Наборы информационных продуктов, полученных на основе данных дистанционного зондирования и реанализа, для развития подходов к оценке пожарной опасности в лесах

И. В. Балашов[1], Р. В. Котельников[2], А. А. Бриль[1], Д. А. Кобец[1], Д. В. Лозин[1]

[1] *Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия*
E-mail: ivbalashov@d902.iki.rssi.ru

[2] *Филиал ВНИИЛМ «Центр лесной пирологии», Красноярск, 660062, Россия*
E-mail: kotelnikovrv@firescience.ru

В условиях значительных климатических изменений важным инструментом планирования работ по охране лесов от пожаров становится оценка пожарной опасности лесов. Существующая методика классификации пожарной опасности, основанная на двух составляющих (по погоде и по природной пожарной опасности самих лесов), имеет целый ряд недостатков. При этом бурное развитие дистанционных методов наблюдения Земли из космоса, а также алгоритмов обработки метеоинформации (например, реанализа на основе современных гидродинамических моделей погоды) открывает возможности расширения числа используемых информационных продуктов. В настоящей работе представлены краткие результаты исследования состава информации, необходимой для проведения оценок пожарной опасности лесов, которая может быть получена на основе данных спутниковых наблюдений и данных реанализа. Проведённый анализ позволил с использованием разработок Института космических исследований РАН и возможностей Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (http://ckp.geosmis.ru/) создать уникальный набор продуктов для выполнения работ по развитию подходов к оценке пожарной опасности в лесах. Настоящая работа посвящена представлению данного набора продуктов.

Ключевые слова: лесные пожары, дистанционное зондирование Земли, реанализ метеоданных, информационные продукты

Одобрена к печати: 17.10.2026
DOI: 10.21046/2070-7401-2026-23-5-449-456

Введение

При организации работ, связанных с мониторингом и охраной лесов от пожаров, большое значение имеет оценка пожарной опасности (ПО), т. е. фактически вероятности возникновения пожаров на тех или иных территориях в определённых условиях. Разработка подходов к формированию оценок ПО имеет достаточно большую историю и ей посвящено значительное число работ (Иванов и др., 2020; Плотникова, 2021; Софронова и др., 2007; Torres-Rojo, 2020). При этом основными видами ПО фактически считаются:

Оценки ПО по условиям погоды и состоянию лесных горючих материалов, т. е. анализ вероятности возникновения пожара на конкретных территориях в конкретных погодных условиях. Такие данные в первую очередь необходимы для принятия оперативных решений по организации мониторинга и охраны территорий. При этом обычно используется районирование территорий по уровню вероятности возникновения пожаров (классам ПО). Для этого строятся статистические связи между различными характеристиками (индексами) погодных условий, определяющими условия горения (например, индексы засухи или пожарные индексы) (Волокитина и др., 2017; Губенко, Рубинштейн, 2012; Плотникова, 2021; Srock et al., 2018; Torres-Rojo, 2020; Ziel et al., 2020), и горимости территорий в данных условиях. Для построения таких связей естественно необходима информация о лесном покрове конкретных территорий и их горимости в конкретных погодных условиях.

Оценки природной ПО, т. е. оценки подверженности определённых типов пожарам, в том числе вероятности опасности развития пожаров на различных территориях и превраще-

ния их в катастрофические (Плотникова, 2021). Природная ПО используется в основном для стратегического планирования работ по мониторингу и охране лесов от пожаров в конкретных регионах (например, выбрать оптимальные маршруты патрулирования, проектирования мероприятия по противопожарному обустройству лесов и т. д.). Для этого строятся статистические связи между различными характеристиками территорий, определяющими их горимости, и данными многолетних наблюдений их горимости.

