

КОСМИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ГЕОИНФОРМАТИКА

SPACE INFORMATION TECHNOLOGIES AND GEOINFORMATICS



УДК 528.85; 528.87; 528.88; 528.94
<https://doi.org/10.37661/1816-0301-2021-18-4-69-78>

Оригинальная статья
Original Paper

Опыт совершенствования программных комплексов дистанционного зондирования Земли для обнаружения тепловых аномалий

С. А. Золотой, И. Б. Страшко, Д. С. Котов[✉], И. М. Нестерович,
В. В. Рубо, Д. В. Волохович

УП «Геоинформационные системы»,
ул. Сурганова, 6, Минск, 220012, Беларусь
[✉]E-mail: dkotau@gis.by

Аннотация

Цели. Решалась задача совершенствования программного комплекса обнаружения тепловых аномалий (ПК ОТА) по данным метеорологических спутников, разработанного в УП «Геоинформационные системы».

Методы. В период с 2015 г. по настоящее время выполнялись работы по практической апробации и совершенствованию ПК ОТА. Для этого использовались спутниковые снимки территории Республики Беларусь, полученные с космических аппаратов серии NOAA. Особое внимание уделялось проблеме повышения точности определения координат пожаров и сокращения времени, необходимого для обработки исходных данных.

Результаты. Сделан ретроспективный анализ основных этапов совершенствования ПК ОТА и обобщены результаты, полученные в ходе практических испытаний. Описан веб-сервис, разработанный на основе ПК ОТА.

Заключение. Приведенные в статье сведения могут быть полезны для специалистов и исследователей, которые занимаются вопросами обнаружения тепловых аномалий (пожаров) с использованием данных дистанционного зондирования Земли, полученных с метеорологических спутников.

Ключевые слова: тепловая аномалия, метеорологический космический аппарат, оперативное обнаружение пожаров, анализ пожароопасной ситуации, автоматизированная тематическая обработка, температурная яркость, техногенные источники тепла, обновление данных о пожарах

Для цитирования. Опыт совершенствования программных комплексов дистанционного зондирования Земли для обнаружения тепловых аномалий / С. А. Золотой [и др.] // Информатика. – 2021. – Т. 18, № 4. – С. 69–78. <https://doi.org/10.37661/1816-0301-2021-18-4-69-78>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию | Received 12.08.2021

Подписана в печать | Accepted 13.09.2021

Опубликована | Published 26.12.2021

Updating the Earth remote sensing software for the detection of thermal anomalies

Sergey A. Zolotoy, Igor B. Strashko, Dzmitry S. Kotau[✉], Iryna M. Nestsiarovich, Vitali V. Rouba, Dzianis V. Valakhovich

UE "Geoinformation Systems",
st. Surganova, 6, Minsk, 220012, Belarus
[✉]E-mail: dkotau@gis.by

Abstract

Objectives. The task of improving the software package for detecting thermal anomalies based on meteorological satellite data developed by the unitary enterprise "Geoinformation Systems" was solved.

Methods. In the period from 2015 to the present, the work on practical testing and improvement of the software for natural fires detection has been carried out. For this purpose, satellite images of the territory of Belarus obtained from NOAA series spacecraft were used. Special attention was paid to the problem of improving the accuracy of determining the coordinates of fires and reducing the time required for initial data processing.

Results. A retrospective analysis of the main stages of improving the software for natural fires detection and obtained during practical tests generalized results are provided. The description of the web service developed on the basis of the software for detecting natural fires is presented.

Conclusion. The information can be useful for the specialists and researchers who are engaged in the detection of thermal anomalies (fires) using remote sensing data from meteorological satellites.

Keywords: hotspot, meteorological satellite, operational fire detection, fire hazard analysis, automated thematic processing, temperature brightness, man-made heat sources, fire data update

For citation. Zolotoy S. A., Strashko I. B., Kotau D. S., Nestsiarovich I. M., Rouba V. V., Valakhovich D. V. *Updating the Earth remote sensing software for the detection of thermal anomalies*. Informatika [Informatics], 2021, vol. 18, no. 4, pp. 69–78 (In Russ.).

<https://doi.org/10.37661/1816-0301-2021-18-4-69-78>

Conflict of interest. The authors declare of no conflict of interest.

Введение. Создание технических средств обнаружения природных пожаров в Республике Беларусь имеет длительную историю. Особое место в этой истории занимает развитие программных комплексов обнаружения природных пожаров по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с использованием различных спутников.

В статье обращается внимание на причины возникновения и последствия природных пожаров, приведен ретроспективный анализ совершенствования программных комплексов обнаружения природных пожаров по данным ДЗЗ в Республике Беларусь.

