борьба с пожарами в бореальных лесах: экологические перспективы // *Международный журнал о лесных пожарах*. – 2003. – 12 (4). – С. 391-402.
11. Касишке, Э. С., Стокс, Б. Дж. (ред.). Пожары, изменение климата и круговорот углерода в бореальных лесах. – Springer-Verlag, 2000.
12. Роджерс, Б. М., Натали, С., Уоттс, Дж. Д. и др. Выбросы углекислого газа в Арктике и бореальной зоне в результате лесных пожаров ускоряют изменение климата // *Nature Climate Change*. – 2022. – 12 (6). – С. 541-548.
13. Элвидж, К. Д., Хобсон, В. Р., Нельсон, И. Л. и др. DMSP-оценка площади тропических лесов, пострадавших от пожаров // *Дистанционное зондирование окружающей среды*. – 2001. – 77 (2). – С. 163-178.
14. Джильо, Л., Десклоитрес, Дж., Джастис, К. О., Кауфман, П. Дж. Усовершенствованный контекстуальный алгоритм обнаружения пожара для MODIS // *Дистанционное зондирование окружающей среды*. – 2003. – 87 (2-3). – С. 273-282.
15. Сток, Б. Дж., Мейсон, Дж. А., Тодд, Дж. Б. и др. Крупные лесные пожары в Канаде, 1959-1997 // *Журнал геофизических исследований: Атмосферы*, 2002. – 107 (D1). – FFR 2-1–FFR 2-12.
16. Валендик, Э. Н., Кисляхов, Е. К. Современные методы мониторинга и прогнозирования лесных пожаров. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2015. – 234 с.
17. Сухинин, А. И. Космический мониторинг термоаномалий на основе данных MODIS // *Исслед. Земли из космоса*. – 2005. – № 3. – С. 68-77.
18. Веравербеке, Сандер и др. Оценка степени тяжести пожара с использованием данных визуализационной спектроскопии, полученных с помощью бортового спектрометра визуализации в видимом/инфракрасном диапазоне (AVIRIS) // *Дистанционное зондирование окружающей среды*. – Т. 154. – 2014. – С. 153-63.
19. Уилфрид, Шредер, Патрисия, Олива, Луис, Джильо, Иван, А. Сисар. Новый информационный продукт для активного обнаружения пожара VIIRS 375m: описание алгоритма и первоначальная оценка // *Дистанционное зондирование окружающей среды*. – 2014. – Том 143. – С. 85-96.
20. Европейская комиссия. Служба управления чрезвычайными ситуациями Copernicus – Быстрое картографирование, 2023.
21. Чиприани, Э., Петрокки, А., Касальи, Н. Подходы к глубокому обучению для обнаружения лесных пожаров в режиме, близком к реальному времени, с использованием спутниковых данных из нескольких источников. *Дистанционное зондирование*. – 2022. – 14(12).
22. Андреевский, Б. Р., Попов, А. М., Михайлов, В. А., Попов, Ф. А. Применение методов искусственного интеллекта для управления полетом беспилотных летательных аппаратов // *Аэрокосмическая техника и технологии*. – 2023. – № 2.
23. Кушнир, Е. И., Напольских, Д. Л. Методы государственного мониторинга и предотвращения лесных пожаров // *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. – 2022. – № 8-2 (71). – С. 45-48.
24. В Югре начала работать уникальная система видеомониторинга «Лесохранитель». Департамент информационных технологий и цифрового развития ХМАО – Югры. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: depit.admhmao.ru.

