

БОТАНИКА, ЛЕСОВЕДЕНИЕ

УДК 614.849

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ БПЛА КВАДРОКОПТЕРНОГО ТИПА В АЛТАЙСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ТУШЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ

Берегошев Д. В., Трифанова С. В., Воробьев Р. И., Клименко Т. В.

*ФГБУ «Алтайский государственный природный биосферный заповедник»,
Горно-Алтайск, Россия.*

E-mail: trifanovasv@mail.ru; zazerkalie04@yandex.ru; tigrussia@mail.ru

Аннотация. В работе описывается практический опыт использования БПЛА квадрокоптерного типа в качестве инструмента обнаружения и мониторинга лесных пожаров в Прителецкой части Алтайского государственного заповедника. Предлагается переход от использования БПЛА квадрокоптерного типа к БПЛА самолетного типа.

Ключевые слова. Природные пожары, беспилотный летательный аппарат самолетного типа, особо охраняемые природные территории, Алтайский заповедник.

PRACTICE OF USING QUADCOPTER-TYPE UAVS IN THE ALTAISKY NATURE RESERVE AND PROSPECTIVE DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF MONITORING AND EXTINGUISHING NATURAL FIRES

Beregoshev D. V., Trifanova S. V., Vorobyov R. I., Klimenko T. V.

Altaysky State Nature Biosphere Reserve, Gorno-Altaysk, Russia.

E-mail: trifanovasv@mail.ru; zazerkalie04@yandex.ru; tigrussia@mail.ru

Abstract. The paper describes the practical experience of using a quadcopter-type UAV as a tool for detecting and monitoring forest fires in the Priteletskaya part of the Altaysky State Nature Reserve. A transition from using a quadcopter-type UAV to an airplane-type UAV is proposed.

Keywords. Wildfires, airplane-type unmanned aerial vehicle, specially protected natural areas, Altaysky Nature Reserve.

Мониторинг лесопожарной ситуации и борьба с возникающими природными пожарами на территории Алтайского природного заповедника являются важными задачами, возложенными на службу охраны Заповедника, и требующими постоянного внимания и модернизации.

Результаты исследований о возникновении, распространении, последствиях для экосистем Алтайского заповедника природных пожаров приведены, например, в статьях [1–4]. В настоящее время технологии использующие беспилотные летательные аппараты (БПЛА) предоставляют дополнительный инструментарий для изучения этого опасного природного явления.

Информации о природных пожарах, возникших в Алтайском заповеднике в период 2014–2023 годов [Летописи природы Алтайского государственного заповедника за 2014–2023 гг.] дополненная оперативными данными за 2024 год приводится в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что основной причиной возникновения природных пожаров в Заповеднике являются грозы. Главным условием возникновения таких пожаров является совпадение по времени и в пространстве грозовой деятельности и состояния пожарной зрелости территории. Горный рельеф Заповедника создает большое разнообразие лесопожарной обстановки даже на сравнительно ограниченной территории. В результате этого в течение всего пожароопасного сезона имеются лесные участки, способные к возгоранию, например, весной

и осенью это южные и западные склоны гор с сухой травой, летом вершины гор, восточные и северные склоны. Над какой бы территорией не наблюдалась гроза, там всегда есть участки в пожарнорзрелом состоянии, и в случае попадания молниевых разрядов в такой участок возможно возникновение пожара [Проект противопожарного обустройства, 2011].

Таблица 1 – Информация о природных пожарах в период 2014-2024 гг.

Год	Число лесных пожаров, шт	Площадь пройденная огнем, га	Информация о возгорании	Причина возникновения
2014	0	0		
2015	2	272,3	ур.Оймок, уч.Чодринский, 272,3 га	гроза
2016		0	0	
2017	2	1,51	19.06.2017, 0,01га	гроза
			29.06.2017, 1,5га	гроза
2018	3	45,2	16.06.2018 – 21.06.2018, 35га	гроза
			25.06.2018 – 29.06.2018, 10га	гроза
			13.07.2018 – 18.07.2018, 0,2га	гроза
2019	1	8,0	14.10.2019 – 16.10.2019, 8,0га	гроза
2020	0	0		
2021	1	8,7	01.06.2021 – 05.06.2021, 8,7га	гроза
2022	0	0		
2023	2	1,5	14.07.2023 – 17.07.2023, 0,5га	гроза
			19.07.2023 – 22.07.2023, 1,0га	гроза
2024	3	3,41	30.06.2024 – 01.07.2024, 0,01га	гроза
			15.08.2024 – 22.08.2024, 1,6га,	гроза
			27.08.2024 – 01.09.2024, 1,8га	гроза

