

ОБНАРУЖЕНИЕ ЗИМУЮЩИХ ТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

Г.В. Куксин¹, И.М. Секерин², С.В. Залесов^{2✉}

¹ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» (ВНИИЛМ), Россия, 141202, Московская обл., г. Пушкино, ул. Институтская, д. 15

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛТУ), Россия, 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37

Zalesovsv@m.usfeu.ru

Проанализированы методы обнаружения зимних торфяных пожаров. Установлена эффективность совместного применения космического, авиационного и наземного мониторингов для надежного обнаружения торфяных пожаров в зимний период. Показана целесообразность проведения авиационного мониторинга с использованием беспилотных летательных аппаратов, оснащенных тепловизионным оборудованием. Указана необходимость первоочередного изучения участков с торфяными почвами, пройденных низовыми пожарами, и установления термоточек для выявления торфяных пожаров.

Ключевые слова: торфяной пожар, зима, тление торфа, космический, авиационный, наземный мониторинг

Ссылка для цитирования: Куксин Г.В., Секерин И.М., Залесов С.В. Обнаружение зимующих торфяных пожаров дистанционными методами // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 4. С. 53–65.

DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-53-65

Большинство ученых, занимающихся изучением климата, как в нашей стране, так и в странах ближнего и дальнего зарубежья, отмечают наблюдающиеся в последние десятилетия изменения климата [1–4]. При этом повышение температуры воздуха в основном сопровождается снижением количества осадков и усилением скорости ветров. В частности, уровень грунтовых вод в пределах Уральского федерального округа понизился на 1,5 м вследствие экстремальных значений температуры воздуха в конце весны и начале лета [1, 5, 6].

Сложившаяся ситуация оказывает непосредственное влияние на показатели горимости лесов. Кроме того, увеличилась продолжительность пожароопасного сезона [7–11], усилилась интенсивность природных пожаров [12–15] и негативных послепожарных последствий [16–20], в том числе сгорание жилых домов, объектов экономики, гибель людей [21]. В связи с этим появилась необходимость разработки мероприятий по повышению пожароустойчивости насаждений [22], созданию эффективной системы противопожарного устройства, способной остановить любой вид природного пожара [23–25]. Особенно важно создание системы противопожарных заслонов вокруг населенных пунктов и объектов экономики [26–28].

В целях совершенствования борьбы с лесными пожарами разрабатываются современные методы оценки пожарной опасности [29–30] и нормативно-

правовые документы, регулирующие вопросы охраны лесов от пожаров [31].

Успешность ликвидации природных пожаров во многом зависит от оперативности их обнаружения [32–34]. В условиях изменений климата, характеризующихся частыми периодами аномально жаркой погоды и недостатком осадков, произошли существенные перемены в развитии лесных пожаров. В частности, почвенные или торфяные лесные пожары [35] чаще всего развивались в виде одноочаговых пожаров в конце лета — начале осени [36]. Основной их причиной установлено неосторожное обращение с огнем местного населения, нередко разводившего костры на участках с торфяными почвами.

В настоящее время причины торфяных пожаров изменились, как и время их возникновения. Вследствие недостатка осадков в Свердловской области уровень грунтовых вод снизился на 1,5 м. Кроме того, на этой территории насчитывается более 80 тыс. га осушенных торфяников. Организации, заготовлявшие торф для использования его в качестве топлива или удобрения сельскохозяйственных угодий, обанкротились, и осушенные участки остались бесхозными. В результате не регулируется уровень грунтовых вод в осушительной сети и не проводятся противопожарные мероприятия, осушительные сети продолжают сбрасывать воду, снижая влажность верхних слоев торфа ниже значений возможного заглубления тления.

Осушенные площади интенсивно зарастают травянистой и древесно-кустарниковой растительностью, которая высыхая после схода снежного



Рис. 1. Зимующий торфяной пожар
Fig. 1. Wintering peat-bog fire



Рис. 2. Перезимовавший торфяной пожар в апреле
Fig. 2. Overwintered peat-bog fire in April



Рис. 3. Ручной тепловизор
Fig. 3. Hand-held thermal imager

покрова создает высокую потенциальную опасность низовых пожаров. В случае возникновения последних они развиваются в многоочаговые торфяные пожары уже в апреле-мае [37, 38]. Тушение таких пожаров исключительно сложно и требует привлечения значительного количества техники и специально подготовленных рабочих [39]. Практически все модели, описывающие будущие пожарные режимы для бореальных, в том числе российских лесов, прогнозируют существенный рост и увеличение интенсивности таких пожаров [40, 41].

Анализируя негативную роль торфяных лесных пожаров нельзя не отметить, что при тлении торфа выделяется значительный объем продуктов неполного сгорания, которые загрязняют атмосферный воздух, создавая реальную угрозу здоровью населения. Мелкие частицы, выделяемые при торфяных пожарах, в процессе дыхания попадают в легкие и оседают там. При этом они, обладая канцерогенными свойствами, провоцируют онкологические заболевания. Ситуация усугубляется тем, что осушенные торфяники, как правило, расположены на незначительном расстоянии от населенных пунктов. Кроме того, процесс ликвидации торфяных пожаров сильно растянут по времени, что связано со сложностью тушения в летний период.

Ведущие научные журналы публикуют статьи, где доказывается, что рекордные выбросы парниковых газов связаны с увеличением количества торфяных пожаров в бореальной зоне. Торфяники, консервировавшие углерод на протяжении предыдущих тысячелетий [41] в процессе пожаров, выбрасывают его в атмосферу в виде углекислого газа.

По мнению многих авторов [42], торфяные пожары осенью как бы «исчезают» с поверхности (рис. 1), тлеют в течение зимы и «возвращаются к жизни» весной (рис. 2). Тление торфяных пожаров может продолжаться несколько лет. В зарубежной литературе такие пожары получили название «зомби-пожары».

Важное значение «зомби-пожаров» в изменениях климата обуславливает необходимость изучения возможности их недопущения или оперативной ликвидации в случае возникновения. Последнее возможно лишь при условии совершенствования способов обнаружения природных пожаров, что обусловило направление наших исследований.

Цель работы

Цель работы — усовершенствование способов обнаружения очагов тления на основании практического опыта выявления и обследования зимующих торфяных пожаров.



Рис. 4. Обследование перезимовавших очагов с применением пирометра для оценки температуры поверхности
Fig. 4. Survey of overwintered fires using a pyrometer to estimate surface temperature



Рис. 5. Обследование бывшего штабеля торфа щупом-термометром
Fig. 5. Survey of a former peat stack using a probe thermometer

Материалы и методы

В ходе исследований опирались на результаты научных исследований, посвященных указанной проблеме, применяли сравнительный и описательный анализы, методы выявления (обнаружения) и обследования очагов зимующих торфяных пожаров, использовали их характеристики, в частности:

- наземные обследования с обнаружением очагов по визуальным признакам (дыму, торфяной золе, проталинам в снеговом покрове) и по характерному запаху.