Природный пожар – это любой стихийный или неконтролируемый пожар, который вне зависимости от источника возгорания может потребовать мер по тушению [1]. Основные причины возникновения природных пожаров обусловлены деятельностью человека (~79 %), при этом главным виновником пожаров (~70 %) является само население. От сельхоззапалов, сжигания порубочных остатков, по вине лесозаготовителей, экспедиций, а также транспортных систем возникает ~9,1 % природных пожаров, от природных факторов (молний) – чуть более 13 %. Остальная часть пожаров возникает по невыясненным причинам [2].

Следствиями пожаров являются снижение качественного и породного состава лесного фонда, экологических функций лесов; трансформация территорий, покрытых лесом, а также частичная или полная гибель насаждений. При поджоге травы погибает вся полезная микрофлора почвы, многие насекомые и мелкие животные, истребляющие различных вредителей и участвующие в процессе образования почвы; уничтожаются кладки и места гнездований птиц, а также происходит значительный выброс углекислого газа в атмосферу. После палов почва закисляется и снижается ее плодородие, а выживают и первыми отрастают неприхотливые сорняки [3]. Суммарный ущерб от лесных пожаров охватывает многие показатели [4] и включает:

- стоимость потерь древесины на корню в средневозрастных, припевающих, спелых и перестойных насаждениях;
- ущерб от повреждения молодняков естественного и искусственного происхождения;
- ущерб от повреждения ресурсов побочного лесопользования;
- снижение стоимости объектов и готовой продукции, поврежденных пожаром;
- расходы на расчистку горельников и дополнительные санитарные рубки в насаждениях, поврежденных лесными пожарами;
- ущерб от снижения почвозащитных, санитарно-гигиенических, водоохранных и других средообразующих функций леса;
- ущерб от загрязнения воздушной среды продуктами горения;
- ущерб от гибели животных и растений, включая занесенных в Красную книгу Республики Беларусь, и другие потери.

Создание программного комплекса обнаружения тепловых аномалий, ориентированного на спутники серии NOAA. Первые эксперименты по использованию данных ДЗЗ для обнаружения пожаров, полученных со спутников низкого разрешения, были проведены в сентябре 1998 г. Тогда в республике действовали две станции ДЗЗ в Научно-инженерном республиканском предприятии «Геоинформационные системы» НАН Беларуси. Результаты экспериментов показали принципиальную возможность обнаружения природных пожаров с помощью информации, поступающей со спутников серии NOAA на станцию дистанционного зондирования и обрабатываемой аппаратно-программным комплексом, разработанным в УП «Геоинформационные системы» НАН Беларуси. Тем не менее целесообразность использования космического мониторинга за пожарами в лесах Республики Беларусь на момент начала исследования ставилась под сомнение.

В 1999 г. силами УП «Геоинформационные системы», Научно-исследовательского института пожарной безопасности Главного управления военизированной пожарной службы Министерства внутренних дел Республики Беларусь с привлечением ряда областных управлений военизированной пожарной службы в два этапа проводилось апробирование метода ДЗЗ для обнаружения природных пожаров на территории Республики Беларусь. На первом этапе в период с 3 мая по 22 июня 1999 г. данные о природных пожарах от соответствующих наземных служб на территории Брестской области сравнивались с результатами дистанционного зондирования с помощью спутников серии NOAA.

Результаты проведенных исследований показали, что количество пожаров на территории области по данным ДЗЗ низкого разрешения, не подтвержденных наземными службами, превышает количество подтвержденных пожаров. Это позволило сделать вывод, что для дистанционного зондирования, как и для других технических средств обнаружения природных пожаров, существует проблема ложного срабатывания.

На втором этапе в период с 29 июля по 30 августа 1999 г. результаты о наиболее крупных пожарах по данным дистанционного зондирования с помощью спутников серии NOAA сравнивались с данными Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (МЧС). Результаты экспериментов по обнаружению природных пожаров на территории республики с помощью станции ДЗЗ УП «Геоинформационные системы» показали, что минимальная обнаруживаемая площадь возгорания составляет 0,01 га. Это соответствовало данным, полученным учеными других стран. В то же время точность обнаружения природных пожаров с помощью программного обеспечения УП «Геоинформационные системы» в проведенных экспериментах была на один-два порядка хуже, чем в экспериментах ученых других стран. Такая точность определения природных пожаров не устраивала МЧС. Была поставлена задача повышения точности определения природных пожаров путем усовершенствования программного обеспечения и снижения числа ложных сообщений.

Задача повышения точности определения координат пожаров решалась в рамках выполнения задания «Разработать программное обеспечение повышения точности определения координат и достоверности обнаружения пожаров для автоматизированной системы космического мониторинга пожароопасных ситуаций на территории Республики Беларусь» государственной научно-технической программы «Чрезвычайные ситуации».