Ключевыми моментом построения корректных (объективно отражающих реальную ситуацию на конкретных территориях) схем как ПО по условиям погоды, так и природной ПО представляется наличие достаточного количества информации о метеоусловиях, характеристиках территорий и наблюдений горимости конкретных территорий. Первые оценки ПО, начатые ещё в 40-х гг. XX в., естественно основывались в основном на данных наземных и авиационных наблюдений (Иванов и др., 2020; Плотникова, 2021; Софронова и др., 2007). Это во многом определило и подходы к построению таких оценок, которые используются до настоящего времени. Следует отметить, что для проведения корректного анализа ПО на больших территориях (например, по всей России) необходима соответствующая однородная (сопоставимая) информация по этим территориям. Такие данные могут быть получены только с применением дистанционных, в первую очередь спутниковых, наблюдений и высококачественного метеорологического реанализа (Котельников и др., 2025; Vitolo et al., 2020). Имея подобную информацию, становится возможным развивать новые подходы к оценке и использованию ПО. Естественно, что работы в данном направлении велись различными коллективами (Плотникова, 2021; Софронова и др., 2007). При этом эффективность подобных работ во многом зависит от наличия достаточно больших рядов информации. В настоящей работе представлены краткие результаты анализа состава информации, необходимой для проведения оценок ПО по условиям погоды и природной ПО на основе данных спутниковых наблюдений и реанализа. Он позволил сформировать состав необходимого набора данных. В работе также описан такой набор данных, сформированный на базе возможностей Центра коллективного пользования (ЦКП) «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2015) по территории России.

Информация, необходимая для развития подходов к оценке пожарной опасности, получение которой возможно на основе данных дистанционных наблюдений и реанализа

Метеорологическая информация. При оценке ПО природных территорий традиционно большое значение имеет погодный фактор. Следует отметить, что использование при нахождении различных статистических зависимостей, необходимых для построения схем оценок ПО, метеоданных, получаемых на наземных измерительных станциях, создаёт довольно много сложностей, связанных с достаточно низкой пространственной частотой расположения станций в зонах действия лесных пожаров. Кроме того, на отдельных станциях могут возникать ошибки в измерениях. Поэтому для анализа долговременных рядов метеоданных на больших территориях более целесообразно использовать результаты реанализа (Котельников и др., 2025; Vitolo et al., 2020), т. е. фактически усвоенные моделью согласованные данные. Эти данные однотипно получаются по всей территории земного шара на регулярной сетке. В настоящее время имеются, в частности, следующие общедоступные глобальные наборы данных:

• NCEP/NCAR (*англ.* National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) (Модель GFS (*англ.* Global Forecast System), реализованная NCEP);

• ERA5-Land (*англ.* ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) Reanalysis 5-Land) Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF), в том числе данные реанализа.

Следует отметить, что некоторые метеорологические показатели, представляющие интерес для решения обсуждаемых задач, могут быть восстановлены непосредственно по спутниковым данным. Как пример такой информации могут быть приведены данные о эвапотранспирации, которые характеризуют состояния жизнедеятельности растительности

через показатели испарения на верхней границе растительного покрова. Такая информация может быть получена на основе анализа суточного хода температуры по спутниковым данным. В частности, в линейке продуктов прибора MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) имеется такой продукт (MOD16) (Mu et al., 2011).

К метеоданным можно отнести и сведения о грозовой активности, которая считается одной из причин пожаров, особенно значимой на удалённых и труднодоступных территориях. Такая информация формируется в первую очередь с использованием станций регистрации молниевых разрядов (Азметов и др., 2009), активно развивающихся в последние десятилетия, в том числе и в России.

Информация, необходимая для оценки природной опасности. Исходя из анализа доступных информационных продуктов, получаемых на основе спутниковых данных в интересах решения обсуждаемой задачи, может, на наш взгляд, использоваться следующая информация:

Информация о типе территории (лес/не лес, водные объекты). Она может быть получена на основе ежегодно обновляемых карт наземных экосистем, созданных на основе спутниковых данных. Технология построения таких карт и их наборы имеются, в частности, в Институте космических исследований РАН (ИКИ РАН) (Барталев и др., 2016).

Информация о рельефе. В настоящее время существуют её различные варианты, полученные на основе спутниковых данных. В частности, на основе радиолокационной съёмки Copernicus DEM (*англ.* Digital Elevation Model) в период с 2012 по 2015 г.