Такие обследования проводились с использованием ручных тепловизоров (рис. 3), инфракрасных



Рис. 6. Взятие проб буром-пробоотборником конструкции Инсторф
Fig. 6. Sampling with an Instorf drill sampler

пирометров (рис. 4), щупов-термометров (рис. 5), торфяных буров-пробоотборников (рис. 6);

- обследования с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) мультикоптерного типа с фото- и видеокамерами для визуального обнаружения очагов с воздуха (рис. 7);

- авиационные обследования с применением самолета Ан-2 (рис. 8) и вертолета Robinson R66 с визуальным обнаружением очагов тления;

- обследования с помощью БПЛА мультикоптерного типа с тепловизионными камерами для обнаружения очагов тления в инфракрасном диапазоне (рис. 9);

- анализ мультиспектральных космических фотоснимков среднего пространственного разрешения в различных комбинациях каналов и сравнительный анализ участков со следами воздействия огня на растительность на фотоснимках за различные даты для обнаружения признаков действующих (развивающихся) очагов.

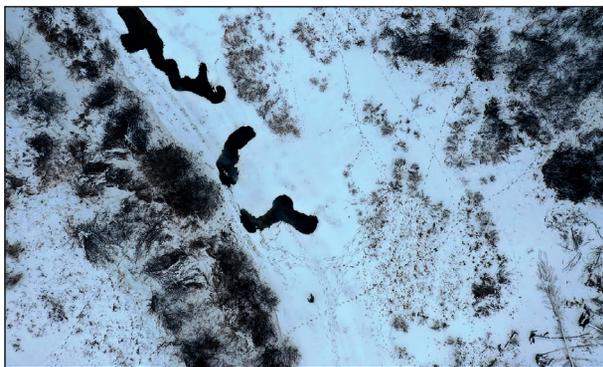


Рис. 7. Обнаружение очагов тления торфа с помощью БПЛА в визуальном режиме

Fig. 7. Detection of peat smouldering sites by UAV in visual mode



Рис. 8. Обследование торфяных пожаров зимой с применением самолета Ан-2. Визуальный режим съемки

Fig. 8. Survey of peat fires in winter using An-2 aircraft. Visual survey mode

На снимках при этом старались дешифровать участки с открытым горением, со следами увядания растительности, со следами сгорания растительности, с дымом, проталинами в небольшом слое снега.

Для проведения исследования были собраны результаты обследования типичных зимующих торфяных пожаров на осушенных болотах в нескольких регионах России в период с 2002 по 2023 гг.

Результаты и обсуждение

Для предварительного определения мест расположения очагов тления, потенциально переходящих в зимний период, были использованы мультиспектральные космические фотоснимки среднего пространственного разрешения Sentinel-2 MSI.

Практика этой работы показала, что для уверенного обнаружения очагов тления важно сравнивать изображения в динамике в различных комбинациях каналов, обращая внимание как на

признаки выделения дыма (для этого оптимальны псевдо натуральные цвета), так и изменения растительного покрова. В некоторых случаях на снимок может попадать открытое горение, которое является несомненным идентификатором активности очагов. В остальных случаях идентификатором служит либо изменение контура выгоревшей площади, либо шлейф дыма с предполагаемых очагов (рис. 10, 11).

Сравнение осеннего и зимнего снимков торфяного пожара (см. рис. 10) позволяет сделать предварительный вывод о том, что проталины соответствуют действующим очагам.

Для проверки предположений о расположении очагов тления, сделанных по данным космической фотосъемки, дополнительно с помощью БПЛА, оснащенных тепловизионными камерами (рис. 12), были проведены обследования участка, а также наземное обследование (рис. 13) с применением ручных тепловизоров, шупов-термометров, пирометров, влагомеров. В некоторых случаях для изучения структуры очагов и создания глубоких разрезов через них применялись ручные моторизованные траншекопатели (георипперы) (рис. 14).

Проведенные обследования с применением БПЛА мультикоптерного типа с тепловизионными камерами показали, что наилучший результат отмечается при использовании тепловизионной камеры с разрешением 640×512 пк.

Лимитирующим фактором при выполнении полетов в зимний период является температура воздуха, при которой может работать тепловизионная камера. Большинство тепловизионных камер, используемых на БПЛА, не могут работать при температуре ниже $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Полет желательно совершать при температуре не ниже $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, с учетом того, что на высоте 300 м от поверхности земли температура в среднем опускается на $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Оптимальным для надежного обнаружения очагов тления является автоматический полет с перекрытием поля зрения как визуальной, так и тепловой камеры не менее чем на 30...40 %. В случае если при постобработке требуется построение ортофотопланов, в том числе по тепловым изображениям, желательно перекрытие полей получаемых снимков не меньше 70 % в продольном направлении вдоль движения и не менее 50 % в поперечном. При соблюдении этих условий и при высоте полета, обеспечивающей разрешение снимка около 10 см на 1 пк и выше (для большинства применяемых ныне БПЛА это высота до 300 м от поверхности земли). Такое обследование позволяет обнаружить все очаги тления, т. е. наземное обследование на 100 % подтверждает данные, полученные БПЛА.

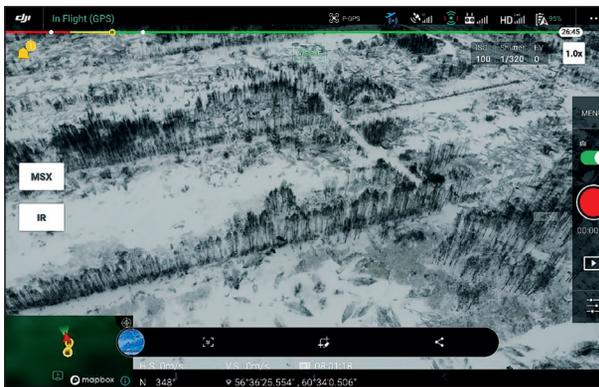
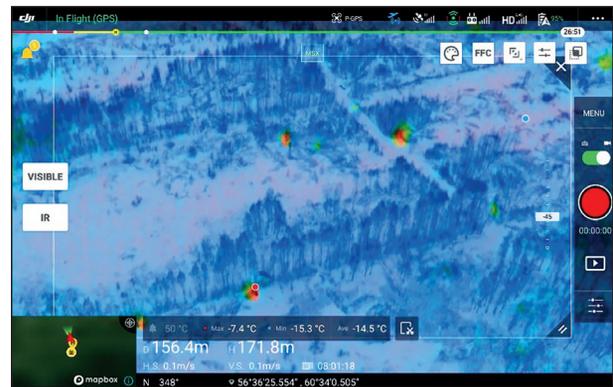
*a**б*

Рис. 9. Обследование перезимовавших очагов на фотоснимках, полученных БПЛА: *a* — в визуальном режиме; *б* — с тепловизионной камерой