Параллельно с повышением точности определения координат пожаров решалась задача сокращения времени обработки данных, полученных с помощью ДЗЗ низкого разрешения, и нанесения оперативной информации на карту. Все это делалось для достижения главной цели – повышения оперативности обнаружения пожаров, а также для получения независимой информации о числе природных пожаров.

В ходе исследования материалы дистанционной съемки были получены со спутников NOAA-12, NOAA-14 и NOAA-15. Среднее время обработки материалов дистанционной съемки и определения координат пожаров на всей территории Республики Беларусь на этом этапе составляло 40 мин.

Результаты экспериментов, проведенных с 10 апреля по 3 августа 2000 г. на территории Минской области, показали, что минимальная площадь обнаружения природных пожаров при благоприятных условиях космической съемки со спутников типа NOAA составляет 0,01 га. Определение таких небольших по площади природных пожаров возможно при соблюдении целого ряда условий: угла пролета спутника над территорией, температуры в очаге пожара, четкого выделения сигнала на фоне шумов при наименьшей вероятности ложных сообщений о температурных аномалиях.

На основе экспериментальных данных было определено, что при использовании космической съемки территории Республики Беларусь, полученной с космических аппаратов низкого разрешения (типа NOAA), оптимальная наименьшая площадь обнаружения природных пожаров составляет 0,09 га, а максимальное отклонение при расчете координат пожара – более 2 мин (или более 4 км).

В 2001 г. эксперименты по выявлению пожаров с использованием данных ДЗЗ спутников серии NOAA проводились с 17 мая по 4 июня на территории Рогачевского, Жлобинского и Гомельского районов Гомельской области. Они показали, что очаги природных пожаров площадью менее 0,03 га не фиксируются. Были замечены очаги пожаров, информация о которых у наземных служб отсутствовала; тепловые аномалии, не связанные с пожарами, и пожар телятника размером 10×50 м. При этом максимальное отклонение координат тепловых аномалий и природных пожаров составило 592 м.

С 20 по 22 ноября 2002 г. проверка осуществлялась в Гомельской, Минской и Могилевской областях. На основе статистической обработки результатов сравнения данных о температурных аномалиях, полученных в результате обработки космических снимков, и натурных проверок были сделаны выводы, что вероятность обнаружения природного пожара составляет 0,73, обнаружения природного пожара – 0,07, вероятность ложного срабатывания – 0,17, вероятность ошибки оператора – 0,03.

Точность определения координат (среднеквадратическое отклонение) по широте составило 0,39 мин (или 727 м), по долготе – 0,55 мин (или 632 м), максимальное отклонение в определении координат пожаров по широте – 3° (5550 м), по долготе – 3° (3390 м).

Достоверность обнаружения природных пожаров по данным ДЗЗ со спутников типа NOAA с 11 по 13 сентября 2002 г. в Минской области составила 0,44; с 20 по 22 ноября 2002 г. в Гомельской, Минской и Могилевской областях – 0,735; с 26 по 28 июня 2003 г. в Брестской области – 0,333 и с 25 по 27 августа 2003 г. в Гродненской области – 0,45. Среднее значение достоверности обнаружения природных пожаров за весь период натурных проверок в 2002–2003 гг. составило 48,9 %.

Испытания ПК ОТА, ориентированного на спутники серии NOAA, проводились и в 2004–2005 гг. По результатам испытаний в 2005–2006 гг. была выполнена доработка аппаратно-программного комплекса, и в 2007 г. продолжена его апробация. В итоге вероятность обнаружения природных пожаров составила 66,7 %. Результаты проведенной апробации работоспособности доработанного автоматизированного аппаратно-программного комплекса дистанционного обнаружения природных пожаров по данным спутников серии NOAA показали, что минимальная обнаруживаемая площадь очага природного пожара составляет 0,01 га. На основе статистической обработки результатов сравнения данных о температурных аномалиях, полученных при обработке космических снимков, и результатов натурных проверок установлено, что вероятность обнаружения природных пожаров – 0,4–0,8, вероятность ложной тревоги – 0,05–0,2, вероятность необнаружения природного пожара – 0,05–0,15. При ориентации на вы-

явление мелких природных пожаров растет число температурных аномалий, не являющихся природными пожарами. Максимальная вероятность обнаружения природных пожаров достигается при настройке автоматизированной системы дистанционного обнаружения природных пожаров по данным ДЗЗ низкого разрешения с использованием данных от наземных служб. Таким образом, максимальной эффективности функционирования автоматизированной системы дистанционного обнаружения природных пожаров по данным из космоса можно достичь в составе комплексной системы обнаружения природных пожаров, учитывающей данные авиационного и наземного мониторинга.