Информация о типах леса (преобладающих породах), которая во многом определяет тип горючих материалов. Она также может быть получена по спутниковым данным, в том числе на основе подходов, разработанных в ИКИ РАН (Барталев и др., 2016).

Информация о запасе древесины, которая наряду с информацией о типе леса определяет запас лесных горючих материалов. Также может быть получена по спутниковым данным, в том числе на основе подходов, разработанных в ИКИ РАН (Барталев и др., 2016).

Информация о повреждениях лесного покрова пожарами. В настоящее время существует значительное число подходов, позволяющих получать её по спутниковым данным. Эти подходы могут быть основаны как на анализе интенсивности горения (Лупян и др., 2022, 2024), так и на оценке постпожарных изменений лесного покрова (Барталев и др., 2015).

Данные о фактической горимости. Данная информация может быть получена по спутниковым наблюдениям действующих пожаров. Такие наблюдения осуществляются на основе выделений зон горения с использованием инфракрасных каналов (Лупян и др., 2021). В настоящие время существуют достаточно надёжные методы выделения таких зон, объединения их в пожары и отслеживания их динамики (Лупян и др., 2021). Эти методы позволяют создавать базы данных (БД) за достаточно длительный период времени (более 25 лет) по всей территории РФ.

Набор информационных продуктов, сформированных на базе ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

С учётом выделенных типов информации, которые могут использоваться для разработки новых подходов оценок ПО, определённых в предыдущем разделе, на базе технических возможностей ЦКП «ИКИ-Мониторинг» были сформированы следующие наборы данных:

Метеорологическая информация. На основе данных реанализа NCEP и ERA5 (Vitolo et al., 2020), полученных из Национального центра прогноза окружающей среды (NCEP) (США) и Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF), сформированы специализированные БД. Помимо исходных метеорологических величин (температура, количество осадков, влажность почвы, высота снежного покрова, относительная влажность), в состав БД включены рассчитываемые производные показатели, такие как гидротермический коэффициент, индексы пожарной опасности, накопленные и средние показатели. Базы данных содержат информацию за период с 1999 по 2025 г. по всей территории России (Уваров, 2025).

На основе информации из LP DAAC (*англ.* Land Processes Distributed Active Archive Center) (https://lpdaac.usgs.gov) (https://science.nasa.gov/earth/data/) сформирован архив

ежедневных данных (продукт MOD16, (Running et al., 2017)) о эвапотранспирации на всю территорию России за период с 2001 по 2021 г.

На основе данных Информационной системы дистанционного мониторинга пожаров (ИСДМ-Рослесхоз) (Беляев и др., 2005; Котельников и др., 2019) специалистами Центра лесной пирологии (г. Красноярск) получен набор данных о молниевых разрядах. Набор содержит выборку данных, зарегистрированных станцией грозопеленгационной системы «Верея-М» (2015–2018) (Азметов и др., 2009), а также выборку данных по информации о молниевых разрядах, поступающей от Росгидрометцентра (2023–2026).

Информация о растительном покрове. Сформирован набор рядов карт различных характеристик территорий, включая характеристик лесов, полученных на основе обработки спутниковых данных. Эти наборы карт созданы с использованием технологий, разработанных в ИКИ РАН (Барталев, Лупян, 2013), ориентированных на ежегодное картографирование растительного покрова на больших территориях. Данные карты формировались в первую очередь на основе данных приборов MODIS, установленных на спутниках Terra и Aqua (Барталев и др., 2022; Миклашевич и др., 2019). В набор вошли карты за период с 2001 по 2025 г. на всю территорию России:

- карты экосистем (Барталев и др., 2016; Уваров, 2025);
- преобладающих пород леса (Барталев и др., 2011, 2016);
- запасов лесной древесины (Барталев и др., 2016);
- повреждений лесов пожарами.