Fig. 9. Survey of overwintered points of origin on UAV photos: *a* — in visual mode; *б* — with thermal imaging camera

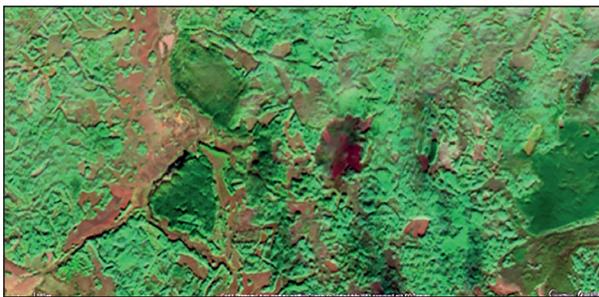
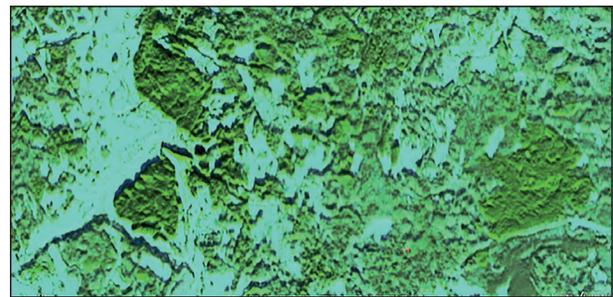
*a**б*

Рис. 10. Осенний (*a*) и зимний (*б*) снимки торфяного пожара

Fig. 10. Autumn (*a*) and winter (*б*) images of a peat-bog fire

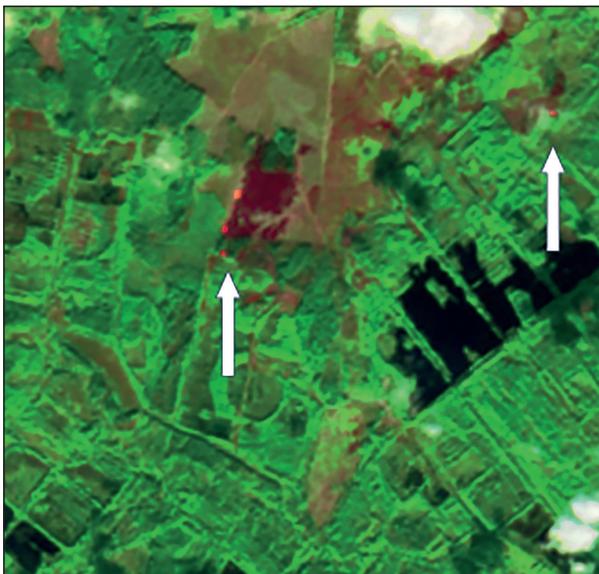
*a**б*

Рис. 11. Осеннее возобновление активности кромки пожара (*a*) и зимний снимок тех же участков (*б*)

Fig. 11. Autumn renewal of fire edge activity (*a*) and winter image of the same areas (*б*)

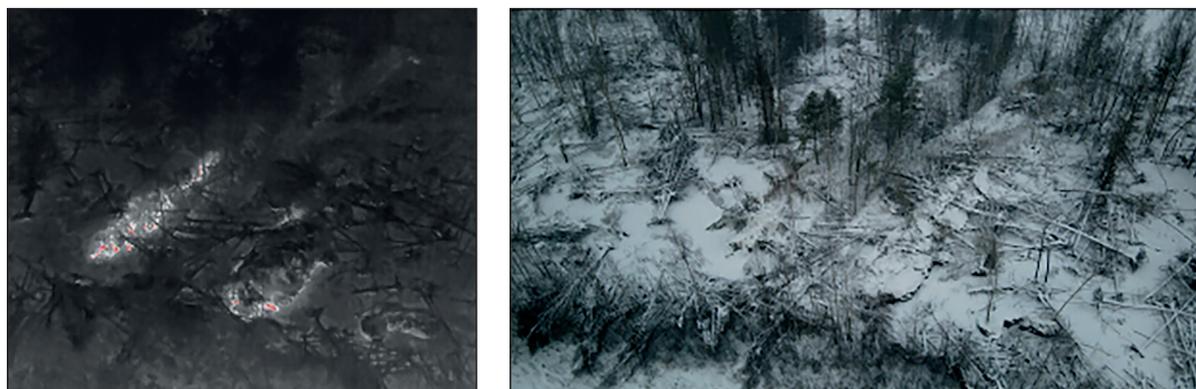
*a**б*

Рис. 12. Сравнение тепловизионного (*a*) и визуального (*б*) изображения очага тления
Fig. 12. Comparison of thermal (*a*) and visual (*б*) images of a glow nest

*a**б*

Рис. 13. Тепловизионное (*a*) и визуальное (*б*) изображение очагов при наземном обследовании
Fig. 13. Thermal (*a*) and visual (*б*) images of the glow nests during the ground survey

Участники обследования отмечали существенно более высокую надежность обнаружения очагов тления именно в зимних условиях вследствие очень резкого температурного контраста между очагами и окружающими участками по сравнению с аналогичными работами в летний период, когда работу тепловизора осложняет нагрев темных поверхностей солнечными лучами. Также было отмечено, что в случае когда на болотах в зимнее время есть участки с незамерзшей открытой водой происходят «ложные» срабатывания тепловизионной камеры, поскольку вода суще-

ственно теплее снега. В таких случаях требуется контроль камеры в видимом спектре, для того чтобы отделить очаги тления от участков с открытой водой в каналах.

Данный способ обследования в настоящее время — наиболее качественный, поскольку позволяет максимально точно найти все очаги, определить их площади и интенсивность горения.

Для постобработки тепловых изображений применялись программы DJI Terra, Agisoft Metashape.

Сравнение результативности обследований зимующих торфяных пожаров различными мето-



Рис. 14. Разрезание мерзлого грунта георипперами для исследования структуры очагов, обнаруженных по данным БПЛА

Fig. 14. Cutting of frozen soil with georippers to study the structure of the glow nests detected by UAV data

дами выявило достоинства и недостатки этих методов и привело к пониманию того, что только комбинирование всех возможных подходов и инструментов обследования может обеспечить раннее и достаточно надежное обнаружение таких пожаров.

Анализ термоточек на фотоснимках низкого пространственного разрешения и анализ космических фотоснимков среднего и высокого пространственного разрешения целесообразен для предварительного определения площади пожара (площади, пройденной огнем), а также для отслеживания динамики развития пожара. Прежде всего приходится анализировать пожары в летний и осенний периоды, пробуя по их динамике определить, могли ли остаться действующие очаги тления, потенциально переходящие в зимний период. Наиболее удобным инструментом для такого анализа в настоящее время являются мультиспектральные космические фотоснимки среднего пространственного разрешения Sentinel-2 MSI (20 м/пк) Европейского космического агентства. Границы пожара определяются методом визуального дешифрирования снимков [43] в комбинации каналов 11-8-2 и 4-3-2 при рабочем масштабе от 1:10 000 до 1:50 000. Для определения границ и площади, пройденной огнем, целесообразно использовать оконтуривание пожара с помощью инструментов картирования. Полученные данные необходимо сопоставлять с фотоснимками высокого пространственного разрешения в открытых картографических сервисах для выбора оптимальной схемы тушения и для определения мест дальнейших практических измерений на пожаре.