Возникновения природных пожаров по антропогенным причинам за последние 5 лет не зафиксировано, и можно спрогнозировать низкую вероятность антропогенных пожаров из-за малого числа постоянно проживающего населения на территории Заповедника, компактного расположения мест проживания, фактически отсутствующей сети дорог, уровня контроля за соблюдением режима Заповедника, грамотной организации туристическо-рекреационной деятельности.

Таким образом грозы на территории Алтайского заповедника можно считать основным источником возникновения природных пожаров, требующим изучения их специфических особенностей по возникновению, мониторингу и тушению.

Рассмотрим в общих чертах начальные стадии развития лесного пожара от грозы (молниевых разрядов) в условиях Прителецкой части Заповедника.

1. Молниевый разряд и воспламенение лесных горючих материалов.

Удар молнии обычно происходит в локально наиболее высокий объект. При ударе в живое дерево вероятность возникновения возгорания невелика. При ударе в сухостойные деревья иногда загорается надземная часть дерева – возникает так называемая «свечка». Выброс дыма, пламя могут быть зарегистрированы на значительном расстоянии. Ствол дерева может подгореть снизу, упасть и тлеть изнутри 1–1,5 недели создавая пожарную опасность.

Гораздо чаще электрический разряд уходит в землю по стволу и корневой системе сухого дерева, где в почве возникают очаги тления, которые не сразу, возможно даже через несколько суток, пройдя подсыхающую после дождя подстилку, могут воспламенить элементы лесной подстилки. В этот период признаков открытого горения – дыма, пламени – не наблю-

дается, но повышенная температура в областях скрытого горения может быть зарегистрирована с помощью тепловизора.

2. Распространение (расползание) лесного пожара.

Насаждения Прителецкой части Заповедника (участки Яйлинский и Белинский) по данным лесоустройства 2004 г. [Пояснительная записка по Яйлинскому лесничеству. 2004; Пояснительная записка по Белинскому лесничеству, 2004] характеризуется лесистостью 74,3% и 47,2 % с значительным средним запасом древесины 259 кбм и 164 кбм соответственно, при этом санитарное состояние насаждений характеризуется как удовлетворительное. Рельеф гористый, с перепадом высот от 440 до 2400 метров, 31% территории Яйлинского участка имеет крутизну склона более 20 градусов, Белинского – 17%, (таблица 2) что создает повышенную опасность распространения лесного пожара как вверх по склону, так и вниз от падающих горящих частей деревьев, а также по направлению ветра. Наблюдаются формы рельефа, в которых создается эффект аэродинамической трубы. Все эти факторы могут привести в неблагоприятной обстановке к многократному непредсказуемому росту скорости развития лесного пожара. Ветер, низкая облачность и плотные туманы, складки местности часто скрывают признаки возникшего лесного пожара. Тлеющие в складках рельефа части деревьев могут долго сохраняться даже в условиях дождливой погоды, и при усилении ветра послужить источником возобновления пожара.

Перечисленные факторы осложняют обнаружение и разведку возникающих лесных пожаров. Для контроля и наблюдения за динамикой пожарной ситуации требуется частое проведение авиационных обследований совокупно с наземными.

Именно поэтому требуется проведение мониторинга на максимальной площади для оперативного обнаружения возникающих возгораний и принятия мер по их скорейшей ликвидации и недопущения их распространения.

Таблица 2 – Распределение лесных участков по крутизне склона в Алтайском заповеднике.

