

УДК 614. 841.42

DOI: 10.37468/2307-1400-2023-2-76-90

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПРИ ПОЖАРАХ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА

Матвеев Александр Владимирович
Матиев Руслан Тимурович

Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России
имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Одним из основных факторов, обеспечивающих снижение риска возникновения природных пожаров или их оперативную ликвидацию на начальной стадии пожара, является создание эффективной системы мониторинга. Получение достоверных и оперативных данных о природных пожарах позволяет повысить адекватность принимаемых управленческих решений, направленных на реагирование и минимизацию возможного ущерба от пожаров.

В статье рассматриваются различные методы мониторинга возможных природных пожаров в горной местности: космический, авиационный, наземный и с использованием беспилотных летательных аппаратов. Проведен анализ преимуществ и недостатков каждого из методов. Показано, что традиционные методы имеют ограничения, связанные с периодичностью получения данных, точностью измерений, безопасностью, стоимостью и другими факторами. Особенно это проявляется при мониторинге в горной местности.

Применение беспилотных летательных аппаратов рассматривается как перспективное направление, поскольку позволяет получать оперативную информацию с высокой детализацией. Отмечаются преимущества беспилотных летательных аппаратов в скорости реагирования, маневренности, экономической эффективности и отсутствии риска для непосредственных исполнителей.

Рассмотрен пример природного пожара в горной местности, возникший на особо охраняемой природной территории в одном из субъектов Российской Федерации, демонстрирующий недостатки традиционных методов. Показана целесообразность комбинированного подхода для повышения оперативности и точности мониторинга.

Ключевые слова: методы мониторинга, беспилотные летательные аппараты, мониторинг, беспилотные летательные системы, природные пожары, горная местность, управление, моделирование, взаимодействие.

DECISION-MAKING DURING FIRES IN MOUNTAINOUS AREAS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF MONITORING METHODS

Matveev Alexander V.¹
Matiev Ruslan T.¹

¹ St. Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia named after Hero of the Russian Federation Army General E.N. Zinichev, St. Petersburg, Russia

ABSTRACT

One of the main factors ensuring a reduction in the risk of wild fires or their prompt elimination at the initial stage of a fire is the creation of an effective monitoring system. Obtaining reliable and timely data on natural fires makes it possible to increase the adequacy of management decisions aimed at responding to and minimizing possible damage from fires.

The article discusses various methods of monitoring active wildfires in mountainous areas: space, aviation, ground and using unmanned aerial vehicles. An analysis of the advantages and disadvantages of each method was carried out. It has been shown that traditional methods have limitations related to the frequency of data acquisition, measurement accuracy, safety, cost and other factors. This is especially true when monitoring in mountainous areas.

The use of unmanned aerial vehicles is considered a promising direction, as it allows one to obtain operational information with high detail. The advantages of unmanned aerial vehicles are noted in speed of response, maneuverability, economic efficiency and the absence of risk for direct performers.

An example of a natural fire in a mountainous area that occurred in a specially protected natural area in one of the constituent entities of the Russian Federation, demonstrating the shortcomings of traditional methods, is considered. The feasibility of a combined approach for increasing the efficiency and accuracy of monitoring is shown.

Keywords: unmanned aerial vehicles, monitoring, unmanned aerial systems, wildfires, mountainous terrain, management, modeling, interaction.

Введение

Ежегодные финансовые потери от лесных пожаров в Российской Федерации превышают 20 млрд рублей, а более 7,5 населенных пунктов попадают в зону их воздействия. Вызывает озабоченность тот факт, что до 70% всех пожаров происходят в радиусе 5 км от поселений. По оценкам специалистов, для восстановления сгоревшей растительности может потребоваться от 10 до 20 и более лет [1]. Помимо экономического ущерба [2] и существенного вреда окружающей среде [3] лесные пожары представляют значительную угрозу жизни людям.

Одним из приоритетных направлений в снижении риска возникновения природных пожаров и их оперативной ликвидации на начальной стадии является создание эффективной системы мониторинга природных пожаров и своевременного реагирования на них с целью минимизации последствий.

Уровень развития информационных технологий и технических систем, через которые стало возможным реализовывать комплекс мероприятий в интересах защиты территории и населения, позволяет решать некоторые задачи повышенной опасности, не подвергая риску получения ущерба для здоровья и жизни человека. Применение инновационных технологий позволяет человеку оптимизировать многие процессы для снижения экономических затрат без потери качественных характеристик, а в ряде случаев эти технологии способны даже лучше справляться с поставленной задачей.

К технологиям, которые способны заменить или дополнить существующие методы [4] и в некотором роде выполнить задачу эффективнее, относятся беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [5], которые могут оснащаться дополнительным оборудованием в виде камер видеонаблюдения,

сенсоров, системами позиционирования, громкоговорящими устройствами, системой запоминания координат перемещения и мультимедийной информации т.д.

Мониторинг текущей ситуации, связанной с природными пожарами в горной местности с использованием БПЛА, а также алгоритм их применения для построения моделей прогнозирования их развития, а также принятия управленческих решений для снижения негативного влияния природных пожаров на людей и окружающую среду, в целом еще не определен. Отсутствуют методические средства, закрепленные на законодательном уровне, которые бы предусматривали критерии применения тех или средств мониторинга в зависимости от сложившейся оперативно-тактической ситуации и текущих возможностей.

Мониторинг природных пожаров и его роль в принятии решений

Важность своевременного мониторинга возникшего пожара, в том числе определение площадей горения, и построение моделей его развития невозможно переоценить. Комплекс данных мероприятий является одним из важнейших факторов при принятии управленческих решений по определению дальнейших действий по локализации и ликвидации пожаров и связанных с ними ЧС [6], в том числе по формированию планов тушения, распределению ресурсов пожаротушения, оптимизации лесопожарного зонирования и др.

Только своевременное получение информации, обобщение ее, структуризация, полнота и прогнозирование распространения пожаров позволяют обеспечить принятие адекватных управленческих решений.

Для эффективной борьбы с природными пожарами информация должна отвечать следующим принципам:

- содержать все необходимые данные для принятия обоснованного решения;
- быть представлена в удобной форме и быть доступной для лица, принимающего решения;
- предоставляться оперативно, на начальном этапе развития, для своевременного реагирования и обладать возможностью ее применения для различных систем с целью создания единого информационного пространства;
- быть достоверной и точной, получаемой от надежных источников, чтобы избежать ошибок и неправильных выводов;
- быть понятной для интерпретации и использования, а также содержать данные для разработки адекватных моделей и прогнозов развития, чтобы оценить последствия принятого управленческого решения;
- быть актуальной в момент принятия решения, для чего необходимо иметь инструмент, который можно адаптировать к потребностям и обстоятельствам. Актуальная информация позволяет эффективнее реагировать на изменяющиеся условия и корректировать стратегии и тактики борьбы с пожаром.