Совершенствование программного комплекса обнаружения тепловых аномалий во взаимодействии с программным комплексом распространения оперативной космической информации. Опытно-конструкторская работа «Создание распределенной системы приема, обработки и распространения оперативной космической информации с космических аппаратов (AQUA, SUOMI NPP, NOAA 20, MetOp, Feng-Yun 3D)» выполнена в рамках государственной программы «Научные технологии и техника» на 2016–2020 гг. Результатом этой работы стало создание программного комплекса распространения оперативной космической информации и ПК ОТА.

Упрощенная схема информационного взаимодействия ПК ОТА с пользователями и другими компонентами распределенной системы приема, обработки и распространения оперативной космической информации показана на рис. 1.

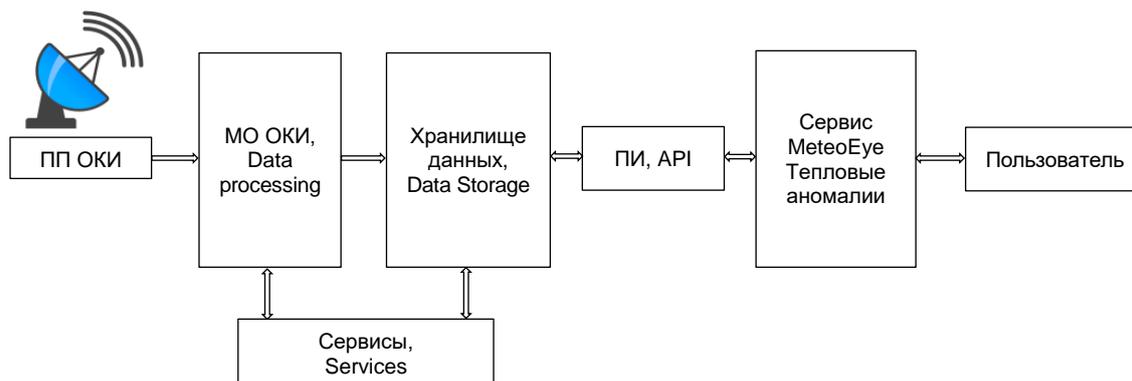


Рис. 1. Схема взаимодействия компонентов программного комплекса обнаружения тепловых аномалий

Fig. 1. Simplified scheme of interaction of software package for detecting thermal anomalies components

ПК ОТА и подсистема приема оперативной космической информации (ПП ОКИ) являются частью распределенной системы приема, обработки и распространения оперативной космической информации. В состав ПК ОТА входят следующие компоненты:

Модуль обработки оперативной космической информации (МО ОКИ, Data processing), предназначенный для автоматизации процессов первичной обработки принятой оперативной космической информации с целью формирования информационных ресурсов, соответствующих различным требованиям.

Программные средства МО ОКИ обеспечивают:

- контроль поступления данных от ПП ОКИ;
- сбор вспомогательных данных для обработки (начальные баллистические условия, калибровочные коэффициенты, прогностическая информация и др.);
- обработку получаемых данных и формирование базовых информационных ресурсов, реализующих информационную совместимость с составными частями модуля;
- формирование описательных данных, обзорных изображений к базовым информационным ресурсам, доступным пользователю через приложение просмотра и поиска оперативной космической информации;
- формирование информационных ресурсов для работы ПК ОТА.

Информационные ресурсы, получаемые с помощью МО ОКИ, совместимы с программными пакетами обработки метеорологических данных Direct Readout Laboratory (URL: <https://directreadout.sci.gsfc.nasa.gov/>), Community Satellite Processing Package (URL: <https://cimss.ssec.wisc.edu/cspp/>) и AAPP (URL: <https://www.nwpsaf.eu/site/software/aapp/>).

Сервисы для поддержки работы системы (Сервисы, Services), обеспечивающие движение оперативной космической информации по компонентам системы, управление временем жизни базовых информационных ресурсов, организацию информационных рассылок посредством протокола SMTP и ведение журнала основных операций.

Программный интерфейс (ПИ, API) для обеспечения взаимодействия с внешними программными комплексами, реализованный на основе технологии Representational State Transfer (REST). Формат структур входных и выходных данных – XML или JSON. Описание используемых методов можно посмотреть на сайте <https://meteoeye.gis.by/api/index.html>.

Сервис MeteoEye Тепловые аномалии (MeteoEye Hotspots) – веб-приложение для визуализации результатов ПК ОТА (URL: <https://meteoeye.gis.by/hotspots/>). Сервис предоставляет данные без аутентификации, имеет интерфейс на русском и английском языках, а адаптивная верстка позволяет использовать его как на персональных компьютерах (рис. 2, а), так и на мобильных устройствах (рис. 2, б). В качестве геоинформационной основы можно выбрать слой с картографическими или спутниковыми данными открытого использования.