Данные о фактической горимости. Сформирована специализированная БД о пожарах, действовавших на территории России в период с 2021 по 2025 г. База данных создана на основе однородного ряда наблюдений приборами MODIS (коллекция 6.1) с использованием технологий, разработанных в ИКИ РАН. Она содержит информацию о «пожарах» — объектах, объединённых из отдельных термических аномалий по пространственно-временным критериям. Такая интеграция позволяет фиксировать точки и времена возникновения пожаров, определять пройденную огнём площадь в разрезе основных типов территорий, даты действия и ликвидации пожаров. Особо следует отметить, что в БД имеется информация о том, на каких типах территорий действовал конкретный пожар. Подробно подходы и технологии формирования БД описаны в работе (Лупян и др., 2021). База данных содержит информацию о более чем 1,2 млн пожаров, прошедших более 141 млн га территории, покрытой лесом.

Данные о повреждениях лесов пожарами, полученные на основе анализа интенсивности горения. Сформирован специализированный набор карт с информацией, полученной на основе оценки интенсивности горения по спутниковым данным о пожарах**,** действовавших на территории России в период с 2021 по 2025 г. Набор создан на базе однородного ряда наблюдений приборами MODIS с использованием технологий, разработанных в ИКИ РАН. Набор данных содержит ежегодные карты степеней повреждений растительности, что позволяет оценить в том числе площади повреждённых лесов. Подробно подходы и технологии формирования таких данных описаны в работах (Лупян и др., 2022, 2024). Набор содержит информацию по всей территории России за период с 2001 по 2025 г.

Информация о рельефе. При анализе рельефа целесообразно использовать данные на основе радиолокационной съёмки. В частности, для исследования доступны данные, полученные в рамках миссии TanDEM-X (*англ.* TerraSAR-X add-on for Digital Elevation Measurement) (DLR (*нем.* Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) и Airbus) в период с 2012 по 2015 г. в разрешении 30 м на пиксель. С использованием таких данных сформирован набор Copernicus DEM и его производные. В рамках ЦКП «ИКИ-Мониторинг» собраны данные FABDEM (*англ.* Forest And Buildings removed Copernicus DEM) — набора данных на основе Copernicus, в котором с помощью алгоритмов машинного обучения были удалены высоты лесных массивов и зданий (Hawker et al., 2022). Исключение данных растительности позволяет проводить более точные оценки уклонов и в результате получать более качественные прогнозы рисков распространения лесных пожаров. Такой набор данных создан для решения поставленных задач на всю территорию России в формате геопривязанных растровых файлов.

Заключение

Таким образом, сформирован достаточно уникальный набор объективных данных, содержащих информацию о пожарной активности, метеоинформацию, данные о грозовой активности и информацию об особенностях территорий, на которых действовали лесные пожары в XXI в. Данная информация может быть использована для исследований особенностей горимости территорий и развития подходов к оценкам пожарной опасности (как оперативной, так и природной). В настоящее время с применением данной информации ведутся работы по решению таких задач в рамках проекта Российского научного фонда «Разработка новых подходов к оценке природной пожарной опасности на основе комплексного анализа многолетних спутниковых наблюдений территорий действия лесных пожаров». Также выполняются работы по созданию специализированных интерфейсов для распределённой работы с подобной информацией, которые должны обеспечить возможность совместного анализа различных данных как на отдельных участках, так и интегрированных на разные территории. Это в перспективе откроет возможности использования сформированных наборов данных достаточно широкому кругу пользователей для решения различных задач, связанных с лесными пожарами и их последствиями.

Работа выполнена с использованием возможностей Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг».