Существующие методы мониторинга природных пожаров

Эффективная борьба с природными пожарами требует оперативного реагирования и непрерывного мониторинга за складывающейся обстановкой. Решающую роль в принятии управленческого решения по применению сил и средств для локализации и ликвидации природных пожаров играют своевременное обнаружение очага и

получение в реальном времени информации о его распространении. Кроме того, необходимо отметить, что мониторинг и ликвидация природных пожаров в горной местности отличаются от пожаров, возникающих на равнине [7].

Традиционные методы (рис.1) мониторинга природных пожаров предусматривают:

- использование космических средств;
- использование авиационных средств;
- использование наземных средств.

Каждый из применяемых в настоящее время видов и методов мониторинга природных пожаров обладает как определенными достоинствами, так и недостатками [8]. Немаловажную роль играет возможность применения каждого из метода на момент возникновения пожара для оперативного принятия управленческого решения в целях недопущения распространения пожара на большие площади, рационального использования ресурсов и недопущения гибели и травматизма среди населения.

Отсутствие оперативной информации вызывает задержку в реагировании и как следствие влечет за собой ряд негативных последствий выражающихся в увеличении возможных финансовых и материальных потерь, а также может повлечь за собой травматизм и гибель среди населения и участников тушения пожара.

Космический мониторинг природных пожаров

Космический мониторинг природных пожаров представляет собой метод получения информации о пожарах на поверхности Земли с помощью космических аппаратов и сложных информаци-

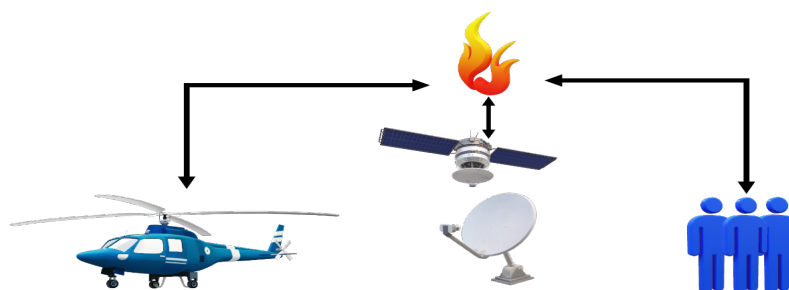


Рисунок 1 – Методы мониторинга природных пожаров

онно-технических систем [9]. Он позволяет оперативно выявлять очаги возгораний, определять их площадь и интенсивность, а также отслеживать распространение огня.

На территории Российской Федерации мониторинг природных пожаров осуществляется с использованием информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства («ИСДМ Рослесхоз») и системы, находящейся в ведении МЧС России, «КАСКАД». Особенности в работе существующих систем космического мониторинга и их различия подробно рассмотрены авторами в работе [10].

Авторы в работах [11, 12] рассмотрели принципы космического мониторинга пожаров, основанного на том, что при горении растительности выделяется тепло, которое может быть обнаружено с помощью различных датчиков, установленных на космических аппаратах. Наиболее распространенными методами космического мониторинга пожаров являются:

- инфракрасное (ИК) излучение (пожары выделяют большое количество тепла, которое может быть зафиксировано в инфракрасном диапазоне. ИК-датчики космических аппаратов регистрируют повышение температуры на поверхности земли, что является признаком пожара);
- снимки видимого диапазона (при горении растительности в атмосферу выделяется дым, который может быть обнаружен на снимках видимого диапазона. Анализ таких снимков позволяет определить местоположение очагов возгораний и оценить их площадь);
- мультиспектральные снимки (мультиспектральные датчики регистрируют электромагнитное излучение в нескольких диапазонах, что позволяет получать более подробную информацию о состоянии земной поверхности. Анализ мультиспектральных снимков позволяет, например, определить тип растительности, на которой возник пожар, и оценить степень его интенсивности).

Космический мониторинг природных пожаров имеет ряд преимуществ перед применением наземного или авиационного мониторинга. Он

позволяет получать информацию о пожарах в труднодоступных районах и на значительных площадях. Но при этом нельзя не отметить ряд существующих недостатков [13]:

- информация формируется с определённой периодичностью, что в некоторых случаях играет немаловажную роль;
- построение моделей развития пожара на основе выявленной площади горения для небольших пожаров имеет значительные погрешности, а горный ландшафт из-за разности крутизны склона и лесистой местности увеличивает этот показатель в несколько раз, особенно это касается низовых природных пожаров;
- при высокой облачности или дымке выявление очагов горения не представляется возможным [14] и, как следствие, на момент возникновения природного пожара определить его площадь, построить модель развития пожара и принять верное управленческое решение по борьбе с природным пожаром будет затруднительно. Это связано с тем, что облачность блокирует инфракрасное излучение, которое является основным признаком пожара;
- фактор отсутствия связи с наземными силами и средствами на месте возникновения пожара в удалённых горных районах затрудняет оперативную передачу спутниковых данных и сведений о развитии пожара для анализа и принятия решения.

Для наглядной демонстрации существующих недостатков применения метода космического мониторинга рассмотрим природный пожар, который произошел в горной местности на территории Карачаево-Черкесской Республики (рис. 2). Особый интерес к данному пожару еще вызван тем, что он произошел на особо охраняемой природной территории в 5-километровой зоне от населённого пункта.

Работники наземных служб Тебердинского национального парка 29.08.2023 около 16:45 получили информацию от очевидцев, что не доезжая около 4 километров до всесезонного курортного поселка Домбай наблюдается открытое горение и сильный дым на склоне горы. На момент сообщения о пожаре системы спутникового мониторинга



Рисунок 2 – Природный пожар на территории Тебердинского национального парка

информацией о возникшем пожаре не располагали. Лишь на следующие сутки 30.08.2023 в 23:04 (МСК) пожар был идентифицирован «ИСДМ Рослесхоз» (рис. 3) и 31.08.2023 в 02:05 (МСК) системой «КАСКАД» (рис. 4). Временной интервал между первым сообщением от очевидцев и получением информации от систем мониторинга составил более 24 часов, а между системами космического мониторинга около 3 часов, но при этом координаты точки регистрации совпадали (+2 км.). Интересная картина определения пло-

щадей и модели распространения природного пожара складывалась в первые и в последующие дни (рис. 5) и (рис. 6), где системы не верно смоделировали и определили направление фронта пожара через дорогу и реку на противоположенный склон горы, где разрыв между ними фактический составил более 100 метров. Однако самое значительное отклонение модели распространения природного пожара наблюдалось 03.09.2023 после проявления в атмосфере высокой (рис. 7), и полной (рис. 8) облачности.