Участок	Площадь участков, га	Площадь участков с крутизной склона, га			Доля участков с крутизной склона, % от общей площади участка		
		0-20 градусов	более 20 – до 30 градусов	более 30 градусов	0-20 градусов	более 20 – до 30 градусов	более 30 градусов
Яйлинский	95,3	65,6	21,6	8,1	69	23	8
Белинский	326,4	272,6	31,9	21,9	84	10	7
Язулинский	297,8	285,4	10,1	2,3	96	3	1
Чодринский	151,7	143,6	6,5	1,6	95	4	1
Всего	871,2						

С учетом неразвитости дорожно-транспортной сети, невысокой природной опасности и фактической горимости лесов, большая часть территории Заповедника отнесена к зоне авиационной охраны лесов, к наземной зоне обнаружения и тушения лесных пожаров отнесено 90,1 тыс.га (10,4 % от общей площади) [Проект противопожарного обустройства, 2011].

В соответствии с этим в Перечень мероприятий по организации наблюдения и контроля за пожарной опасностью в лесах и лесными пожарами согласно «Плана тушения лесных пожаров на территории лесничества Алтайский заповедник Республики Алтай на период противопожарного сезона 2024 года» [План тушения лесных пожаров, 2023, с. 30] в том числе включены:

1. Круглосуточное дежурство на КПП и пункте диспетчерского управления центральной усадьбы заповедника с. Яйлю;

2. Организация авиационного патрулирования сопредельной территории в соответствии с утвержденными маршрутами патрулирования АУ РА «Алтайская база авиационной охраны лесов от пожаров «Авиалесоохрана»;
3. Организация ежедневного визуального наблюдения за территорией ООПТ;
4. Использование средств космического мониторинга на территории Заповедника и сопредельной с Заповедником территории. Используются ИСДМ-Рослесхоз [10], FIRMS [11].

Также следует отметить активную позицию местного населения, включая тех, кто занимается перевозкой туристов на лодках, по информированию сотрудников Заповедника о случаях возникновения лесных пожаров.

В качестве инструмента обнаружения и разведки лесных пожаров в Заповеднике с 2021 года [Летопись Природы 2021 г, стр. 125, Т. 2] активно используются квадрокоптеры DJI Mavic 3T и DJI Matrice 30, оснащенные тепловизионно-оптическим комплексом с возможностью съемки фото и видео в высоком разрешении как в оптическом так и в инфракрасном диапазоне. В среднем эффективная дальность используемых квадрокоптеров для обследования уже найденных пожаров составляет 4-5 километров, при мониторинге признаков возгораний – 10–12 км.

Кратко обозначим технические характеристики систем космического и авиационного мониторинга, используемых в Заповеднике.

Отраслевая Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) использует в качестве исходной информации данные дистанционного зондирования Земли с пространственным разрешением от 250 метров до 1000 метров в тепловом ИК диапазоне (данные с космических аппаратов «Terra», «Aqua», «Noaa», «Suomi NPP», «Метеор М»), при этом интервал повторной съемки элемента земной поверхности составляет от 2 до 10 дней. Соответственно минимальная площадь достоверным образом обнаруживаемой тепловой точки составляет порядка 100 га. [Дистанционные методы мониторинга..., эл.ресурс].

Мониторинг возникновения пожаров и их динамики осуществляется АУ РА «Алтайская база авиационной охраны лесов от пожаров «Авиалесоохрана» авиационным патрулированием самолетом CESSNA-172 по утвержденному маршруту с периодичностью, зависящей от класса пожарной опасности в лесах. Маршрут патрулирования имеет протяженность 1059 км, продолжительностью 5 часов 20 минут, стоимость летного часа – 57,4 тысяч рублей.

Информационная система Fire Information for Resource Management System (FIRMS) представляет собой интерфейс к обработанным данным инструментов обнаружения тепловых аномалий MODIS, расположенным на борту спутников Terra и Aqua EOS, и инструментам VIIRS – на борту спутников Suomi NPP и NOAA-20/21. Пространственное разрешение составляет 1 км × 1 км для MODIS и 375 м × 375 м для VIIRS.

Ориентировочно можно считать 1-пиксельную тепловую аномалию равной 14 га площади поверхности Земли. Временная частота полного глобального покрытия равна 12 часов. [FIRMS Fire Information..., эл.ресурс].