Литература

1. *Азметов Р. Р.*, *Галеев А. А.*, *Ершов Д. В.*, *Котельников Р. В.*, *Московенко В. М.*, *Прошин А. А.*, *Флитман Е. В.* Использование информации о регистрации молниевых разрядов в ИСДМ-Рослесхоз // Материалы 7-й Всероссийской открытой конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». М.: ИКИ РАН, 2009. С. 65.
2. *Барталев С. А.*, *Лупян Е. А.* Исследования и разработки ИКИ РАН по развитию методов спутникового мониторинга растительного покрова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 1. С. 197–214.
3. *Барталев С. А.*, *Егоров В. А.*, *Ершов Д. В.*, *Исаев А. С.*, *Лупян Е. А.*, *Плотников Д. Е.*, *Уваров И. А.* Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 4. С. 285–302.
4. *Барталев С. А.*, *Стыценко Ф. В.*, *Егоров В. А.*, *Лупян Е. А.* Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров // Лесоведение. 2015. № 2. С. 83–94.
5. *Барталев С. А.*, *Егоров В. А.*, *Жарко В. О.*, *Лупян Е. А.*, *Плотников Д. Е.*, *Хвостиков С. А.*, *Шабанов Н. В.* Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
6. *Барталев С. А.*, *Ворушилов И. И.*, *Егоров В. А.* Построение и радиометрическая нормализация безоблачных композитных спутниковых изображений покрытой снегом земной поверхности для мониторинга лесов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 2. С. 57–69. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-57-69.
7. *Беляев А. И.*, *Коровин Г. Н.*, *Лупян Е. А.* Использование спутниковых данных в системе дистанционного мониторинга лесных пожаров МПР РФ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2005. Вып. 2. Т. 1. С. 20–29.
8. *Волокитина А. В.*, *Софронова Т. М.*, *Корец М. А.* Региональные шкалы оценки пожарной опасности в лесу: усовершенствованная методика составления // Сибирский лесной журн. 2017. № 2. С. 52–61. DOI: 10.15372/SJFS20170206.
9. *Губенко И. М.*, *Рубинштейн К. Г.* Сравнительный анализ методов расчета индексов пожарной опасности // Тр. Гидрометеорол. научно-исслед. центра Российской Федерации. 2012. № 347. С. 207–222.
10. *Иванов В. А.*, *Горошко А. А.*, *Бакшеева Е. О.*, *Головина А. Н.*, *Морозов А. С.* Региональные шкалы пожарной опасности по условиям погоды для лесов Амурской области // Хвойные бореальной зоны. 2020. Т. 38. № 1–2. С. 34–42.
11. *Котельников Р. В.*, *Лупян Е. А.*, *Барталев С. А.*, *Ершов Д. В.* Космический мониторинг лесных пожаров: история создания и развития ИСДМ-Рослесхоз // Лесоведение. 2019. № 5. С. 399–409. DOI: 10.1134/S0024114819050048.