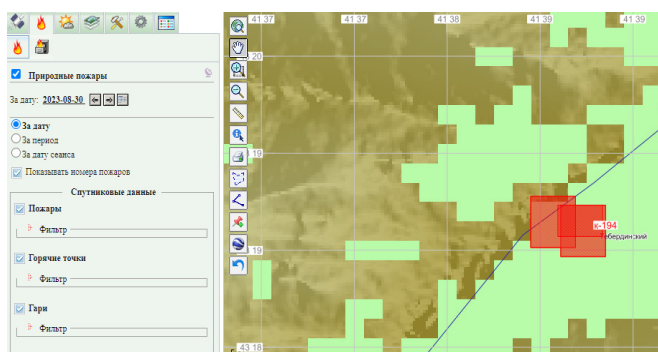


Рисунок 3 – Распространение природного пожара (картографический интерфейс ИСДМ Рослесхоз) (дата 30.08.2023 время 23:04)

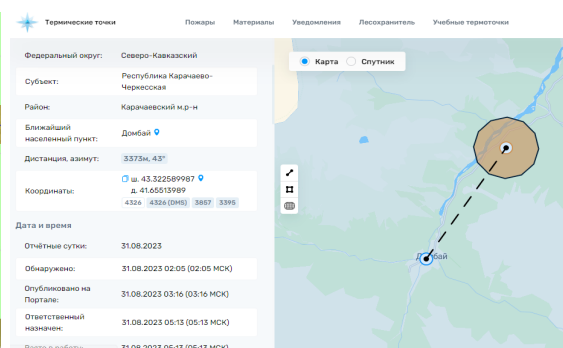


Рисунок 4 – Распространение природного пожара, (картографический интерфейс КАСКАД) (дата 31.08.2023 время 02:05)

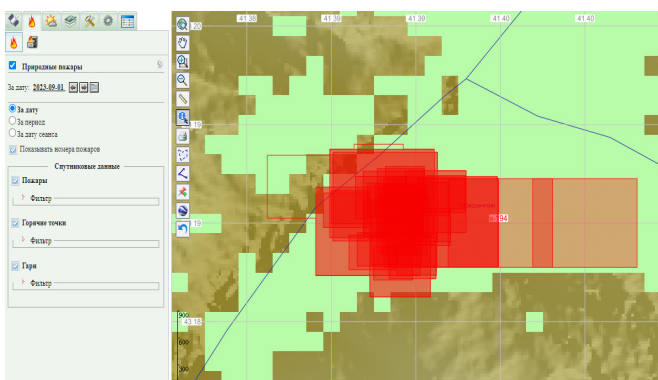


Рисунок 5 – Распространение природного пожара (картографический интерфейс ИСДМ Рослесхоз) (дата 01.09.2023)

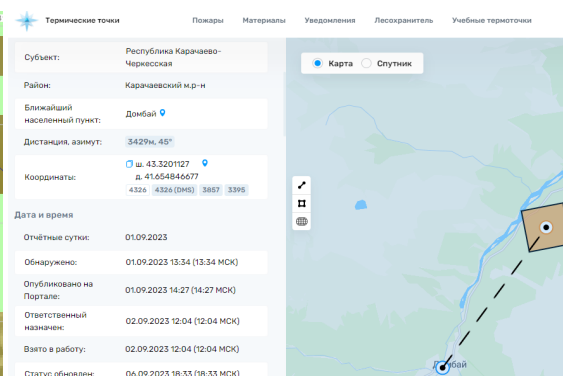


Рисунок 6 – Распространение природного пожара, (картографический интерфейс КАСКАД) (дата 01.09.2023)

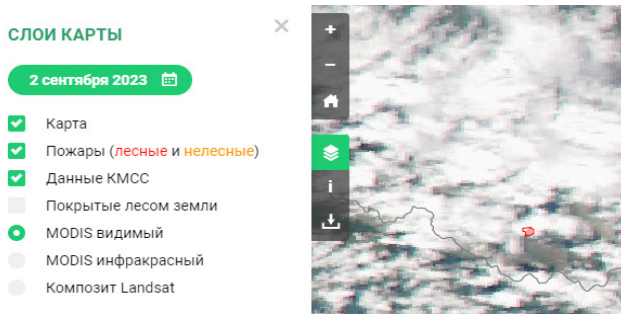


Рисунок 7 – Изображение природного пожара, полученная из картографического интерфейса (карт открытых данных public.aviales.ru) (дата 02.09.2023)

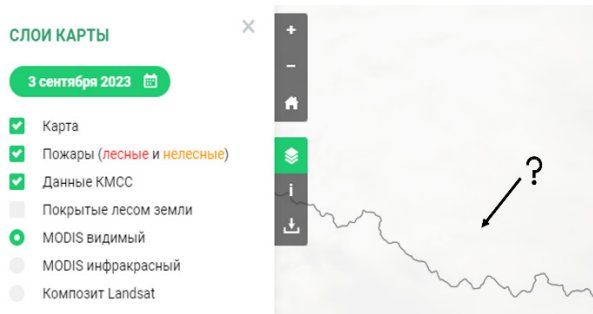


Рисунок 8 – Изображение природного пожара, полученная из картографического интерфейса (карт открытых данных public.aviales.ru) (дата 03.09.2023)

В итоге системами было определено, что с момента возникновения пожара площадь, пройденная огнем, составила 62 га (покрытая лесом 54 га), что не совсем соответствовало действительности. Кроме того, после 2 сентября мониторинг и моделирование природного пожара провести не представлялось возможным по вышеупомянутым причинам, связанным с высокой облачностью.

На рис. 9 наглядно представлен сложный рельеф местности с уклоном горы, который составляет более 70°, а на рис. 10 представлена фотография, сделанная 03.09.2023 из кабины вертолета Ми-8 при пролете над горой, где произошел пожар.

Необходимо отметить, что 03.09.2023 в результате интенсивного горения фронт природного пожара достиг гребня горы, площадь его стала нарастать и для его ликвидации были привлечены 2 вертолета МЧС России МИ-8 с водосливными устройствами, группировка была значительно увеличена, а пожар удалось локализовать и ликвидировать (по данным реестра лесных пожаров на

особо охраняемых природных территориях) лишь к 08.09.2023. На протяжении 5 дней информация о природном пожаре от систем космического мониторинга не поступала.