На стартовой странице сервиса MeteoEye Hotspots отображается информация о выявленных тепловых аномалиях за текущие сутки. С помощью встроенного календаря можно просмотреть пожарную ситуацию за две недели.

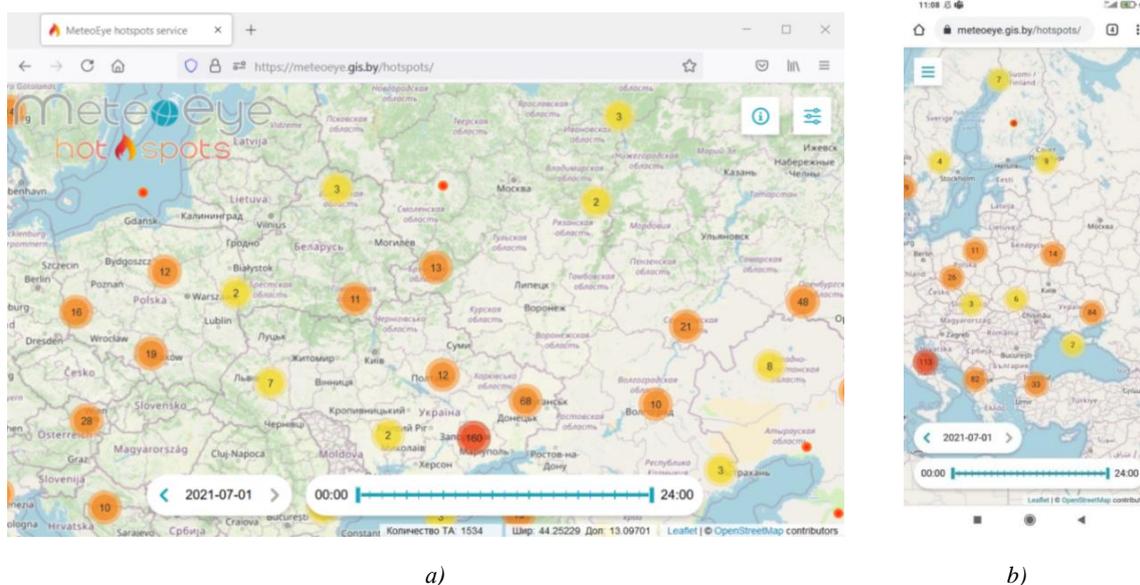


Рис. 2. Версия сервиса MeteoEye Hotspots для персональных компьютеров (а) и мобильных устройств (б)

Fig. 2. *MeteoEye Hotspots service personal computers version (a) and mobile version (b)*

Для более удобного восприятия общей обстановки на удаленных масштабах используется система группирования, когда соседние тепловые аномалии объединяются в кластеры, которые окрашиваются в зависимости от количества входящих в них объектов. При нажатии на кластер осуществляется приближение масштаба и он «распадается» на отдельные тепловые аномалии. При нажатии на конкретную тепловую аномалию появляется окно с информацией о ее характеристиках (рис. 3).

Основным преимуществом сервиса MeteoEye Hotspots является автоматическое обновление информации о тепловых аномалиях после пролета спутника на текущую дату в зависимости от установленного временного фильтра. Главная цель MeteoEye Hotspots – это оперативное предо-

ставление результатов выявления тепловых аномалий (пожаров) всем заинтересованным потребителям: как специалистам, например, подразделений МЧС, так и обычным интернет-пользователям.

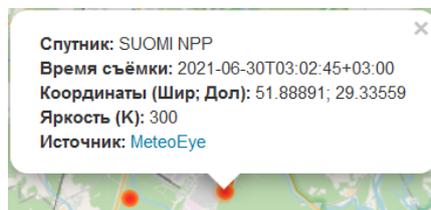


Рис. 3. Характеристики тепловой аномалии

Fig. 3. Characteristics of hotspots

Технология обнаружения тепловых аномалий основана на автоматизированной тематической обработке снимков, полученных с метеорологических космических аппаратов AQUA, TERRA, Suomi NPP, Feng-Yun 3D, а также спутников серии MetOp и NOAA. За сутки в среднем происходит прием и обработка около 15–20 сеансов съемки. Территориальный охват определяется зоной радиовидимости приемной антенны, расположенной в Минске, и включает большую часть европейской территории.

Значительное влияние на качество съемки оказывает облачная обстановка, т. е. в условиях сплошной облачности обнаружение тепловых аномалий невозможно либо малоэффективно. Необходимо отметить, что пространственное разрешение съемочной аппаратуры метеоспутников довольно низкое – в среднем около 1 км (наиболее высокое разрешение – 375 м – имеет сенсор VIIRS, установленный на Suomi NPP). Эти важные характеристики необходимо учитывать при оценке возможностей сервиса по обнаружению мелких пожаров и точности их привязки.