12. *Котельников Р. В.*, *Брюханов А. В.*, *Ястребков Д. А.* Использование полей метеорологических данных реанализа в узлах регулярной сети для восполнения пробелов в данных о пожарной опасности в лесах // Лесохоз. информация. 2025. № 1. С. 84–98. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2025.1.08.
13. *Лупян Е. А.*, *Прошин А. А.*, *Бурцев М. А.*, *Балашов И. В.*, *Барталев С. А.*, *Ефремов В. Ю.*, *Кашницкий А. В.*, *Мазуров А. А.*, *Матвеев А. М.*, *Суднева О. Е.*, *Сычугов И. Г.*, *Толпин В. А.*, *Уваров И. А.* Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.
14. *Лупян Е. А.*, *Стыценко Ф. В.*, *Сенько К. С. и др.* Оценка площадей пожаров на основе детектирования активного горения с использованием данных шестой коллекции приборов MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 4. С. 178–192. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-178-192.
15. *Лупян Е. А.*, *Лозин Д. В.*, *Балашов И. В. и др.* Исследование зависимости степени повреждений лесов пожарами от интенсивности горения по данным спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 3. С. 217–232. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-3-217-232.
16. *Лупян Е. А.*, *Лозин Д. В.*, *Барталев С. А. и др.* Оценка повреждений российских лесов пожарами в XXI веке на основе анализа интенсивности горения по данным прибора MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 6. С. 233–249. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-6-233-249.
17. *Миклашевич Т. С.*, *Барталев С. А.*, *Плотников Д. Е.* Интерполяционный алгоритм восстановления длинных временных рядов данных спутниковых наблюдений растительного покрова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. С. 143–154. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-143-154.
18. *Плотникова А. С.* Шкала природной пожарной опасности лесных экосистем И. С. Мелехова. Обзор современных российских методических подходов // Вопросы лесной науки. 2021. Т. 4. № 2. С. 83. 13 с. DOI: 10.31509/2658-607x-202142-2.
19. *Софронова Т. М.*, *Волокитина А. В.*, *Софронов М. А.* Совершенствование оценки пожарной опасности по условиям погоды в горных лесах Южного Прибайкалья: моногр. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева, Красноярский гос. педагог. ун-т им. В. П. Астафьева, 2007. 236 с.
20. *Уваров И. А.* Обработка метеорологических данных в составе Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» для использования в спутниковых информационных системах // Сб. тр. 10-й Всероссийской конф. с международ. участием, посвящённой памяти академика Ю. И. Шокина «Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов (SDM-2025)». Новосибирск: ФИЦ ИВТ, 2025. С. 181–183.
21. *Hawker L.*, *Uhe P.*, *Paulo L. et al.* A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed // Environmental Research Letters. 2022. V. 17. No. 2. Article 024016. DOI: 10.1088/1748-9326/ac4d4f.
22. *Mu Q.*, *Zhao M.*, *Running S. W.* Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm // Remote Sensing of Environment. 2011. V. 115(8). P. 1781–1800. DOI:10.1016/j.rse.2011.02.019.
23. *Running S.*, *Mu Q.*, *Zhao M.* MOD16A2 MODIS/Terra Net Evapotranspiration 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V006 1. NASA EOSDIS Land Processes DAAC, 2017. https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD16A2.006.
24. *Srock A. F.*, *Charney J. J.*, *Potter B. E.*, *Goodrick S. L.* The Hot-Dry-Windy Index: A new fireweather index // Atmosphere. 2018. V. 9. No. 7. Article 279. 11 p. DOI: 10.3390/atmos9070279.
25. *Torres-Rojo J. M.* Index for the estimation of the occurrence of forest fires in large areas // Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 2020. V. 26. No. 3. P. 433–449. DOI: 10.5154/r.rchscfa.2019.11.082.
26. *Vitolo C.*, *Di Giuseppe F.*, *Barnard C. et al.* ERA5-based global meteorological wildfire danger maps // Scientific Data. 2020. V. 7. Article 216. DOI: 10.1038/s41597-020-0554-z.
27. *Ziel R. H.*, *Bieniek P. A.*, *Bhatt U. S. et al.* A comparison of fire weather indices with MODIS fire days for the natural regions of Alaska // Forests. 2020. V. 11. No. 5. Article 516. 18 p. DOI: 10.3390/f11050516.

Product sets derived from remote sensing and reanalysis data for the development of approaches to assessing forest fire hazard

I. V. Balashov[1], R. V. Kotelnikov[2], A. A. Bril[1], D. A. Kobets[1], D. V. Lozin[1]

[1] *Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia*
E-mail: ivbalashov@d902.iki.rssi.ru
[2] *Center of Forest Pyrology, Branch of the All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Krasnoyarsk 660062, Russia*
E-mail: kotelnikovrv@firescience.ru

In the context of significant climate change, forest fire hazard assessment is a crucial tool for planning forest fire protection activities. The existing classification methodology that relies on two components, weather condition and natural forest fire hazard, has a number of drawbacks. At the same time, the rapid development of satellite remote sensing methods and meteorological data processing algorithms (such as reanalysis based on modern hydrodynamic weather models) offers opportunities to expand the range of information products utilized. The paper presents a brief analysis of the composition of information required to assess forest fire danger using satellite observations and reanalysis data. On the basis of the developments by the team from Space Research Institute RAS and the capabilities of the IKI-Monitoring Shared Use Center (http://ckp.geosmis.ru/), the analysis has enabled creation of a unique set of products designed to advance approaches to assessing forest fire hazard. The paper presents this set of products.