Ниже приведен сравнительный визуальный анализ по термоточкам в регионах Южного и Северо-Кавказского федеральных округов в безоблачную погоду (дата 20.08.2023) (рис. 11) и снимок с высокой и частично полной облачностью (дата 03.09.2023) (рис. 12) на которых отчетливо прослеживается зависимость от значения шкалы облачности.

Несмотря на некоторые недостатки, космический мониторинг природных пожаров является эффективным инструментом для обеспечения пожарной безопасности и защиты окружающей среды, особенно для природных пожаров большой площади. Он позволяет выявлять очаги возгораний и получать (хоть и с некоторой задержкой) информацию об их развитии, что является важным условием для принятия эффективных мер по защите населения и территории от пожаров.



Рисунок 9 – Модель распространения пожара в соответствии с данными, полученными из ИСДМ Рослесхоз



Рисунок 10 – Фотография пожара из кабины вертолета МЧС России МИ-8 (высота полета около 2600 м.) (дата 03.08.2023)

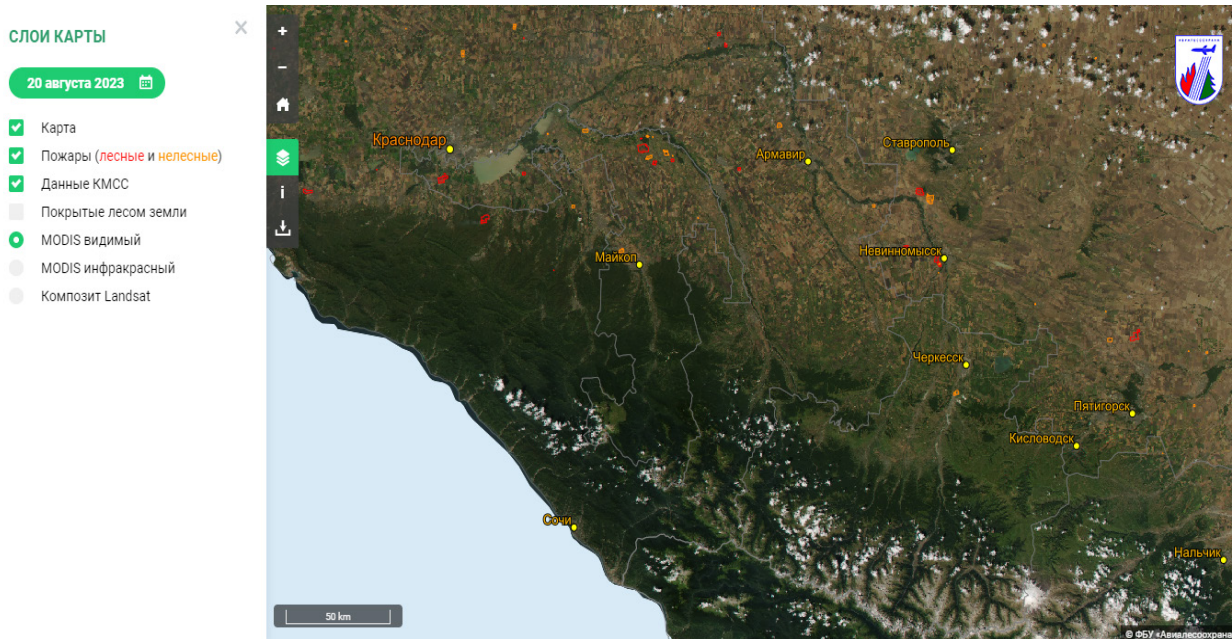


Рисунок 11 – Изображение природного пожара, полученная из картографического интерфейса (карт открытых данных public.aviales.ru)

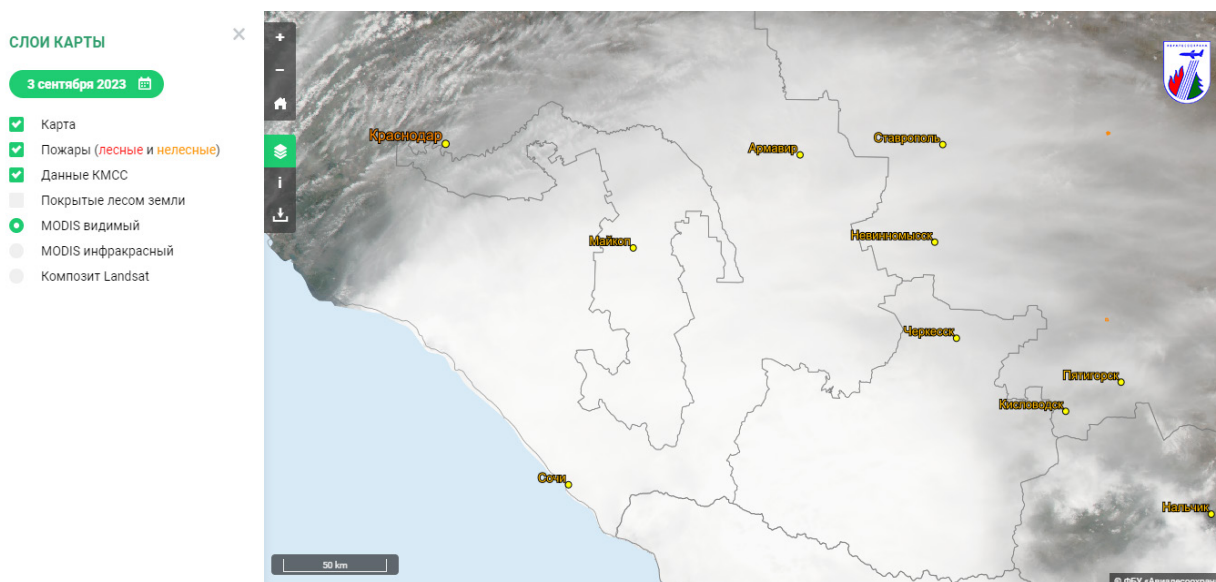


Рисунок 12 – Изображение, полученное из картографического интерфейса (карт открытых данных public.aviales.ru)



Рисунок 13 – Вертолёт Ка-32А



Рисунок 14 – Вертолёт Ми-8МТВ-1

Мониторинг природных пожаров с использованием авиационных средств (пилотируемой авиации)

Под использованием авиационных средств для мониторинга лесных пожаров подразумеваются пилотируемые авиационные системы. Как правило, в Российской Федерации для этих целей используют два основных вертолета: Ка-32 (рис.13) и Ми-8 (рис. 14). Они схожи по своим характеристикам [15, 16] и имеют возможности по практической дальности по разным оценкам от 500 и 800 км соответственно, с расходом топлива около 0,3-0,5 тонны на час полета.