В процессе автоматизированной обработки применяется контекстно-пороговый анализ температурных яркостей соседних пикселей земной поверхности в инфракрасном диапазоне, который позволяет выявлять участки с высокой температурой, а данные с других спектральных каналов помогают маскировать облачные участки и фильтровать ложные срабатывания, например блики или отсветы. Результаты обработки в виде конечного продукта доступны пользователю не позднее чем через 30 мин после окончания сеанса приема. Конечно, для получения более точного и полного результата необходимо использовать инструменты верификации, основанные на дополнительных источниках: информации от местного населения, изображениях с видеокамер, обработке данных со спутников высокого разрешения и др.

Примеры получения оперативных сведений о пожарах. В качестве примеров приведем сведения о пожарах на территории Турции 29.07.2021 г.¹ (рис. 4), на территории Греции 06.08.2021 г.² (рис. 5) и торфяном пожаре в Петриковском районе Гомельской области Беларуси 29.07.2021 г.³ (рис. 6).

Главным потребителем информации ПК ОТА, полученной при обработке космических снимков, является МЧС Республики Беларусь. По данным метеорологических спутников ведется регулярный мониторинг состояния объектов земной поверхности Беларуси на предмет обнаружения тепловых аномалий – индикаторов возникновения пожаров [5]. В зависимости от решаемой задачи в МЧС Республики Беларусь передается либо информация о выявленных тепловых аномалиях, либо космические снимки земной поверхности. Использование данных

¹Лесные пожары в Турции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ria.ru/20210729/pozhar-1743510730.html>. – Дата доступа: 07.07.2021.

²Лесные пожары в Греции: эвакуированы пригороды Афин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bbc.com/russian/news-58108883>. – Дата доступа: 07.07.2021.

³Более 130 человек тушат торфяной пожар в Петриковском районе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belta.by/incident/view/bolee-130-chelovek-tushat-torfjanoy-pozhar-v-petrikovskom-rajone-452419-2021/>. – Дата доступа: 07.07.2021.

космической съемки позволяет обеспечить регулярный мониторинг земной поверхности, в том числе и в труднодоступных районах [5]. Сведения о тепловых аномалиях доступны органам и подразделениям по чрезвычайным ситуациям в режиме реального времени после обработки снимков Национальным оператором Белорусской космической системы ДЗЗ – УП «Геоинформационные системы». Среднее время получения подразделениями МЧС информации о температурной аномалии не превышает 15 мин с момента завершения приема данных со спутника ДЗЗ.

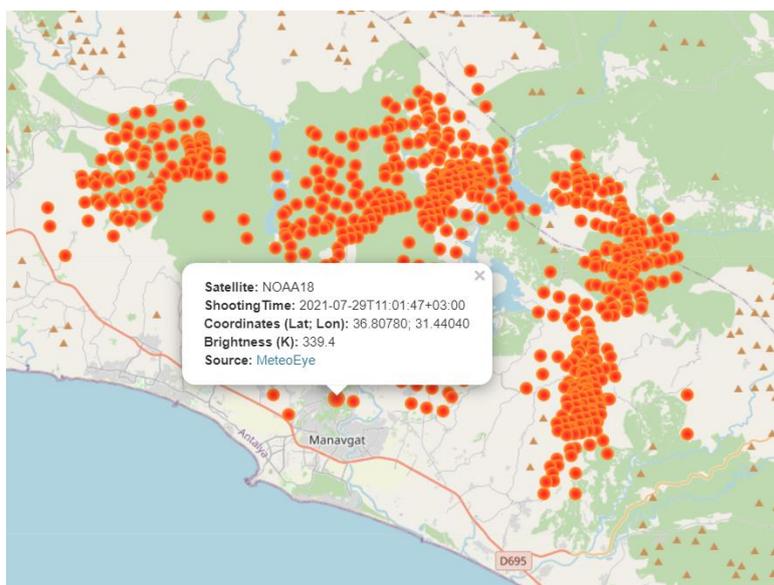


Рис. 4. Сведения о пожарах на территории Турции
Fig. 4. Information about a fire in the territory of Turkey