Keywords: forest fires, Earth remote sensing, meteorological data reanalysis, information products

Accepted: 17.10.2026
DOI: 10.21046/2070-7401-2026-23-5-449-456

References

1. Azmetov R. R., Galeev A. A., Ershov D. V., Kotel'nikov R. V., Moskovenko V. M., Proshin A. A., Flitman E. V., Use of lightning discharge registration data in the ISDM-Rosleskhoz system, *Materialy 7-i Vserossiiskoi otkrytoi konferentsii "Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa"* (Proc. 7th All-Russia Open Conf. "Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space"), Moscow: IKI RAS, 2009, p. 65 (in Russian).
2. Bartalev S. A., Loupian E. A., R&D on methods for satellite monitoring of vegetation by the Russian Academy of Sciences' Space Research Institute, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, V. 10, No. 1, pp. 197–214 (in Russian).
3. Bartalev S. A., Egorov V. A., Ershov D. V., Isaev A. S., Loupian E. A., Plotnikov D. E., Uvarov I. A., Maping of Russia's vegetation cover using MODIS satellite spectroradiometer data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, V. 8, No. 4, pp. 285–302 (in Russian).
4. Bartalev S. A., Stytsenko F. V., Egorov V. A., Loupian E. A., Satellite-based assessment of Russian forest fire mortality, *Lesovedenie*, 2015, No 2, pp. 83–94 (in Russian).
5. Bartalev S. A., Egorov V. A., Zharko V. O., Loupian E. A., Plotnikov D. E., Khvostikov S. A., Shabanov N. V., *Sputnikovoe kartografirovanie rastitel'nogo pokrova Rossii* (Land cover mapping over Russia using Earth observation data), Moscow: IKI RAN, 2016, 208 p. (in Russian).
6. Bartalev S. A., Vorushilov I. I., Egorov V. A., Creation and radiometric normalisation of cloud-free composite satellite images of snow-covered terrestrial surface for forest monitoring, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2022, V. 19, No. 2, pp. 57–69 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-57-69.
7. Belyaev A. I., Korovin G. N., Loupian E. A., Use of satellite data in the remote forest fire monitoring system of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2005, Iss. 2, V. 1, pp. 20–29 (in Russian).
8. Volokitina A. V., Sofronova T. M., Korets M. A., Regional weather forest fire danger scales: improved compilation technique, *Sibirskii Lesnoi Zhurnal*, 2017, No. 2, pp. 52–61 (in Russian), DOI: 10.15372/SJFS20170206.
9. Gubenko I. M., Rubinshtein K. G., Comparative analysis of methods for calculating fire danger indices, *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra Rossiiskoi Federatsii*, 2012, No. 347, pp. 207–222 (in Russian).