В соответствии с требованиями рекомендаций [17], для точных измерений высота полета над кромкой природного пожара должна составлять 200-500 метров, а скорость полета – до 150 км/ч. При проведении замеров в горах выше 2000 метров рекомендуется летать на высоте не менее 600 метров над поверхностью горы. Изменение высоты в большую сторону может существенно влиять на детализацию измерения контура и, соответственно, площади замера.

С целью получения более точных результатов измерения рекомендуется проводить по касательной к траектории полета. Данные о траектории полета при облете контура лесного пожара автоматически записываются с помощью специального оборудования или приемников сигналов ГЛОНАСС (GPS).

В условиях горной местности совокупность требований для точного измерения является опасной из-за разности рельефа местности (высот, неоднородности) и невозможности маневра на низких скоростях.

Недостатки применения авиационного пилотируемого мониторинга природных пожаров в горной местности можно условно разделить на следующие группы:

1. Ограничения, связанные с риском для жизни и здоровья экипажа:

- высокая степень риска для жизни экипажа в условиях выполнения маневров в горной местности;

- требуется выделанная или специально подготовленная площадка для посадки и взлета применяемой авиации.

2. Ограничения, связанные с требованиями к квалификации экипажа:

- разряженный воздух ограничивает подъемную силу вертолета и маневренность, требуя от пилота более аккуратного и точного управления;
- требуется профессиональное обучение и поддержание навыков у экипажа на высоком уровне в данной местности.

3. Особенности связанные с высокой стоимостью эксплуатации техники:

- высокая стоимость полетного часа, которая может в разы увеличиваться из-за особенностей, возникающих при полетах в горной местности, в том числе из-за разряженного воздуха и неравномерного рельефа местности;
- требуется инфраструктура для дозаправки специальным топливом и постоянное специализированное обслуживание применяемой авиационной техники.

4. Другие особенности:

- каждый маршрут полета необходимо детально планировать и согласовывать;
- при удаленной дислокации вертолета (в другом субъекте) по его прибытии необходимо осуществить посадку и взлет для приема на борт лиц, осуществляющих координацию деятельности на ответственной территории. Это сопровождается потерей времени, увеличивает потенциальные риски аварии и значительно влияет на снижение времени полета.

Таким образом, авиационный пилотируемый мониторинг может быть эффективным способом получения информации о масштабах и динамике распространения лесных пожаров. Однако, его применение в горной местности сопряжено с рядом недостатков. В связи с этим необходимо искать альтернативные методы мониторинга природных пожаров в горной местности, которые будут более безопасными и экономически эффективными.

Мониторинг природных пожаров с использованием наземных служб

Мониторинг природных пожаров в горной местности с использованием наземных служб подразумевает использование наземных средств и методов для наблюдения за пожарами, оценки их масштабов (площадей) и распространения, а также для принятия решений о мерах по тушению [18]. Для мониторинга пожаров используются различные технические средства, такие как тепловизоры, камеры высокого разрешения и др.

Под определением площадей природных пожаров наземными средствами подразумевается использование глазомерно-измерительных приборов, что в горной местности является затруднительным и не всегда эффективным.

Мониторинг природных пожаров в горной местности наземными силами затруднен и опасен по следующим факторам:

- из-за неоднородности рельефа местности (встречаются опасные обрывы, ущелья, скалы и т.д.);
- из-за сильных перепадов высот;
- из-за рисков, связанных с вторичными факторами самого пожара (горение лесной подстилки приводит к образованию камнепада и деревьев в результате ослабления корневой системы).

Кроме того, ограниченность человеческих ресурсов не позволяет охватывать обширные

территории, в результате чего требуется привлечение большого количества людей и техники, что приводит к соответствующим затратам.

При вышеперечисленных факторах лица, проводящие мониторинг, должны быть хорошо подготовлены и иметь опыт работы в сложных условиях для того, чтобы уметь вовремя оценить возникающую опасность в результате распространения пожара.

В труднодоступных районах, таких как горная местность, наземное патрулирование может быть неэффективным или даже невозможным, и оно имеет ряд недостатков, которые могут привести к задержкам передачи достоверной информации о пожаре и снижению точности оценки их масштабов.

Мониторинг природных пожаров с использованием беспилотных летательных аппаратов

К технологиям, которые способны заменить или дополнить существующие методы, и в некотором роде выполнить задачу эффективнее, относятся беспилотные летательные системы (БЛС) (рис.15), в которых основным элементом-непосредственным исполнителем на месте работ являются БПЛА, которые могут оснащаться дополнительным оборудованием в виде камер видеонаблюдения, сенсоров, системами позиционирования, громкоговорящими устройствами, системой запоминания координат перемещения и мультимедийной информации и т.д. [19].



Рисунок 15 – Иллюстрация БЛС

Беспилотные летательные аппараты являются эффективным инструментом для мониторинга природных пожаров. Они обладают рядом преимуществ [20, 21], которые делают их наиболее предпочтительными по сравнению с традиционными методами:

1. Высокая мобильность и маневренность. БПЛА могут быстро и легко перемещаться по труднодоступным районам, что позволяет эффективно контролировать обширные территории.

2. БПЛА (вертолетного типа) не требуют специальной инфраструктуры для взлета и посадки, могут быть запущены из любой удобной точки.

3. В отдельных случаях не требуется специального длительного обучения операторов по управлению БПЛА.

4. Возможность работы на малых высотах и в сложных условиях. БПЛА могут летать ниже и ближе к огню, чем пилотируемые самолеты, что позволяет получать более точные данные о распространении огня.

5. Возможность использования различных датчиков и оборудования. БПЛА могут оснащаться различными датчиками, которые позволяют получать информацию о различных параметрах пожара, таких как его размер, интенсивность и направление распространения, а видеокamеры высокого разрешения позволяют детально проанализировать особенности местности вплоть до создания 3D моделей района мониторинга [22].

6. Возможность автоматического полета в любое время суток. Современные БПЛА могут летать по заранее заданному маршруту, а также в автоматическом режиме вдоль переднего фронта пожара.

7. Экономическая эффективность. Использование БПЛА для мониторинга природных пожаров является более экономичным, чем традиционные методы, такие как использование пилотируемой авиации или наземных патрулей.