Недостатками этих систем спутникового мониторинга является большая площадь достоверно обнаруживаемых температурных аномалий (десятки гектар), невысокая периодичность актуализации данных и зависимость получения достоверных результатов от наличия облачности.

При этом спутниковый мониторинг является полезным инструментом для мониторинга объектов большой площади и крупных лесных пожаров, требующий верификации обнаруживаемых событий.

В Алтайском заповеднике имеется значительный опыт использования малых летательных аппаратов для мониторинга лесопожарной обстановки. Так летом 2009 года проводился авиатрулирование на двухместном гидросамолете на поплавках «Птенец-2» [Авиатрулирование охраняемой территории..., эл. ресурс]. Главный вывод по опытной эксплуатации гидросамолета: использование подобных гидросамолетов для патрулирования территории заповедника вполне реально и перспективно, но по организационным причинам не было продолжено [Спицын С.В., устное сообщение].

Начиная с 2021 года для разведки лесных пожаров в Прителецкой зоне Заповедника применяются квадрокоптеры DJI Mavic 3T и DJI Matrice 30, оснащенные тепловизионно-оптическим комплексом с возможностью съемки фото и видео в высоком разрешении как в оптическом, так и в инфракрасном диапазоне.

Для иллюстрации практического применения БПЛА приведем данные по лесному пожару №1, обнаруженному 30.06.2024 г. и ликвидированному 01.07.2024 г. на площади 100 кв.м. в выделе 9 квартала 44 Яйлинского участка Алтайского заповедника на удалении 6 км от с. Яйлю.

Пожар был обнаружен сотрудниками заповедника, возник от грозы – загорелось сухостойное дерево, находившееся на склоне крутизной более 45 градусов на удалении порядка 0,3 км от акватории Телецкого озера. Доступность данного пожара для тушения была осложнена скальным крутым склоном с каменистыми россыпями, поросшими мокрой от дождя травой.

В таких сложных условиях группой пожаротушения из 4 государственных инспекторов Заповедника для достижения места пожара и доставки средств пожаротушения применены элементы альпинистской подготовки. Пожар был успешно потушен, «расползания» пожара не допущено.

В ходе работ по тушению пожара №1 ущерб от погибшей древесины составил 9,6 рублей, затраты на тушение составили 82174,6 рублей, в том числе расход ГСМ – 3557,8 рублей, ФОТ – 69096,7 рублей (рисунки 1–4).

Данный пример является показательным для ситуации, когда лесной пожар, действующий на расстоянии прямой видимости от центральной конторы Заповедника в с. Яйлю, находящийся на удалении 0,3 км от водного транспортного пути и имеющий минимальную площадь, для тушения требует затрат на 4 порядка больших, чем стоимость погибшей древесины.

При тушении пожара №1 с целью мониторинга произведено 4 вылета квадрокоптера, кроме того, операторами квадрокоптера в процессе облета был зафиксирован находящийся рядом медведь. С использованием квадрокоптера был определен маршрут захода на пожар.

В отличие от пожара №1, лесной пожар №2 возник 15.08.2024 г. и потушен 22.08.2024 г. на удалении 49 км от с. Яйлю на склоне горы Тоголок, замыкающей южную часть Телецкого озера, в выделе 11 квартала 24 Белинского участка Алтайского заповедника.



Рисунок 1 – Лесной пожар №1 – фотография в оптическом диапазоне.
Фото Р. И. Воробьев и Т. В. Клименко.

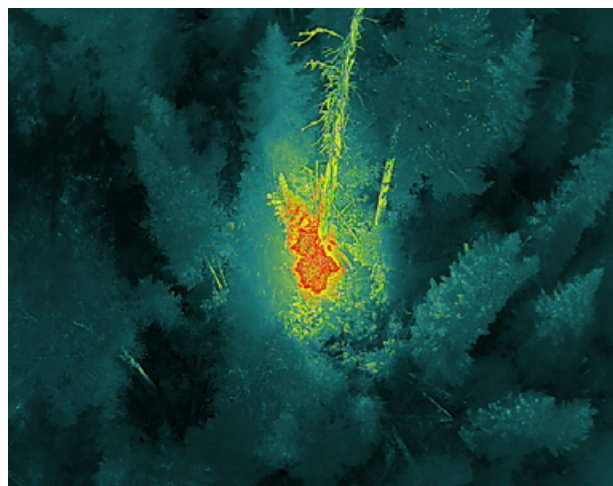


Рисунок 2 – Лесной пожар №1 – фотография в инфракрасном диапазоне.
Фото Р. И. Воробьев и Т. В. Клименко.