10. Ivanov V. A., Goroshko A. A., Baksheeva E. O., Golovina A. N., Morozov A. S., Regional fire danger rating scales based on weather conditions for the forests of the Amur Region, *Khvoinye boreal'noi zony*, 2020, V. 38, No. 1–2, pp. 34–42 (in Russian).
11. Kotel'nikov R. V., Lupyan E. A., Bartalev S. A., Ershov D. V., Space monitoring of forest fires: History of creation and development of ISDM-Rosleskhoz, *Contemporary Problems of Ecology*, 2020, V. 13, No. 7, pp. 795–802, DOI: 10.1134/S1995425520070045.
12. Kotel'nikov R. V., Bryukhanov A. V., Yastrebkov D. A., Using of reanalysis meteorological data fields on a regular grid to fill gaps in forest fire danger data, *Lesokhozyaistvennaya Informatsiya*, 2025, No. 1, pp. 84–98 (in Russian), DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2025.1.08.
13. Loupian E. A., Proshin A. A., Burtsev M. A., Balashov I. V., Bartalev S. A., Efremov V. Yu., Kashnitskiy A. V., Mazurov A. A., Matveev A. M., Sudneva O. E., Sychugov I. G., Tolpin V. A., Uvarov I. A., IKI center for collective use of satellite data archiving, processing and analysis systems aimed at solving the problems of environmental study and monitoring, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, V. 12, No. 5, pp. 263–284 (in Russian).
14. Loupian E. A., Stytsenko F. V., Senko K. S. et al., Burnt area assessment using MODIS Collection 6 active fire data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, V. 18, No. 4, pp. 178–192 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-178-192.
15. Loupian E. A., Lozin D. V., Balashov I. V. et al., Study of the dependence of forest fire damage degree on burning intensity based on satellite monitoring data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2022, V. 19, No. 3, pp. 217–232 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-3-217-232.
16. Loupian E. A., Lozin D. V., Bartalev S. A. et al., Assessment of damage to Russian forests by fires in the XXI century based on analysis of fire intensity using MODIS instrument, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2024, V. 21, No. 6, pp. 233–249 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-6-233-249.
17. Miklashevich T. S., Bartalev S. A., Plotnikov D. E., Interpolation algorithm for the recovery of long satellite data time series of vegetation cover observation, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, V. 16, No. 6, pp. 143–154 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-143-154.
18. Plotnikova A. S., Scale of natural fire danger of forest ecosystems of Melekhov I. S. Overview of modern Russian methodological approaches, *Forest Science Issues*, 2021, V. 4, No. 2, P. 83, 13 p. (in Russian), DOI: 10.31509/2658-607x-202142-2.
19. Sofronova T. M., Volokitina A. V., Sofronov M. A., *Sovershenstvovanie otsenki pozharnoi opasnosti po usloviyam pogody v gornykh lesakh Yuzhnogo Pribaikal'ya: monografiya* (Improving the assessment of aeather-based fire danger in the mountain forests of the southern Baikal Region: A monograph), Krasnoyarsk: V. N. Sukachev Institute of Forest; V. P. Astafyev Krasnoyarsk State Pedagogical University, 2007, 236 p. (in Russian).
20. Uvarov I. A., Processing of meteorological data within the "IKI-Monitoring" Shared-Use Center for use in satellite information systems, *Sbornik trudov 10-i Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarod. uchastiem, posvyashchennoi pamyati akademika Yu. I. Shokina* "*Obrabotka prostranstvennykh dannykh v zadachakh monitoringa prirodnykh i antropogennykh protsessov* (*SDM-2025*)" (10th All-Russia Conf. with international participation, dedicated to the memory of Academician Yu. I. Shokin "Processing of Spatial Data for Monitoring Natural and Anthropogenic Processes (SDM-2025)": Collection of papers), Novosibirsk: FITs IVT, 2025, pp. 181–183 (in Russian).
21. Hawker L., Uhe P., Paulo L. et al., A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed, *Environmental Research Letters*, 2022, V. 17, No. 2, Article 024016, DOI: 10.1088/1748-9326/ac4d4f.
22. Mu Q., Zhao M., Running S. W., Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm, *Remote Sensing of Environment*, 2011, V. 115(8), pp. 1781–1800, DOI: 10.1016/j.rse.2011.02.019.
23. Running S., Mu Q., Zhao M., *MOD16A2 MODIS/Terra Net Evapotranspiration 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V006 1*, NASA EOSDIS Land Processes DAAC, 2017, https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD16A2.006.
24. Srock A. F., Charney J. J., Potter B. E., Goodrick S. L., The Hot-Dry-Windy Index: A new fireweather index, *Atmosphere*, 2018, V. 9, No. 7, Article 279, 11 p., DOI: 10.3390/atmos9070279.
25. Torres-Rojo J. M., Index for the estimation of the occurrence of forest fires in large areas, *Revista Chapingo*, *Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 2020, V. 26, No. 3, pp. 433–449, DOI: 10.5154/r.rchscfa.2019.11.082.
26. Vitolo C., Di Giuseppe F., Barnard C. et al., ERA5-based global meteorological wildfire danger maps, *Scientific Data*, 2020, V. 7, Article 216, DOI: 10.1038/s41597-020-0554-z.
27. Ziel R. H., Bieniek P. A., Bhatt U. S. et al., A comparison of fire weather indices with MODIS fire days for the natural regions of Alaska, *Forests*, 2020, V. 11, No. 5, Article 516, 18 p., DOI: 10.3390/F11050516.