Несмотря на ряд преимуществ БПЛА перед другими средствами мониторинга природных пожаров, существует и ряд недостатков, которые связаны с применением БПЛА в горах [23, 24]:

1. Ограниченное время и дальность полета. У многих БПЛА время и дальность полета ограничены, что снижает эффективность длительного мониторинга удаленных районов, а с учетом особенностей горного рельефа местности влияния на время работы и дальность применения БПЛА увеличивается.

2. Технические сбои и помехи. Возможны сбои оборудования БПЛА или помехи сигналу, что приводит к потере данных о геолокации аппарата или невозможности передачи данных в режиме реального времени.

3. Влияние погодных условий. Дождь, туман, сильный ветер могут ограничивать возможности БПЛА по сбору точных данных о пожарах, а в отдельных случаях сделать его применения невозможным.

4. Сложность интерпретации данных. На сегодняшний день отсутствует единая методика проведения анализа данных, получаемых от БПЛА и алгоритма применения информации с целью ее эффективного применения.

Несмотря на существующие недостатки, мониторинг природных пожаров в горной местности с использованием БПЛА является перспективным направлением. БПЛА позволяют получать актуальную информацию о пожарах в труднодоступных местах, не подвергая опасности людей. Дальнейшие исследования в этой области необходимы для снижения влияния выявленных недостатков на эффективность применения БПЛА.

Результаты сравнительного анализа методов мониторинга природных пожаров в горной местности

Сравнительный анализ применения рассмотренных видов мониторинга природных пожаров проводился через призму совокупности критериев сравнения на основе классического метода «Светофор», который основан на присвоении по каждому критерию для рассматриваемых видов мониторинга одного из трех цветов: зеленого, желтого или красного.

На начальном этапе были определены критерии, по которым проводилось оценивание альтернативных вариантов. В табл. 1 представлены

Таблица 1 – Сравнительный анализ методов мониторинга природных пожаров

Критерии	Методы мониторинга			
	Космический мониторинг	Авиационный (пилотируемый) мониторинг	Мониторинг с использованием наземных служб	Мониторинг с использованием БПЛА
Оперативность	Желтый	Красный	Красный	Зеленый
Точность	Желтый	Красный	Красный	Зеленый
Площадь покрытия	Зеленый	Желтый	Красный	Красный
Экономическая эффективность	Зеленый	Красный	Красный	Желтый
Безопасность	Зеленый	Желтый	Желтый	Зеленый
Доступность	Желтый	Красный	Красный	Желтый
Автономность	Красный	Красный	Желтый	Зеленый
Возможность использования при сложных погодных условиях	Зеленый	Красный	Желтый	Желтый
Возможность интеграции с другими системами	Зеленый	Желтый	Зеленый	Желтый
Экологичность	Зеленый	Красный	Зеленый	Зеленый
Трудоемкость процесса мониторинга	Зеленый	Красный	Красный	Желтый

результаты сравнительного анализа рассмотренных методов мониторинга природных пожаров по выделенным критериям оценивания. Зеленый цвет соответствует высокому уровню по данному критерию, желтый – частичному соответствию, красный – минимальному соответствию предъявляемым требованиям по критерию оценивания.

Из представленных результатов видно, что авиационный и наземный вид мониторинга значительно уступают космическому мониторингу и мониторингу с использованием БПЛА. В то же время, при сравнении космического мониторинга и мониторинга с использованием БПЛА второй вид оказывается более выигрышным по таким критериям как: оперативность; точность; автономность. При этом к слабой стороне применения БПЛА для мониторинга природных пожаров можно отнести ограниченность покрытия территории.

Необходимо отметить, что данное сравнение проводилось в контексте применения методов мониторинга при пожарах, возникающих именно в горной местности. Выбор конкретного метода должен осуществляться с учетом существующих задач мониторинга и условий его проведения в каждом конкретном случае.

Заключение

В статье рассмотрены различные методы мониторинга лесных пожаров в горной местности: космический, авиационный, наземный и с использованием БПЛА. Проведен анализ преимуществ и недостатков каждого из этих методов. Показано, что существующие методы имеют ограничения, связанные с периодичностью получения данных, точностью измерений, безопасностью, стоимостью и другими факторами.

Космический мониторинг позволяет охватывать большие площади, но имеет недоста-

ток в виде задержки в получении информации, а также погрешности в определении размеров небольших очагов и невозможности работы при облачности.

Авиационный мониторинг требует высокой квалификации пилотов, дорогостоящего обслуживания техники и сопряжен с рисками полетов в горах

Наземный мониторинг в горных условиях является крайне неэффективным методом из-за сложностей, вызванных рельефом местности.

Использование БПЛА для мониторинга природных пожаров в горной местности представляется перспективным направлением, поскольку позволяет получать оперативную информацию с более высокой оперативностью и точностью измерения. Развитию научно-методических и алгоритмических средств применения БПЛА для мониторинга в интересах поддержки принятия управленческих решений при пожарах в горной местности будут посвящены дальнейшие исследования.

Список источников

1. *Матвеева А.Г.* Динамика лесных пожаров на Дальнем Востоке России // Сибирский лесной журнал. – 2021. – № 6. – С. 30-38. – DOI 10.15372/SJFS20210603. – EDN NYXBFC.
2. *Крот А.А.* К проблеме определения экономического ущерба от лесного пожара: пути решения // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2021. – № 1(8). – С. 229-237. – EDN PTFFZE.
3. Эколого-экономический ущерб от лесных пожаров на примере Ивановской области / О. Г. Зейнетдинова, П. В. Данилов, К. В. Жиганов, М. А. Разводов // Пожарная и аварийная безопасность. – 2020. – № 1(16). – С. 83-87. – EDN GDUGWM.
4. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Приказ от 23 июня 2014 года N 276 «Об утверждении Порядка осуществления мониторинга пожарной опасности в лесах и лесных пожарах».
5. *Pham H.X., La H.M., Feil-Seifer D., Deans M., A distributed control framework for a team of* unmanned aerial vehicles for dynamic wildfire tracking // International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). – Vancouver, BC, Canada, 2017. – pp. 6648-6653. DOI: 10.1109/IROS.2017.8206579.
6. *Матвеев А.В., Бурлов В.Г., Матвеев В.В.* Основы теории анализа и управления риском в чрезвычайных ситуациях. – СПб: Информационный издательский учебно-научный центр «Стратегия будущего», 2003. – 407 с. – EDN ZBTWVN.
7. *Матиев Р.Т.* Особенности тушения лесных пожаров в труднодоступной скалистой местности при аномальных погодных условиях и отсутствии водоисточников // Социально-экономические аспекты принятия управленческих решений: Материалы четвертого межвузовского научного семинара, Москва, 19 февраля 2020 года. – М.: Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2020. – С. 156-161. – EDN LZLCTY.
8. *Масягин М.М.* Сравнительный анализ видов и методов мониторинга лесных пожаров на территории Российской Федерации // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2018. – Т. 1, № 9. – С. 585-588. – EDN YQINHT.
9. *Лобанов А.А.* Геоинформационный мониторинг пожаров // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. – № 2(10). – С. 119-126. – EDN TXNBAD.
10. *Кобыжакова С.В.* Сравнение результатов мониторинга природных пожаров в Красноярском крае системами ИСДМ-Рослесхоз и КАСКАД // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2016. – № 1(1). – С. 45-48. – EDN XBEDPX.
11. Космический мониторинг лесных пожаров: история создания и развития ИСДМ-Рослесхоз / Р. В. Котельников, Е. А. Лупян, С.А. Барталев, Д.В. Ершов // Лесоведение. – 2019. – № 5. – С. 399-409. – DOI 10.1134/S0024114819050048. – EDN FHHQYM.
12. Анализ технологий мониторинга природных пожаров в России. Обзор / А.О. Семенов, В.А. Смирнов, А.В. Суворегин, А.В. Маслов // Научный форум: Инновационная наука :