References

1. *A guide to the study of forest types.* – 3rd ed., supplement. – M.; L.: State Publishing House of agricultural and agricultural enterprises. – Co-op. lit., 1931. – 328 p.
2. Kurbatsky, N. P. Methodological guidelines for the experimental development of local fire hazard scales. – L.: TSNILKH, 1954. – 33 p.
3. Komarek, Edward, V. The nature of fires caused by lightning. – Tall Timbers Research Station, 1968.
4. Cooper, C. F. "Ecology of fire" // *Scientific American*. – Vol. 204, № 4, April 1961. – Pp. 150-160.
5. Van Wagner, K. E., Pickett, T. L. Equations and a FORTRAN program for the Canadian forest fire weather forecasting system. – Canadian Forest Service, 1970.
6. Valendik, E. N., Verkhovets, S. V., Kisilyakhov, E. K. et al. Technologies of controlled burning in the forests of Siberia. – Krasnoyarsk, 2011. – 160 p.
7. Arefyev, S. P. Peat fires: mechanisms and consequences. – Moscow: Nauka Publ., 2021. – 215 p.
8. Flannigan, M. D., Stokes, B. J., Watton, B. M. Climate change and forest fires // *Science of the environment in general*. – 2000. – 262 (3). – Pp. 221-229.
9. Turetsky, M. R., Abbott, B. W., Jones, M. S. and others. Destruction of permafrost accelerates carbon emissions // *Nature*. – 2020. – 569 (7754). – Pp. 32-34.
10. Granstrom, J. Fire fighting in boreal forests: environmental perspectives // *The International Journal of Forest Fires*. – 2003. – 12 (4). – Pp. 391-402.
11. Kasishke, E. S., Stokes, B. J. (eds.). Fires, climate change, and carbon cycling in boreal forests. – Springer-Verlag, 2000.
12. Rogers, B. M., Natalie, S., Watts, J. D. and others. Carbon dioxide emissions in the Arctic and boreal zone as a result of forest fires accelerate climate change // *Nature Climate Change*. – 2022. – 12 (6). – С. 541-548.
13. Elvidge, K. D., Hobson, V. R., Nelson, I. L. et al. DMSP-assessment of the area of tropical forests affected protection from fires // *Remote sensing of the environment*. – 2001. – 77 (2). – Pp. 163-178.
14. Giglio, L., Descloitres, J., Justice, K. O., Kaufman, P. J. Improved contextual fire detection algorithm for MODIS // *Remote sensing of the environment*. – 2003. – 87 (2-3). – Pp. 273-282.
15. Stock, B. J., Mason, J. A., Todd, J. B. et al. Large forest fires in Canada, 1959-1997 // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2002. – 107 (D1). – FFR 2-1–FFR 2-12.
16. Valendik, E. N., Kisilyakhov, E. K. Modern methods of monitoring

- and forecasting forest fires. – Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2015. – 234 p.
17. *Sukhinin, A. I.* Space monitoring of thermoanomaly based on MODIS data // *Research. Earth from outer space.* – 2005. – № 3. – Pp. 68-77.
 18. *Veraverbeke, Sander et al.* Assessment of the severity of the fire using imaging spectroscopy data obtained using an on-board visible/infrared imaging spectrometer (AVIRIS) // *Remote sensing of the environment.* – Vol. 154. – 2014. – Pp. 153-63.
 19. *Wilfrid, Schroeder, Patricia, Oliva, Luis, Giglio, Ivan, A. Sisar.* New information product for active fire detection VIIRS 375m: algorithm description and initial evaluation // *Remote sensing of the environment.* – 2014. – Volume 143. – Pp. 85-96.
 20. *The European Commission.* Copernicus Emergency Management Service – Fast mapping, 2023.
 21. *Cipriani, E., Petrocchi, A., Casagli, N.* Approaches to deep learning for forest fire detection in near real time using satellite data from multiple sources. *Remote sensing.* – 2022. – 14(12).
 22. *Andreevsky, B. R., Popov, A. M., Mikhailov, V. A., Popov, F. A.* Application of artificial intelligence methods for flight control of unmanned aerial vehicles // *Aerospace Engineering and Technology.* – 2023. – № 2.
 23. *Kushnir, E. I., Napolskikh, D. L.* Methods of state monitoring and prevention of forest fires // *International Journal of Humanities and Natural Sciences.* – 2022. – № 8-2 (71). – Pp. 45-48.
 24. A unique video monitoring system “Lesohranitor” has started operating in Ugra. Department of Information Technology and Digital Development of Khanty–Mansi Autonomous Okrug – Yugra. – [Electronic resource]. – Access mode: depit.admh-mao.ru.

Информация об авторах

Раздроков Е.Н., кандидат экономических наук, доцент высшей школы цифровой экономики Югорского государственного университета (г. Ханты-Мансийск, Российская Федерация).

Волков Д.В., магистрант Югорского государственного университета, независимый исследователь (г. Ханты-Мансийск, Российская Федерация).

Information about the authors

Razdrokov E.N., PhD in Economics, Associate Professor of the Higher School of Digital Economics at the Yugra State University (Khanty-Mansiysk, Russian Federation).

Volkov D.V., magister student at the Yugra State University, independent researcher (Khanty-Mansiysk, Russian Federation).

© Раздроков Е.Н., Волков Д.В., 2025.

© Razdrokov E.N., Volkov D.V., 2025.