Для выявления и последующего обследования очагов, перешедших в зимний период, по космическим снимкам в период после выпадения снега можно использовать фотоснимки в комбинации каналов 11-8-2 и 4-3-2 при рабочем масштабе от 1:10 000 до 1:50 000. Практика показала, что для уверенного обнаружения очагов тления необходимо смотреть мультиспектральные космические фотоснимки в динамике, сравнивать одинаковые сцены и конкретные тайлы для выявления отличий при предположении о том, что обнаружен участок тления, сравнивать изображения в различных комбинациях каналов, обращая внимание на признаки выделения дыма (для этого оптимальны псевдонатуральные цвета) и изменения растительного покрова. В некоторых случаях на снимок может попадать открытое горение, которое является несомненным идентификатором активности очагов. В остальных случаях идентификатором является либо изменение контура выгоревшей площади либо шлейф дыма с предполагаемых очагов.

На настоящий момент такой способ выявления зимующих пожаров является недостаточно надежным, поскольку не обеспечивает обнаружение всех действующих в зимнее время очагов, т. е. может быть рекомендован как предварительный и вспомогательный инструмент. Перспективным представляется сочетание этого способа с применением снимков высокого (субметрового) разрешения. Также направлением дальнейшей работы должно быть машинное обучение нейронных сетей и распознавание ими признаков зимующих пожаров. Эта работа требует дальнейшего нако-

пления базы данных фотоснимков с экспертно обнаруженными на них пожарами, размеченных для дальнейшего машинного обучения.

Обследование местности с применением БПЛА целесообразно применять для тех территорий и конкретных участков, по которым на основании анализа космических фотоснимков были сделаны предположения о наличии действующих очагов тления.

Применение БПЛА с визуальными камерами оказалось наиболее результативным в периоды с максимальным выделением дыма и водяного пара над очагами. При положительных температурах работы рекомендуется проводить в утренние и вечерние часы, близкие к времени выпадения росы и образования туманов. В это время вода быстрее конденсируется на частицах дыма и дает визуально заметные столбики белого дыма над очагами. При сильных отрицательных температурах визуальное обнаружение очагов по дыму дает более высокую надежность в утренние и дневные часы при высоком атмосферном давлении, а также, когда горячие очаги испаряют больше влаги, замерзающей в морозном воздухе и дающей клубы остывающего пара.

Применение БПЛА с тепловизионными камерами оптимально при высоком контрасте очагов и окружающей поверхности, т. е. в периоды с наименьшим нагревом темных поверхностей солнечными лучами. При этом важно учитывать ограничения, имеющиеся у аппаратуры, в том числе сложности в работе с аккумуляторами на морозе, замерзание сервоприводов, обледенение винтов, запотевание камер и т. п. В результате оптимальным является применение БПЛА с тепловизионными камерами в пасмурные и не слишком морозные дни. Проведенные обследования с применением БПЛА мультикоптерного типа с тепловизионными камерами показало, что обследования можно проводить в ручном режиме полета, если проводится поиск отдельных очагов. Однако для многоочагового пожара оптимальным для надежного обнаружения всех очагов тления является автоматический полет с перекрытием поля зрения как визуальной, так и тепловой камеры БПЛА не менее, чем на 30...40 %. В случае если при постобработке требуется построение ортофотопланов, в том числе по тепловым изображениям, значимо перекрытие поля зрения камеры на 80...60 %. При соблюдении таких условий и при высоте полета не более 300 м от поверхности земли с разрешением не менее 10 см на 1 пк визуальной камеры и не менее 50 см на 1 пк тепловизионной камеры такое обследование позволяет обнаружить все очаги тления, т. е. наземное обследование на 100 % подтверждает данные, полученные с помощью БПЛА.

Для картирования отдельных очагов тления можно использовать координаты со сделанных фотографий или треки полета БПЛА. В случае многоочаговых пожаров, когда требуется составление карты с нанесением множества точек с нескольких пролетов, оптимальным инструментом могут быть построенные по визуальным и тепловым фотографиям ортофотопланы. Для постобработки тепловых изображений (создания ортофотоплана из тепловых изображений) в условиях проведенных экспериментов успешно применялась программа DJI Terra.

Опыт зимнего авиационного обследования на самолете Ан-2 показал, что оно дает возможность достаточно надежно обнаружить большинство очагов тления при следующих погодных условиях: температурной инверсии, высоком атмосферном давлении, морозах ниже -20°C . При сочетании этих условий происходит обильное выделение пара над очагами тления, и летчик-наблюдатель может обнаружить такие участки на удалении около 1 км. Однако и этот способ не совсем надежный, поскольку можно обнаружить только крупные очаги в период их интенсивного горения, а скрытые очаги, находящиеся под корнями деревьев, которые развиваются, даже опытный летчик-наблюдатель не обнаруживает.

Наземные обследования целесообразны после нанесения на карты и схемы всех предполагаемых очагов тления (температурных аномалий) по данным обследования с помощью БПЛА. Также хорошо себя показало использование полученных ортофотопланов, загруженных в навигаторы наземных групп для облегчения поиска всех очагов горения. При наземном обследовании можно уточнить координаты очагов, их точные границы, площади, а также дообследовать или даже впервые обнаружить отдельные очаги, хорошо экранированные нависающим краем дороги или корнями дерева.

Основными задачами наземного обследования является установление глубины и температуры очагов тления, уровень грунтовых вод вблизи очагов, определение факторов, мешающих подавлению очагов осадками и уточнение других деталей, необходимых для организации эффективного тушения. При наземных обследованиях хорошо показали себя для обнаружения очагов тепловизоры. Для определения глубины и конфигурации подземной части очага наиболее подходящим инструментом являются щупы-термометры, для определения строения торфяной залежи — буры-пробоотборники конструкции Инсторфа. Влажность предварительно можно оценивать влагомерами, например отечественным влагомером ИВ-4, но для более точных оценок и интерпретаций показаний влагомеров целесо-

образно брать пробы грунта и в лабораторных условиях уточнять влажность взвешиванием образцов после высушивания в соответствии с ГОСТ 5180–84. Глубина снегового покрова может быть измерена рейкой или рулеткой, однако для более точных оценок запасов влаги в снеговом покрове целесообразно дополнять это исследованиями по соответствующим методикам.