сборник статей по материалам VI международной научно-практической конференции, Москва, 28 августа – 04 2017 года. Том № 5 (6). – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Международный центр науки и образования», 2017. – С. 34-38. – EDN ZEFFKP.

13. *Thangavel K., Spiller D., Sabatini R., Amici S., Sasidharan S.T., Fayek H., Marzocca P.* Autonomous Satellite Wildfire Detection Using Hyperspectral Imagery and Neural Networks: A Case Study on Australian Wildfire // *Remote Sens.* – 2023. – Vol. 15. – P. 720. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15030720/>

14. *Bouguettaya A. et al.* A review on early wildfire detection from unmanned aerial vehicles using deep learning-based computer vision algorithms // *Signal Processing.* – 2022. – Vol. 190. – P. 108309.

15. *Масленникова Г.Е., Тажетдинов Р.Р.* Обобщение результатов оценки основных летных характеристик вертолетов Ми-8Т и Ми-8МТВ в процедуре сертификации экземпляра воздушного судна // *Научный вестник ГосНИИ ГА.* – 2018. – № 23. – С. 20-30. – EDN YSUPNB.

16. Руководство по летной эксплуатации вертолета Ка-32. – М.: МГА, 1987.

17. Приказ Минприроды РФ от 05.05.2016 N 277 «Об утверждении методических указаний по измерению площади, пройденной огнем при лесном пожаре» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 16.09.2016 N 43679).

18. *Кудрин А.Ю., Запорожец А.И., Подрезов Ю.В.* Современные методы обнаружения и мониторинга лесных пожаров // *Технологии гражданской безопасности.* – 2006. – Т. 3, № 4(12). – С. 66-67. – EDN JUIIОC.

19. *Aral R.A., Zalluhoğlu C., Sezer E.A.* Wildfire Classification Using Infrared Unmanned Aerial Vehicle Data with Convolutional Neural Networks // *2023 International Conference on Smart Applications, Communications and Networking (SmartNets).* – IEEE, 2023. – P. 1-6.

20. *Нугуманов Р.Ф., Мельникова А.С.* Мониторинг лесных пожаров с использованием БПЛА // *Мавлютовские чтения: Материалы XVI Всероссийской молодежной научной конференции.* В 6-ти томах, Уфа, 25–27 октября 2022 года. Том 4.

– Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2022. – С. 303-306. – EDN ZFUFHD.

21. *Осинов В.Ю.* Современные методы прогнозирования, мониторинга и профилактики лесных пожаров // *Молодой ученый.* – 2022. – № 51(446). – С. 626-629. – EDN DHXIOI.

22. *Akhoulfi M.A., Couturier A., Castro N.A.* Unmanned Aerial Vehicles for Wildland Fires: Sensing, Perception, Cooperation and Assistance // *Drones.* – 2021. – Vol. 5. – P. 15. – DOI: <https://doi.org/10.3390/drones5010015>

23. *Fernández-Guisuraga J. M. et al.* Using unmanned aerial vehicles in postfire vegetation survey campaigns through large and heterogeneous areas: Opportunities and challenges // *sensors.* – 2018. – Vol. 18. – No. 2. – P. 586.

24. *Мокрова М.И.* Исследование влияния сложных условий пожарной обстановки на качество наблюдения и безопасность полёта БЛА // *Известия ЮФУ. Технические науки.* – 2021. – № 1(218). – С. 112-124. – DOI 10.18522/2311-3103-2021-1-112-124. – EDN DWNZLL.

References

1. *Matveeva A.G.* Dynamics of forest fires in the Russian Far East // *Siberian Forest Journal.* – 2021. – No. 6. – P. 30-38. – DOI 10.15372/SJFS20210603. – EDN HYXBFC.

2. *Krot A.A.* To the problem of determining economic damage from a forest fire: solutions // *Fire and technosphere safety: problems and ways of improvement.* – 2021. – No. 1(8). – pp. 229-237. – EDN PTFPZE.

3. Ecological and economic damage from forest fires on the example of the Ivanovo region / *O. G. Zeinetdinova, P. V. Danilov, K. V. Zhiganov, M. A. Razvodov* // *Fire and emergency safety.* – 2020. – No. 1(16). – pp. 83-87. – EDN GDUGWM.

4. Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation. Order of June 23, 2014 N 276 “On approval of the Procedure for monitoring fire danger in forests and forest fires.”