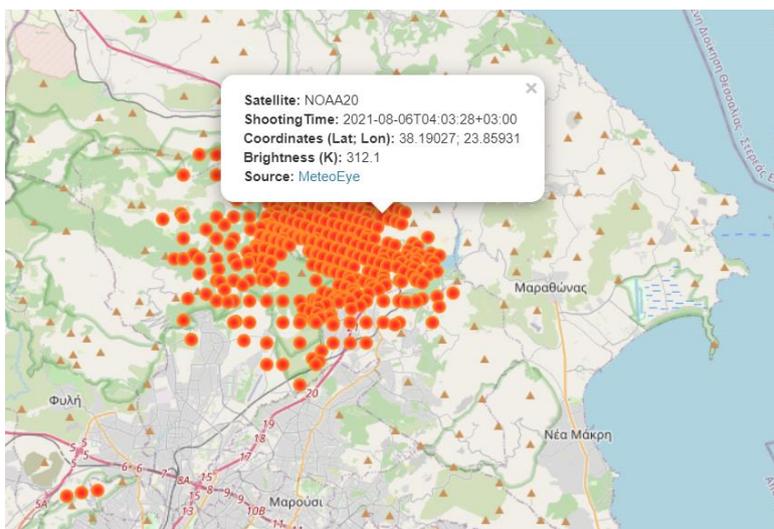


Рис. 5. Сведения о пожарах на территории Греции
Fig. 5. Information about a fire in the territory of Greece

С помощью данных космической съемки были выявлены природные пожары на ранней стадии развития в экосистемах на территории Республики Беларусь и трансграничные природные пожары в экосистемах на территориях России и Украины вблизи границы с Республикой Беларусь.

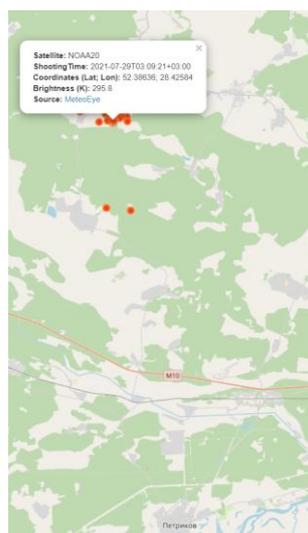


Рис. 6. Сведения о пожаре на территории Беларуси
Fig. 6. Information about a fire in the territory of Belarus

Заклучение. В работе проведен ретроспективный анализ основных этапов совершенствования ПК ОТА по данным ДЗЗ в Республике Беларусь и обобщены результаты, полученные во время практических испытаний. Описан веб-сервис, разработанный в ходе опытно-конструкторской работы «Создание распределенной системы приема, обработки и распространения оперативной космической информации с космических аппаратов (AQUA, SUOMI NPP, NOAA 20, MetOp, Feng-Yun 3D)» в рамках государственной программы «Наукоемкие технологии и техника» на 2016–2020 гг.

Веб-сервис MeteoEye Hotspots уже сегодня применяется для решения научных и прикладных задач в различных областях знаний и позволяет:

- оперативно получать сведения об обнаруженных с помощью космических данных тепловых аномалиях (пожарах) на большей части европейской территории;
- осуществлять общий мониторинг пожароопасной ситуации и своевременно реагировать на возникновение чрезвычайных ситуаций, связанных с крупными возгораниями;
- на основе пространственного анализа делать предположения о характере тепловой аномалии (лесной пожар, пожар на торфянике, техногенный тепловой источник и т. д.);
- оценивать угрозу ближайшим населенным пунктам, объектам инфраструктуры, ценным природным территориям;
- следить за динамикой распространения пожаров и давать прогнозы развития ситуации на основании внешних метеорологических данных.

Вклад авторов. С. А. Золотой – обоснование концепции и актуальности статьи; И. Б. Страшко – консультирование по вопросам создания программного комплекса распространения оперативной космической информации; Д. С. Котов – обзор и аналитический анализ статьи, формулирование выводов; И. М. Нестерович – сбор, анализ и обобщение данных; В. В. Рубо – сбор и систематизация данных; Д. В. Волохович – сбор и систематизация данных, интерпретация результатов применения данных.

Список использованных источников

1. Моргера, Э. Лесные пожары и законодательство / Э. Моргера, М. Т. Чирелли ; Прод. и сельскохоз. организация Объед. Наций. – Рим, 2012. – 181 с.
2. Бондур, В. Г. Космический мониторинг природных пожаров в России в условиях аномальной жары / В. Г. Бондур // Исследование Земли из космоса. – 2011. – № 3. – С. 3–13.
3. Строк, К. М. Лесные пожары: причины возникновения и меры противопожарной безопасности / К. М. Строк, Т. М. Германович // Проблемы экологии и экологической безопасности. Создание новых

полимерных материалов : сб. материалов VII Междунар. заоч. науч.-практ. конф. – Минск : УГЗ МЧС РБ, 2020. – С. 339–342.