Пожар также был обнаружен сотрудниками заповедника, возник от грозы, площадь при обнаружении составила 0,8 га, потушен на площади 1,6 га силами 6 госинспекторов заповедника. Склон крутизной значительно более 45 градусов, наличие большого количества лесных

горючих материалов (старый горельник 2018 года) и сильный шквалистый ветер меняющегося направления не позволяли пожару затухнуть даже при существенных осадках, и требовали частого мониторинга с использованием квадрокоптера и многократных выездов операторов из с. Яйлю к месту пожара, в том числе в условиях значительного волнения на Телецком озере.

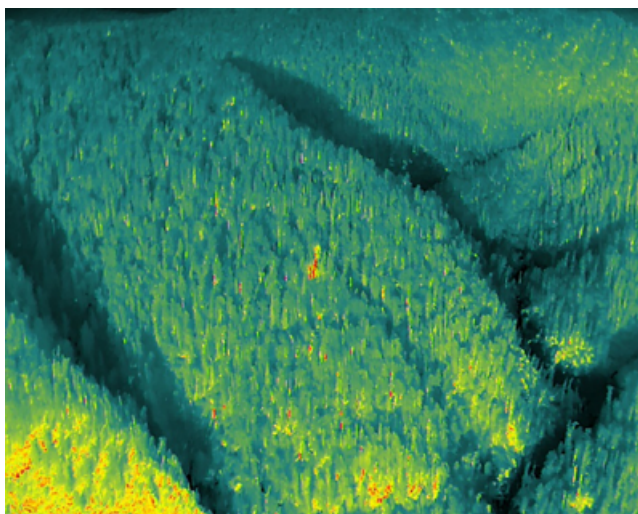


Рисунок 3 – Лесной пожар №1 – обзорная фотография в инфракрасном диапазоне.
Фото Р. И. Воробьев и Т. В. Клименко.



Рисунок 4 – Лесной пожар №1 – местоположение на схеме насаждений Яйлинского участка.

В ходе работ по тушению пожара №2 ущерб от погибшей древесины составил 25295,5 рублей, затраты на тушение составили 199938,6 рублей, в том числе расход ГСМ – 8550,0 рублей, ФОТ – 119613,1 рублей.

В практической работе по тушению возникающих лесных пожаров использовались все доступные силы и средства. По результатам сравнения их характеристик (таблица 3) и показанной эффективности можно сделать вывод о целесообразности использования квадрокоптера как востребованного инструмента мониторинга лесных пожаров.

Таблица 3 – Средства мониторинга, использовавшиеся при тушении пожаров, и их характеристика.

№№ п/п	Средство мониторинга	Характеристики
1	Визуально	Визуально и с помощью бинокля – видимость непостоянная, в зависимости от погодных условий. Неудобные для наблюдения экспозиции склонов. По пожару №1 – из с. Яйлю, по пожару №2 – из к. Беле.
2	Спутниковый мониторинг – ИСДМ Рослесхоз, FIRMS.	Недостаточная частота обновления данных (ИСДМ Рослесхоз – 1 раз в 2 суток, FIRMS – 2 раза в сутки), нет возможности определения динамики пожаров единиц га – недостаточно разрешения сенсоров.
3	Авиационное	Зависимость от погодных условий на маршруте. Для мониторинга одного лесного пожара, действующего в течении нескольких дней, требуется выполнить несколько облетов при стоимости одного облета по утвержденному маршруту порядка 280 тысяч рублей.
4	Обследование квадрокоптером	Обследование двумя операторами квадрокоптером, оборудованным тепловизором. Выезд к месту пожара на катере по Телецкому озеру.