5. *Pham H.X., La H.M., Feil-Seifer D., Deans M.,* A distributed control framework for a team of

- unmanned aerial vehicles for dynamic wildfire tracking // International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). – Vancouver, BC, Canada, 2017. – pp. 6648-6653. DOI: 10.1109/IROS.2017.8206579.
6. *Matveev A.V., Burlov V.G., Matveev V.V.* Fundamentals of the theory of analysis and risk management in emergency situations. – St. Petersburg: Information Publishing Educational and Scientific Center “Strategy of the Future”, 2003. – 407 p. – EDN ZBTTWN.
 7. *Matiev R.T.* Features of extinguishing forest fires in hard-to-reach rocky areas under abnormal weather conditions and the absence of water sources // Socio-economic aspects of management decision making: Materials of the fourth interuniversity scientific seminar, Moscow, February 19, 2020 of the year. – Moscow: Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Relief, 2020. – P. 156-161. – EDN LZLCTY.
 8. *Masyagin M.M.* Comparative analysis of types and methods of monitoring forest fires on the territory of the Russian Federation // Fire safety: problems and prospects. – 2018. – T. 1, No. 9. – P. 585-588. – EDN YQIHIT.
 9. *Lobanov A.A.* Geoinformation monitoring of fires // Educational resources and technologies. – 2015. – No. 2(10). – P. 119-126. – EDN TXNBAD.
 10. *Kobyzhakova S.V.* Comparison of the results of monitoring natural fires in the Krasnoyarsk Territory with the ISDM-Rosleskhoz and CASCADE systems // Siberian Fire and Rescue Bulletin. – 2016. – No. 1(1). – pp. 45-48. – EDN XBEDPX.
 11. Space monitoring of forest fires: history of the creation and development of ISDM-Rosleskhoz / R.V. Kotelnikov, E.A. Lupyanyan, S.A. Bartalev, D.V. Ershov // Forestry. – 2019. – No. 5. – P. 399-409. – DOI 10.1134/S0024114819050048. – EDN FHHQYM.
 12. Analysis of technologies for monitoring natural fires in Russia. Review / A. O. Semenov, V. A. Smirnov, A. V. Surovegin, A. V. Maslov // Scientific forum: Innovative science: collection of articles based on the materials of the VI international scientific and practical conference, Moscow, August 28 – 04 2017. Volume No. 5 (6). – Moscow: Limited Liability Company “International Center for Science and Education”, 2017. – P. 34-38. – EDN ZEFFKP.
 13. *Thangavel K., Spiller D., Sabatini R., Amici S., Sasidharan S.T., Fayek H., Marzocca P.* Autonomous Satellite Wildfire Detection Using Hyperspectral Imagery and Neural Networks: A Case Study on Australian Wildfire // Remote Sens. – 2023. – Vol. 15. – P. 720. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15030720/>
 14. *Bouguettaya A. et al.* A review on early wildfire detection from unmanned aerial vehicles using deep learning-based computer vision algorithms // Signal Processing. – 2022. – Vol. 190. – P. 108309.
 15. *Maslennikova G.E., Tazhetdinov R.R.* Generalization of the results of assessing the main flight characteristics of Mi-8T and Mi-8MTV helicopters in the procedure for certification of an aircraft copy // Scientific Bulletin of the State Research Institute of Civil Aviation. – 2018. – No. 23. – P. 20-30. – EDN YSUNPB.
 16. Flight manual for the Ka-32 helicopter. – M.: MGA, 1987.
 17. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated May 5, 2016 N 277 “On approval of guidelines for measuring the area covered by fire during a forest fire” (Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on September 16, 2016 N 43679).
 18. *Kudrin A.Yu., Zaporozhets A.I., Podrezov Yu.V.* Modern methods of detection and monitoring of forest fires // Civil security technologies. – 2006. – Vol. 3, No. 4(12). – P. 66-67. – EDN JUIIOC.
 19. *Aral R.A., Zalluhoğlu C., Sezer E.A.* Wildfire Classification Using Infrared Unmanned Aerial Vehicle Data with Convolutional Neural Networks // 2023 International Conference on Smart Applications, Communications and Networking (SmartNets). – IEEE, 2023. – pp. 1-6.
 20. *Nugumanov R.F., Melnikova A.S.* Monitoring forest fires using UAVs // Mavlyutov readings: Materials of the XVI All-Russian Youth Scientific Conference. In 6 volumes, Ufa, October 25–27, 2022. Volume 4. – Ufa: Ufa State Aviation Technical University, 2022. – P. 303-306. – EDN ZFUFHD.
 21. *Osipov V.Yu.* Modern methods of forecasting, monitoring and prevention of forest fires // Young

scientist. – 2022. – No. 51(446). – pp. 626-629. – EDN DHXJOL.

22. *Akhloufi M.A., Couturier A., Castro N.A.* Unmanned Aerial Vehicles for Wildland Fires: Sensing, Perception, Cooperation and Assistance // *Drones*. – 2021. – Vol. 5. – P. 15. – DOI: <https://doi.org/10.3390/drones5010015>

23. *Fernández-Guisuraga J. M. et al.* Using unmanned aerial vehicles in postfire vegetation survey

campaigns through large and heterogeneous areas: Opportunities and challenges // *sensors*. – 2018. – Vol. 18. – No. 2. – P. 586.

24. *Mokrova M.I.* Study of the influence of difficult fire conditions on the quality of observation and safety of UAV flight // *Izvestia of the Southern Federal University. Technical science*. – 2021. – No. 1(218). – pp. 112-124. – DOI [10.18522/2311-3103-2021-1-112-124](https://doi.org/10.18522/2311-3103-2021-1-112-124). – EDN DWNZLL.

Статья поступила в редакцию 05 сентября 2023 г.

Принята к публикации 19 сентября 2023 г.

Ссылка для цитирования: Матвеев А.В., Матиев Р.Т. Принятие решений при пожарах в горной местности: сравнительный анализ методов мониторинга // *Национальная безопасность и стратегическое планирование*. 2023. № 2(42). С. 76-90. DOI: <https://doi.org/10.37468/2307-1400-2023-2-76-90>

For citation: Matveev A.V., Matiev R.T. Decision-making during fires in mountainous areas: a comparative analysis of monitoring methods // *National security and strategic planning*. 2023. № 2(42). pp. 76-90. DOI: <https://doi.org/10.37468/2307-1400-2023-2-76-90>

Сведения об авторах:

МАТВЕЕВ АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной математики и информационных технологий, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева, г. Санкт-Петербург, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0778-3218>

SPIN-код: 5778-8832

e-mail: fcvega_10@mail.ru

МАТИЕВ РУСЛАН ТИМУРОВИЧ – адъюнкт, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева, г. Санкт-Петербург, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9699-986X>

SPIN-код: 7293-7794

e-mail: hamhi@mail.ru

Information about authors:

MATVEEV ALEXANDER V. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the department of applied mathematics and information technologies, St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia named after Hero of the Russian Federation, Army General E.N. Zinichev, St. Petersburg, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0778-3218>

SPIN-код: 5778-8832

e-mail: fcvega_10@mail.ru

MATIEV RUSLAN T. – Graduate, St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia named after Hero of the Russian Federation, Army General E.N. Zinichev, St. Petersburg, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9699-986X>

SPIN: 7293-7794

e-mail: hamhi@mail.ru