Выводы

1. Для надежного обнаружения торфяных пожаров зимой необходимо сочетать космический, авиационный, в том числе с применением БПЛА, и наземный мониторинги.

2. Для анализа вероятности прохождения низовых пожаров по территории с залежами торфа следует использовать термоточки Terra, Agua, SNPP, NOAA полигонов ИСДМ-Рослесхоз.

3. Для предварительного анализа и установления мест, где перед наступлением зимы происходило активное тление на кромке пожара, целесообразно использовать космические снимки среднего пространственного разрешения.

4. После установления участков осеннего тления важно проводить обследование с использованием БПЛА с тепловизионными камерами.

5. После установления мест расположения тепловых аномалий (вероятных очагов тления) по данным БПЛА или летчика-наблюдателя проводится их наземное обследование с применением как тепловизионного оборудования, так и щупов-термометров, что позволяет собрать данные, необходимые для принятия решений, направленных на ликвидацию очагов тления.

Список литературы

[1] Ерицов А.М., Секерин И.М., Кректунов А.А., Залесов С.В. Особенности пожароопасного сезона 2022 года в Курганской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 73–80. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-73-80.

[2] Лескин П., Линднер М., Веркерк П.Й., Набуурс Г.Я., Ван Брусселен Й., Куликова Е., Хассегава М., Леринк Б. Леса России и изменение климата. Что нам может сказать наука. Joensuu: European Forest Institute, 2020. 140 с.

[3] Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение, 2013. № 5. С. 50–61.

[4] Vivchar A. Wildfires in Russia in 2000–2008: Estimates of burnt areas using the satellite MODIS MCD45 dsts // Remote Sensing Letters, 2011, v. 2 (1), pp. 81–90.

[5] Кузнецов Л.Е., Секерин И.М., Кректунов А.А., Щеплягин П.В. Анализ лесных пожаров и их влияние на экологию Тюменской области // Оптимизация лесопользования. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2023. С. 360–365.

[6] Сибиркина А.Р., Лихачёв С.Ф. О лесных пожарах в Челябинской области за 2018–2021 годы и анализ требований к воспроизводству лесов в лесохозяйственном регламенте // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 5. С. 60–73. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-60-73.

[7] Кузнецов Л.Е., Залесов С.В., Кректунов А.А., Секерин И.М., Куксин Г.В. Анализ горимости лесов на территории Уральского Федерального округа // Международный научно-исследовательский журнал, 2023. № 11 (137). URL: <https://research-journal.org/archive/11-137-2023-november/10.23670/IRJ.2023.137.43> (дата обращения 15.12.2023).

[8] Feurdean A., Florescu G., Tantau I. Recent fire regime in the Southern boreal forests of Western Siberia is unprecedented in the last five millennia // Quaternary Sci. Rev., 2020, v. 244, p. 106495.

[9] Kharuk V.I., Dvinskaya M.L., Ranson K.J. Fire return intervals within the northern boundary of the larch forest in Central Siberia // Int. J. of Wildland Fire, 2013, v. 22 (2), pp. 207–211. doi.org/10.1071/WF11181

[10] Kukavskaya E.A., Soja A.J., Petkov A.P. Fire emissions estimates in Siberia: Evaluation of uncertainties in area burned, lnd cover, and fuel consumption // Can. J. Forest Res., 2013, no. 43 (5), pp. 493–506. doi: 10.1139/cjfr-2012-0367

[11] Залесова Е.С., Оплетаев А.С., Платонов Е.Ю., Хабибуллин А.Ф., Кутыева Г.А. Горимость лесов Уральского федерального округа и эффективность охраны их от пожаров // Леса России и хозяйство в них, 2017. № 2 (61). С. 47–56.

[12] Белькова Т.А., Перминов В.А., Алексеев Н.А. Обзор эколого-экономических последствий торфяных пожаров // XXI век. Техносферная безопасность, 2016. № 3. С. 35–44.

[13] Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы. М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. 312 с.

[14] Иванова Г.А., Иванов А.В. Пожары в сосновых лесах Средней Сибири. Новосибирск: Наука, 2015. 240 с.

[15] Гармышев В.В., Ващалова Т.В. Мониторинг лесных пожаров на территории иркутской области на основе ретроспективного анализа // Вестник ИрГСХА, 2019. № 93. С. 45–54.

[16] Залесов С.В., Платонов Е.П., Платонов Е.Ю. Пожары и их последствия в Западной Сибири. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2022. 191 с.

[17] Иванова Г.А., Кукавская Е.А., Безкоровайнова И.Н. Воздействие пожаров на светлохвойные леса Нижнего Приангарья. Новосибирск: Наука, 2022. 204 с.

[18] Кузнецов Л.Е., Кректунов А.А., Секерин И.М., Щеплягин П.В., Юдина П.С. Сравнительный анализ последствий лесных пожаров на территории Российской Федерации // Леса России и хозяйство в них, 2023. № 4 (87). С. 69–77.

[19] Томшин О.А., Соловьев Б.С. Детектирование гарей на территории восточной сибиря по данным AVHRR/NOAA (1984–2016) с использованием комбинированного подхода // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2019. Т. 16. № 4. С. 137–149.

[20] Багинова О.Д., Алтаев А.А. Лесные пожары в Бурятии // Безопасность жизнедеятельности, 2019. № 9 (225). С. 50–53.

[21] Гаврилова А.А., Ершова Т.В., Елисеев А.А. Организация беспилотного мониторинга лесных пожаров в Архангельской области // Техничко-технологические проблемы сервиса, 2018. № 4 (46). С. 20–22.

[22] Фуряев В.В., Самсоненко С.Д., Фуряев И.В., Шубин Д.А. Пожароустойчивость лесов юго-востока Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 2014. 156 с.

[23] Мартынюк А.А. Инновационные разработки ВНИИЛМ — в практику лесного хозяйства // Лесохозяйственная информация, 2018. № 3. С. 7–11.