Общая схема обнаружения и тушения природных пожаров может быть обозначена следующим образом:

1. Исходное обнаружение признаков возникновения пожаров:

- детектирование термоточек в ИСДМ-Рослесхоз и FIRMS;
- получение сообщений в ходе проведения патрульных мероприятий сотрудниками ООПТ и с кордонов;
- получение сообщений от местного населения и туристов, лодочников;
- информация, полученная при проведении авиационного патрулирования;

2. Выдвижение с места базирования в с. Яйлю на катере по Телецкому озеру двух обученных операторов дрона на дистанцию дальности полета квадрокоптера. Съемка пожара, возвращение в с. Яйлю и передача первично обработанных материалов по Интернет руководителю тушения лесного пожара и в офис Заповедника. Ситуация осложняется отсутствием на большей части акватории Телецкого озера доступа к сотовой связи и Интернету;

3. На основании анализа переданных фото и видео материалов принимаются оперативные решения по организации тушения лесного пожара, предоставление информации о пожаре в Минприроды России и Рослесхоз;

4. После принятия решения о ликвидации через несколько дней – контрольное обследование.

Перспективным представляется улучшение технических параметров системы мониторинга по следующим направлениям:

- сокращение времени исходного обнаружения;
- минимизация или в идеале исключение времени на доставку квадрокоптера на дистанцию оперативной доступности лесного пожара квадрокоптером;
- реализация передачи оперативной информации о пожаре при облете в режиме on-line,
- включение в систему мониторинга программного обеспечения, позволяющего определять параметры лесного пожара – площадь пожара и ее динамику, координаты контура и его периметр.

Также нужно отметить, что фото и видеоматериалы, полученные с квадрокоптера, являются качественным средством визуализации лесных пожаров.

Большая часть этих задач может быть решена путем перехода от использования БПЛА квадрокоптерного типа к БПЛА самолетного типа с функцией вертикальной посадки.



Рисунок 5 – БПЛА квадрокоптерного типа.



Рисунок 6 – БПЛА самолетного типа.

В качестве примера приведем некоторые актуальные для мониторинга лесных пожаров технические характеристики БПЛА Autel Dragonfish [Dragonfish Технические характеристики..., электронный ресурс]:

- максимальное время полета (со стандартной нагрузкой) – 120 минут;
- максимальная скорость 30 м/с (108 км/час);
- передача видео на расстояние до 30 км.

Сравним с аналогичными характеристиками имеющегося в Заповеднике и применявшегося для мониторинга БПЛА квадрокоптерного типа DJI Mavic 3T:

- максимальное время полета (со стандартной нагрузкой) – 45 минут;
- максимальная скорость 21 м/с (76 км/час);
- передача видео на расстояние до 15 км.

На основании опыта практического применения БПЛА квадрокоптерного типа в Заповеднике можно утверждать, что это эффективный инструмент мониторинга обнаруженных лесных пожаров, с недостаточной эффективностью обнаружения возникающих лесных пожаров.

Таким образом использование БПЛА самолетного типа при разведке и мониторинге лесных пожаров:

- значительно увеличит разовую площадь мониторинга. В случае с квадрокоптерами с максимального расстояния 4-5 км и обнаружения признаков возгорания 10-12 от береговой линии, в случае применения БПЛА самолетного типа – до 30-50 км. То есть по площади разового мониторинга – увеличение составит порядка 10 раз, что при общей площади Заповедника 871.2 тыс.га является очень востребованным для обнаружения и мониторинга лесных пожаров;
- увеличит кратность патрулирования территории и ускорит реагирование на сигналы о возгораниях – время разворачивания комплекса самолетного типа значительно меньше суммарного времени на доставку квадрокоптера катером по Телецкому озеру и облет. Также следует отметить, что запуск из с. Яйлю позволил бы контролировать всю При-телецкую территорию Заповедника, а с кордона Беле – и значительную часть южных территорий. Отпадёт необходимость в доставке оператора БПЛА квадрокоптерного типа на точки для обследования более отдаленных участков территории ввиду меньшей дальности полета в сравнении с БПЛА самолетного типа;
- обеспечит возможность практически всепогодного регулярного авиапатрулирования территории с учетом установившегося класса природной пожарной опасности – по причине отсутствия зависимости от условий ветроволнового режима озера;
- предоставит техническую возможность проводить облет территории по полетному заданию в полностью автономном режиме и производить мониторинг. После возвращения соответственно материалы можно выгрузить, проанализировать и использовать при принятии управленческих решений.