4. Методика исчисления ущерба от низовых пожаров разной интенсивности / Г. Я. Климчик [и др.] // Природные ресурсы Национального парка «Припятский» и других особо охраняемых природных территорий Беларуси: изучение, сохранение, устойчивое использование : сб. науч. тр. / Нац. парк «Припятский». – Минск, 2020. – С. 415–418.

5. Абламейко, С. В. Белорусская космическая система дистанционного зондирования: состояние и перспективы развития / С. В. Абламейко, С. А. Золотой // Материалы Междунар. науч. конф. «Современные проблемы математики, информатики и управления», Алматы, 2–3 окт. 2008 г. – Алматы, 2008. – С. 89–93.

References

1. Morgera E., Cirelli M. T. *Forest Fires and the Law: a Guide for National Drafters Based on the Fire Management Voluntary Guidelines*. Food and agriculture organization of the United Nations, Rome, 2009, 175 p.

2. Bondur V. G *Space monitoring of natural fires in Russia in conditions of abnormal heat*. Issledovanie Zemli iz kosmosa [*Exploration of the Earth from Space*], 2011, no. 3, pp. 3–13 (In Russ.).

3. Strok K. M., Germanovich T. M. *Forest fires: causes and measures of fire safety*. Problemy jekologii i jekologicheskoy bezopasnosti. Sozdanie novyh polimernyh materialov : sbornik materialov VII Mezhdunarodnoj zaочноj nauchno-prakticheskoy konferencii [*Problems of Ecology and Ecological Safety. Creation of New Polymeric Materials: Collection of Articles. Materials of the VII International Correspondence Scientific Conference*], Minsk, Universitet grazhdanskoj zashhity Ministerstva po chrezvychajnym situacijam Respubliki Belarus', 2020, pp. 339–342 (In Russ.).

4. Klimchik G. Ya., Rihter I. Je., Bahur O. V., Shalima P. V. *Methodology for calculating damage from ground fires of varying intensity*. Prirodnye resursy Nacional'nogo parka «Pripjatskij» i drugih osobo ohranjaemyh prirodnyh territorij Belarusi: izuchenie, sohranenie, ustojchivoe ispol'zovanie : sbornik nauchnyh trudov. Nacional'nyj park «Pripjatskij» [*Natural Resources of the National Park "Pripyatsky" and Other Specially Protected Natural Areas of Belarus: Study, Conservation, Sustainable Use: Collection of Scientific Papers. The National Park "Pripyatsky"*], Minsk, 2020, pp. 415–418 (In Russ.).

5. Ablamejko S. V., Zolotoy S. A. *Belarusian space remote sensing system: state and development prospects*. Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Sovremennye problemy matematiki, informatiki i upravlenija», Almaty, 2–3 oktjabrja 2008 g. [*Proceedings of the International Scientific Conference "Modern Problems of Mathematics, Informatics and Management", Almaty, 2–3 October 2008*], Almaty, 2008, pp. 89–93 (In Russ.).

Информация об авторах

Золотой Сергей Анатольевич, кандидат технических наук, директор, УП «Геоинформационные системы». E-mail: gis@gis.by

Страшко Игорь Болеславович, заместитель директора по производству, УП «Геоинформационные системы». E-mail: IStrashko@gis.by

Котов Дмитрий Сергеевич, кандидат технических наук, ученый секретарь, УП «Геоинформационные системы». E-mail: dkotau@gis.by

Нестерович Ирина Максимовна, младший научный сотрудник отдела инновационных технологий, УП «Геоинформационные системы». E-mail: nesterovichirina20@gmail.com

Роубо Виталий Вильгельмович, начальник отдела инновационных технологий, УП «Геоинформационные системы». E-mail: vroubo@gis.by

Волохович Денис Валерьевич, ведущий инженер отдела обработки данных ДЗЗ, УП «Геоинформационные системы». E-mail: dvolohovich@gis.by

Information about the authors

Sergey A. Zolotoy, Cand. Sci. (Eng.), Director, UE "Geoinformation Systems". E-mail: gis@gis.by

Igor B. Strashko, Deputy Director for Production Affairs, UE "Geoinformation Systems". E-mail: IStrashko@gis.by

Dzmitry S. Kotau, Cand. Sci. (Eng.), Scientific Secretary, UE "Geoinformation Systems". E-mail: dkotau@gis.by

Iryna M. Nestsiarovich, Junior Research Scientist of the Department of Innovative Technologies, UE "Geoinformation Systems". E-mail: nesterovichirina20@gmail.com

Vitali V. Rouba, Head of the Department of Innovative Technologies, UE "Geoinformation Systems". E-mail: vroubo@gis.by

Dzianis V. Valakhovich, Leading Engineer of the Department of Remote Sensing Data Processing Department, UE "Geoinformation Systems". E-mail: dvolohovich@gis.by