- [24] Шанин И.И., Лысыч М.Н. Эффективные орудия и механизированные технические устройства, применяемые при профилактике и тушении лесных пожаров // *Успехи современного естествознания*, 2018. № 12–2. С. 403–410.
- [25] Крюкова М.С., Шидловский А.Л., Фахми Ш.С. Оценка показателей качества видеосистемы обнаружения лесных пожаров // *Проблемы управления рисками в техносфере*, 2018. № 2 (46). С. 63–73.
- [26] Борисова Т.А. Риски лесных пожаров в Байкальском регионе на примере Республики Бурятия // *Использование и охрана природных ресурсов в России*, 2016. № 3 (147). С. 42–47.
- [27] Орлов А.М., Андреев Ю.А., Чаков В.В., Поздяков В.В. Пожарная обстановка в лесах Хабаровского края. Хабаровск: ОАО «Хабаровская краевая типография», 2022. 160 с.
- [28] Козаченко М.А., Ашомка С.Н., Кибакина А.В., Юнякин М.Р., Гольш Е.А. Сравнительная оценка жизненного состояния деревьев и древостоев лиственных пород на ненарушенных территориях и после лесных пожаров в лесах Саратовского правобережья // *Научная жизнь*, 2019. № 1. С. 102–110.
- [29] Ермоленко А.А. Анализ состояния и причин изменения лесистости в Центральном федеральном округе: сложившаяся практика и возможные решения // *Лесохозяйственная информация*, 2018. № 4. С. 55–65.
- [30] Сверлова Л.И. Метод оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды с учётом поясов атмосферной засушливости и сезонов года. Хабаровск: Изд-во ДВ УГМС, 2000. 46 с.
- [31] Ерицов А.М., Секерин И.М., Кректунов А.А. О необходимости совершенствования нормативно-правового регулирования в области охраны лесов от пожаров // *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова*. 2023. № 3 (72). С. 79–86.
- [32] Крушель Е.Г., Лютая Т.П., Привалов О.О., Щербakov М.В. Распознавание пожароопасных ситуаций в лесных массивах и лесополосах // *Известия Волгоградского государственного технического университета*, 2018. № 8 (218). С. 39–42.
- [33] Кректунов А.А., Ефимов И.А., Васьяков Я.Н., Залесов С.В. Анализ данных по способам обнаружения лесных пожаров на территории Свердловской области за период с 2014 по 2022 годы // *Техносферная безопасность*. 2023. № 2 (39). С. 101–111.
- [34] Савченко В.А., Коршунов Н.А., Перминов А.В., Котельников Р.В. Практическое использование отечественных методов и технологий, а также средств обнаружения и тушения лесных пожаров. Пушкино: Изд-во ВНИИЛМ, 2021. 27 с.
- [35] Константинов А.В., Королева Т.С., Кушнир Е.А., Торжков И.О. Оценка экономических последствий наблюдаемых и ожидаемых климатических изменений с учетом долгосрочных прогнозных сценариев развития лесного сектора // *Лесотехнический журнал*, 2017. Т. 7. № 4 (28). С. 257–274.
- [36] Залесов С.В. Лесная пирология. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2021. 396 с.
- [37] Скрыльник Г.П. Влияние лесных пожаров на развитие геосистем плакоров юга Средней Сибири и гор Дальнего Востока // *Успехи современного естествознания*, 2018. № 5. С. 131–141.
- [38] Гудина А.Г., Тюкавина О.Н. Анализ горимости лесов Вельского района Архангельской области // *Ученые записки Петрозаводского государственного университета*, 2018. № 8 (177). С. 74–77.
- [39] Козаченко М.А., Ашомка С.Н., Кибакина А.В., Юнякин М.Р., Гольш Е.А. Сравнительная оценка жизненного состояния деревьев и древостоев лиственных пород на ненарушенных территориях и после лесных пожаров в лесах Саратовского правобережья // *Научная жизнь*, 2019. № 1. С. 102–110.
- [40] Goldammer J.G., Price C. Potential Impacts of Climate Change on Fire Regimes in the Tropics Based on Magicc and a GISS GCM-Derived Lightning Model // *Climatic Change*, 1998, v. 39, pp. 273–296.
- [41] Witze A. Why Arctic fires are bad news for climate change // *Nature*, 2020, t. 585, no. 7825, pp. 336–337.
- [42] Чикирева Т.В. Исследование водно-теплогового режима торфяного грунта вокруг трубопровода при подземной прокладке: автореф. дис. канд. техн. наук. Тюмень, 2005. 24 с.

Сведения об авторах

Куксин Григорий Валерьевич — науч. сотр. отдела лесной пирологии и охраны лесов от пожаров, ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» (ВНИИЛМ), эксперт АНО «Центр профилактики ландшафтных пожаров», Gkuksin1980@gmail.com

Секерин Илья Михайлович — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Залесов Сергей Вениаминович — д-р с.-х. наук, профессор, зав. кафедрой лесоводства, ФГБОУ ВО Уральский государственный лесотехнический университет, zalesovsv@m.usfeu.ru

Поступила в редакцию 24.01.2024.

Одобрено после рецензирования 21.02.2024.

Принята к публикации 02.05.2024.

DETECTION OF WINTERING PEAT-BOG FIRES BY REMOTE METHODS

G.V. Kuksin¹, I.M. Sekerin², S.V. Zalesov²✉

¹VNIILM, 15, Institutskaya st., 141202, Moscow reg., Pushkino, Russia

²Ural State Forest Engineering University, 37, Sibirskiy Trakt 620110, Yekaterinburg, Russia

Zalesovsv@m.usfeu.ru

The article touches upon detection of wintering peat-bog fires. It has been established that reliable detection of peat-bog fires in winter can be ensured only by a combination of space-based, aviation and ground-based monitoring. In view of the specifics of the spread of peat-bog fires it is advisable to carry out monitoring using unmanned aerial vehicles equipped with thermal imaging equipment. Detection of peat-bog fires should begin with the study of areal with peat-bog soils affected by ground fires and the establishment of thermal points. Then using of average spatial resolution areas cosmoplots of active division of peat-bog before the start of winter are determined. After detection of smouldering they should be investigated by television cameras. If thermal anomalies are detected during the flights their inspection in situ should be used by special equipment. As a result of the work having been done it became possible to make a decision on a peat-bog fire elimination.

Keywords: peat-bog fire, winter, peat-bog smoldering, cosmic, aviation, ground monitoring

Suggested citation: Kuksin G.V., Sekerin I.M., Zalesov S.V. *Obnaruzhenie zimuyushchikh torfyanykh pozharov distantsionnymi metodami* [Detection of wintering peat-bog fires by remote methods]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 53–65. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-53-65