Ранее проведенные исследования природных пожаров на территории Алтайского заповедника с учетом практики использования БПЛА квадрокоптерного типа позволяют с определенностью сказать, что оснащение службы охраны Заповедника БПЛА самолетного типа позволит реализовать эффективную систему мониторинга и разведки природных пожаров.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации (тема №1024040200040-5-1.6.20 Многолетняя динамика экосистем, природных ландшафтов и природных комплексов Алтайского государственного заповедника: изучение естественного хода процессов и явлений в целях обеспечения сохранения природной среды, в том числе естественных экологических систем, объектов животного и растительного мира (1-22-2-1)).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черткова Е. П. Пожары как фактор снижения объема экосистемных услуг лесов Алтайского государственного заповедника // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Алтай-трансграничный: природный, социально-экономический, культурный и рекреационный портал Евразии». — Горно-Алтайский государственный университет (Горно-Алтайск) – 2020. – С. 173–180.

2. Сахневич М. Б., Чухонцева С. В. Пожары в Алтайском заповеднике и причины их возникновения // Вестник научных конференций, Тамбов. 2018. – №4-4(32). – С. 113–119.

3. Сахневич М. Б. Послепожарные изменения в сосняках Алтайского заповедника // Труды Заповедника «Тигирекский». – 2005 – С. 250–254.
4. Каранина С. Ю., Каранин А. В., Лукашева М. А., Глебова А. В. Природные пожары от гроз в Республике Алтай в 2015–2020 гг. и их сопоставление с данными WWLLN // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов («Опасные явления-III»). – Ростов н/Д. 2021. – С. 381–385.
5. Летописи природы Алтайского государственного заповедника за 2014–2023 гг.
6. Проект противопожарного устройства лесов Федерального государственного бюджетного учреждения «Алтайский государственный природный биосферный заповедник», СО РАН, Институт леса им. В. Н. Сукачева. – Красноярск, 2011.
7. Пояснительная записка по Яйлинскому лесничеству Алтайского государственного природного заповедника Республики Алтай – ФГУП «Запсиблеспроект», Омский филиал, Омск. 2004. – 93 с.
8. Пояснительная записка по Белинскому лесничеству Алтайского государственного природного заповедника Республики Алтай – ФГУП «Запсиблеспроект», Омский филиал, Омск, 2004. – 121 с.
9. План тушения лесных пожаров на территории лесничества Алтайский заповедник Республики Алтай на период противопожарного сезона 2024 года – ФГБУ «Алтайский государственный заповедник», 2023.
10. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства [Электронный ресурс]. URL: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml (дата обращения 14.01.2025).
11. FIRMS Fire Information for Resource Management System [Электронный ресурс]. URL: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map> (дата обращения 14.01.2025).
12. Летопись Природы Алтайского государственного заповедника, 2021 г, стр. 125, Т. 2.
13. Авиапатрулирование охраняемой территории – реальность и перспективы [Электронный ресурс]. URL: <https://altzapovednik.ru/news/2009/11/aviapatrul.aspx> (дата обращения 14.01.2025).
14. Спицын С.В., устное сообщение (17.12.2024).
15. Авиапатрулирование охраняемой территории – реальность и перспективы [Электронный ресурс]. URL: <https://altzapovednik.ru/news/2009/11/aviapatrul.aspx> (дата обращения 14.01.2025).
16. Дистанционные методы мониторинга и предупреждения лесных пожаров [Электронный ресурс]. URL: <https://innoter.com/articles/distantionnye-metody-monitoringa-i-preduprezhdeniya-lesnykh-pozharov/> (дата обращения 14.01.2025).
17. FIRMS (Fire Information for Resource Management System) [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/FIRMS> (дата обращения 14.01.2025).
18. Dragonfish: Технические характеристики [Электронный ресурс]. URL: <https://auteldrones-russia.ru/shop/dragonfish/> (дата обращения 14.01.2025).