References

- [1] Eritsov A.M., Sekerin D.M., Krektunov A.A., Zalesov S.V. *Osobennosti pozharoopasnogo sezona 2022 goda v Kurganskoj oblasti* [Features of fire season 2022 in Kurgan region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 73–80. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-73-80
- [2] Leskinen P., Lindner M., Verkerk P.Y., Nabuurs G.Ya., Van Brusselen Y., Kulikova E., Khassegava M., Lerink B. *Les Rossii i izmenenie klimata. Chto nam mozhnet skazat' nauka* [Forests of Russia and climate change. What can science tell us?]. Joensuu: European Forest Institute, 2020, 140 p.
- [3] Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G. *Klimaticheskie izmeneniya i lesnye pozhary v Rossii* [Climatic changes and forest fires in Russia]. *Lesovedenie*, 2013, no. 5, pp. 50–61.
- [4] Vivchar A. Wildfires in Russia in 2000–2008: Estimates of burnt areas using the satellite MODIS MCD45 dsts. *Remote Sensing Letters*, 2011, v. 2 (1), pp. 81–90.
- [5] Kuznetsov L.E., Sekerin I.M., Krektunov A.A., Shcheplyagin P.V. *Analiz lesnykh pozharov i ikh vliyaniye na ekologiyu Tyumenskoy oblasti* [Analysis of forest fires and their impact on the ecology of the Tyumen region]. *Optimizatsiya lesopol'zovaniya* [Optimization of forest management]. Ekaterinburg: UGFLTU, 2023, pp. 360–365.
- [6] Sibirskina A.R., Likhachev S.F. *O lesnykh pozharakh v lesakh Chelyabinskoy oblasti za 2018–2021 gody i analiz trebovaniy k vosproizvodstvu lesov v lesokhozyaystvennom reglamente* [Forest fires in the Chelyabinsk region forests for 2018–2021 and requirements analysis for forest reproduction in forest regulations]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 60–73. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-60-73
- [7] Kuznetsov L.E., Zalesov S.V., Krektunov A.A., Sekerin I.M., Kuksin G.V. *Analiz gorimosti lesov na territorii Ural'skogo Federal'nogo okruga* [Analysis of forest fire rates on the territory of the Ural Federal District]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Scientific Research J.], 2023, no. 11 (137). Available at: <https://research-journal.org/archive/11-137-2023-november/10.23670/IRJ.2023.137.43> (accessed 15.12.2023).
- [8] Feurdean A., Florescu G., Tantau I. Recent fire regime in the Southern boreal forests of Western Siberia is unprecedented in the last five millennia. *Quaternary Sci. Rev.*, 2020, v. 244, p. 106495.
- [9] Kharuk V.I., Dvinskaya M.L., Ranson K.J. Fire return intervals within the northern boundary of the larch forest in Central Siberia. *Int. J. of Wildland Fire*, 2013, v. 22 (2), pp. 207–211. doi.org/10.1071/WF11181
- [10] Kukavskaya E.A., Soja A.J., Petkov A.P. Fire emissions estimates in Siberia: Evaluation of uncertainties in area burned, land cover, and fuel consumption. *Can. J. Forest Res.*, 2013, no. 43 (5), pp. 493–506. doi: 10.1139/cjfr-2012-0367
- [11] Zalesova E.S., Opletaev A.S., Platonov E.Yu., Khabibullin A.F., Kuttyeva G.A. *Gorimost' lesov Ural'skogo federal'nogo okruga i effektivnost' okhrany ikh ot pozharov* [Burnability of forests of the Ural Federal District and the effectiveness of protecting them from fires]. *Les Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and management in them], 2017, no. 2 (61), pp. 47–56.
- [12] Bel'kova T.A., Perminov V.A., Alekseev N.A. *Obzor ekologo-ekonomicheskikh posledstviy torfyanykh pozharov* [Review of the environmental and economic consequences of peat fires]. *XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost' [XXI century. Technospheric Safety]*, 2016, no. 3, pp. 35–44.
- [13] Vorob'ev Yu.L., Akimov V.A., Sokolov Yu.I. *Lesnye pozhary na territorii Rossii: Sostoyaniye i problemy* [Forest fires on the territory of Russia: Status and problems]. Moscow: DEX-PRESS, 2004, 312 p.
- [14] Ivanova G.A., Ivanov A.V. *Pozhary v sosnovykh lesakh Sredney Sibiri* [Fires in pine forests of Central Siberia]. Novosibirsk: Nauka, 2015, 240 p.
- [15] Garmyshev V.V., Vashchalova T.V. *Monitoring lesnykh pozharov na territorii irkutskoy oblasti na osnove retrospektivnogo analiza* [Monitoring of forest fires on the territory of the Irkutsk region based on retrospective analysis]. *Vestnik IrGSKhA* [Bulletin of the Irkutsk State Agricultural Academy], 2019, no. 93, pp. 45–54.
- [16] Zalesov S.V., Platonov E.P., Platonov E.Yu. *Pozhary i ikh posledstviya v Zapadnoy Sibiri* [Fires and their consequences in Western Siberia]. Ekaterinburg: UGFLTU, 2022, 191 p.

- [17] Ivanova G.A., Kukavskaya E.A., Bezkorovaynova I.N. *Vozdeystvie pozharov na svetlokhvoynnye lesa Nizhnego Priangar'ya* [Impact of fires on light coniferous forests of the Lower Angara region]. Novosibirsk: Nauka, 2022, 204 p.
- [18] Kuznetsov L.E., Krekturnov A.A., Sekerin I.M., Shcheplyagin P.V., Yudina P.S. *Sravnitel'nyy analiz posledstviy lesnykh pozharov na territorii Rossiyskoy Federatsii* [Comparative analysis of the consequences of forest fires on the territory of the Russian Federation]. *Les Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and management in them], 2023, no. 4 (87), pp. 69–77.
- [19] Tomshin O.A., Solov'ev B.S. *Detektirovanie garey na territorii vostochnoy sibiri po dannym AVHRR/NOAA (1984–2016) s ispol'zovaniem kombinirovannogo podkhoda* [Detection of burnt areas in the territory of Eastern Siberia according to AVHRR/NOAA data (1984–2016) using a combined approach]. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2019, v. 16, no. 4, pp. 137–149.
- [20] Baginova O.D., Altaev A.A. *Lesnye pozhary v Buryatii* [Forest fires in Buryatia]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Life safety], 2019, no. 9 (225), pp. 50–53.
- [21] Gavrilova A.A., Ershova T.V., Eliseev A.A. *Organizatsiya bespilotnogo monitoringa lesnykh pozharov v Arkhangel'skoy oblasti* [Organization of unmanned monitoring of forest fires in the Arkhangelsk region]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa* [Technical and technological problems of service], 2018, no. 4 (46), pp. 20–22.
- [22] Furyaev V.V., Samsonenko S.D., Furyaev I.V., Shubin D.A. *Pozharoustoychivost' lesov yugo-vostoka Zapadnoy Sibiri* [Fire resistance of forests in the southeast of Western Siberia]. Novosibirsk: Nauka, 2014, 156 p.
- [23] Martynyuk A.A. *Innovatsionnye razrabotki VNIILM — v praktiku lesnogo khozyaystva* [Innovative developments of VNIILM — in the practice of forestry]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2018, no. 3, pp. 7–11.
- [24] Shanin I.I., Lysykh M.N. *Effektivnye orudiya i mekhanizirovannyye tekhnicheskiye ustroystva, primenyaemye pri profilaktike i tushenii lesnykh pozharov* [Effective tools and mechanized technical devices used in the prevention and extinguishing of forest fires]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in modern science], 2018, no. 12–2, pp. 403–410.
- [25] Kryukova M.S., Shidlovskiy A.L., Fakhmi Sh.S. *Otsenka pokazateley kachestva videosistemy obnaruzheniya lesnykh pozharov* [Assessing the quality indicators of a forest fire detection video system]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere* [Problems of risk management in the technosphere], 2018, no. 2 (46), pp. 63–73.
- [26] Borisova T.A. *Riski lesnykh pozharov v Baykal'skom regione na primere Respubliki Buryatiya* [Risks of forest fires in the Baikal region on the example of the Republic of Buryatia]. *Isol'zovanie i okhrana prirodnnykh resursov v Rossii* [Use and protection of natural resources in Russia], 2016, no. 3 (147), pp. 42–47.
- [27] Orlov A.M., Andreev Yu.A., Chakov V.V., Pozdyakov V.V. *Pozharnaya obstanovka v lesakh Khabarovskogo kraya* [Fire situation in the forests of the Khabarovsk Territory]. Khabarovsk: JSC Khabarovsk Regional Printing House, 2022, 160 p.
- [28] Kozachenko M.A., Ashomka S.N., Kibakina A.V., Yuniyakin M.R., Golysh E.A. *Sravnitel'naya otsenka zhiznennogo sostoyaniya derev'ev i drevostoev listvennykh porod na nenarushennykh territoriyakh i posle lesnykh pozharov v lesakh Saratovskogo pravoberezh'ya* [Comparative assessment of the life state of trees and deciduous tree stands in undisturbed territories and after forest fires in the forests of the Saratov right bank]. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific life], 2019, no. 1, pp. 102–110.
- [29] Ermolenko A.A. *Analiz sostoyaniya i prichin izmeneniya lesistosti v Tsentral'nom federal'nom okruge: slozhivshayasya praktika i vozmozhnyye resheniya* [Analysis of the state and causes of changes in forest cover in the Central federal district: current practice and possible solutions]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2018, no. 4, pp. 55–65.
- [30] Sverlova L.I. *Metod otsenki pozharoy opasnosti v lesakh po usloviyam pogody s uchetom poyasov atmosferynoy zasushlivosti i sezonov goda* [A method for assessing fire danger in forests based on weather conditions, taking into account zones of atmospheric aridity and seasons]. Khabarovsk: Publishing house DV UGMS, 2000, 46 p.
- [31] Eritsov A.M., Sekerin I.M., Krekturnov A.A. *O neobkhodimosti sovershenstvovaniya normativno-pravovogo regulirovaniya v oblasti okhrany lesov ot pozharov* [On the need to improve legal regulation in the field of forest protection from fires]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova* [Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippova], 2023, no. 3 (72), pp. 79–86.
- [32] Krushel' E.G., Lyutaya T.P., Privalov O.O., Shcherbakov M.V. *Raspoznavanie pozharoопасnykh situatsiy v lesnykh massivakh i lesopolosakh* [Recognition of fire hazardous situations in forests and shelterbelts]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [News of the Volgograd State Technical University], 2018, no. 8 (218), pp. 39–42.
- [33] Krekturnov A.A., Efimov I.A., Vas'kov Ya.N., Zalesov S.V. *Analiz dannykh po sposobam obnaruzheniya lesnykh pozharov na territorii Sverdlovskoy oblasti za period s 2014 po 2022 gody* [Analysis of data on methods of detecting forest fires in the Sverdlovsk region for the period from 2014 to 2022]. *Tekhnosfernaya bezopasnost'* [Technosphere safety], 2023, no. 2 (39), pp. 101–111.
- [34] Savchenko V.A., Korshunov N.A., Perminov A.V., Kotelnikov R.V. *Prakticheskoe ispol'zovanie otechestvennykh metodov i tekhnologii, a takzhe sredstv obnaruzheniya i tusheniya lesnykh pozharov* [Practical use of domestic methods and technologies, as well as means of detecting and extinguishing forest fires]. Pushkino: Publishing house VNIILM, 2021, 27 p.
- [35] Konstantinov A.V., Koroleva T.S., Kushnir E.A., Torzhkov I.O. *Otsenka ekonomicheskikh posledstviy nablyudaemykh i ozhidaemykh klimaticheskikh izmeneniy s uchetom dolgosrochnnykh prognoznykh stsenariyev razvitiya lesnogo sektora* [Assessment of the economic consequences of observed and expected climate changes taking into account longterm forecast scenarios for the development of the forest sector]. *Lesotekhnicheskyy zhurnal* [Forestry Journal], 2017, v. 7, no. 4 (28), pp. 257–274.
- [36] Zalesov S.V. *Lesnaya pirologiya* [Forest pyrology]. Ekaterinburg: UGFLTU, 2021, 396 p.
- [37] Skryl'nik G.P. *Vliyaniye lesnykh pozharov na razvitiye geosistem plakorov yuga Sredney Sibiri i gor Dal'nego Vostoka* [The influence of forest fires on the development of geosystems of plains in the south of Central Siberia and the mountains of the Far East]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in modern natural science], 2018, no. 5, pp. 131–141.
- [38] Gudina A.G., Tyukavina O.N. *Analiz gorimosti lesov Vel'skogo rayona Arkhangel'skoy oblasti* [Analysis of forest fire rates in the Velsk region of the Arkhangelsk region]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Scientific notes of Petrozavodsk State University], 2018, no. 8 (177), pp. 74–77.

- [39] Kozachenko M.A., Ashomka S.N., Kibakina A.V., Yunyakin M.R., Golysh E.A. *Sravnitel'naya otsenka zhiznennogo sostoyaniya derev'ev i drevostoev listvennykh porod na nenarushennykh territoriyakh i posle lesnykh pozharov v lesakh Saratovskogo pravoberezh'ya* [Comparative assessment of the life state of trees and deciduous tree stands in undisturbed territories and after forest fires in the forests of the Saratov right bank]. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific life], 2019, no. 1, pp. 102–110.
- [40] Goldammer J.G., Price C. Potential Impacts of Climate Change on Fire Regimes in the Tropics Based on Magicc and a GISS GCM-Derived Lightning Model. *Climatic Change*, 1998, v. 39, pp. 273–296.
- [41] Witze A. Why Arctic fires are bad news for climate change. *Nature*, 2020, t. 585, no. 7825, pp. 336–337.
- [42] Chikireva T.V. *Issledovanie vodno-teplovogo rezhima torfyanogo grunta vokrug truboprovoda pri podzemnoy prokladke* [Study of the water-thermal regime of peat soil around the pipeline during underground installation: abstract of thesis]. Dis. Cand. Sci. (Tech.). Tyumen, 2005, 24 p.

Authors' information

Kuksin Grigoriy Valer'evich — Researcher at the Department of Forest Pyrology and Protection of forests from fires, VNIILM, expert of ANO «Center for Prevention of Landscape Fires»,
Gkuksin1980@gmail.com

Sekerin Il'ya Mikhaylovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Forestry, Ural State Forestry University

Zalesov Sergey Veniaminovich  — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of the Forestry Department of the Ural State Forestry University, zalesovsv@m.usfeu.ru

Received 24.01.2024.

Approved after review 21.02.2024.

Accepted for publication 02.05.2024.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest