_____ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ __ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ И ЭМИССИЙ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВ И АЭРОЗОЛЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

© 2016 г. В. Г. Бондур*, К. А. Гордо, В. Л. Кладов

Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга "АЭРОКОСМОС", Москва, Россия *e-mail: vgbondur@aerocosmos.info

Поступила в редакцию 07.07.2016 г.

На основании данных оперативного космического мониторинга природных пожаров проанализированы распределения площадей, пройденных огнем, а также объемы эмиссий углеродсодержащих газов (CO и CO₂) и мелкодисперсных аэрозолей (PM_{2.5}) для различных регионов и различных месяцев за периоды с 2005 по 2016 (вся территория России) и с 2010 по 2016 г. (территория Северной Евразии). Выявлены особенности сезонной повторяемости природных пожаров и объемов эмиссий углеродсодержащих газов и мелкодисперсных аэрозолей для различных регионов Северной Евразии. Показано, что с 2005 по 2016 г. ежегодная площадь выгоревших территорий при природных пожарах в Российской Федерации снизилась почти в 2.6 раза за счет принятия мер по раннему обнаружению и ликвидации очагов возгорания. Установлено, что в 2014–2016 гг. на территории Украины относительные площади, пройденные огнем, увеличились в 6–9 раз, а объемы эмиссий CO, CO₂ и PM_{2.5} – в 6.5–7.5 раз по сравнению с более ранними годами и этими характеристиками для территорий других стран Европы.

Ключевые слова: космический мониторинг, дистанционное зондирование Земли, космические изображения, природные пожары, эмиссии вредных примесей, атмосфера **DOI:** 10.7868/S0205961416060105

ВВЕДЕНИЕ

Природные пожары являются одним из наиболее опасных типов природных катастроф, происходящих как в Северной Евразии, так и на планете в целом. На Земном шаре ежегодно возникает более 400 тыс. природных пожаров. Площадь, пройденная огнем, только для территории Северной Евразии составляет от 2.5 до 18.0 млн га ежегодно (Исаев и др., 1995; Швиденко и др., 2011; Воробьев и др., 2004).

Лесные, торфяные и степные пожары — один из важнейших природных источников эмиссий химически активных (в том числе парниковых) газов и аэрозолей, влияющих на климат планеты. За сезон вегетации растений поток депонированного из воздушной среды углерода за счет фотосинтеза может достигать величин 80–310 г/м². Природные пожары снижают стоки атмосферного углерода вследствие снижения биомассы и изза трансформации растительности в источники углерода за счет прямых выбросов при ее сгорании (от 40.0 до 130.0 Мт в год) и косвенных воздействий пожаров на тепловой и водный режимы, а также на структуру и функционирование экосистем (Исаев и др., 1995).

Пожары вызывают сильнейшие выбросы углекислого газа (CO₂) в воздушную среду, провоцируя возникновение "парникового эффекта", что приводит к неблагоприятным изменениям климата (Kulmala et al., 2015; Baklanov et al., 2012). Природные пожары способствуют также возникновению облачности в верхних слоях атмосферы, что вызывает региональные климатические изменения (Бондур, 2015; Гришин, 2003).

При природных пожарах происходит загрязнение атмосферы вредными и токсичными газами, парами и аэрозолями. Дым, в котором содержатся вредные продукты горения и разложения различных веществ, загрязняет воздушную среду. В целом на планете более 20% загрязнителей поступает в атмосферу в результате природных пожаров. По некоторым данным, только в Северном полушарии выбросы, например, моноокиси углерода (СО) составляют в среднем 11 × 10⁶ т/год, аэрозолей – (35–360) × × 10⁶ т/год, аммиака – до 12 × 10⁶ т/год (http://greenpressa.ru/viewtopic.php?f=3&t=1756). Благодаря атмосферной циркуляции, вредные примеси, обусловленные природными пожарами, распространяются далеко за пределы очагов загрязнения. Эмиссионные шлейфы от сильных природных (лесных, степных, торфяных) пожаров могут распространяться на тысячи километров (Бондур, 2011, 2015).

Интенсивность пожаров и объемы эмиссий вредных веществ в атмосферу подвержены значительным сезонным изменениям. Они зависят от типов растительности и климатических особенностей, свойственных различным регионам (Исаев и др., 1995; Вивчар и др., 2010; Kulmala et al., 2015). В связи с этим актуально получение как можно более точных данных о пространственной и временной изменчивости распределений количества пожаров, площадей выгоревших территорий и объемов эмиссий малых газовых компонентов и аэрозолей в воздушную среду, обусловленных природными пожарами. Такие данные могут быть получены с использованием спутниковых систем мониторинга и современных методов обработки больших потоков космической информации (Савин, Бондур, 2000; Бондур, 2011, 2014, 2015; Бондур, Гинзбург, 2016; Bondur, 2010). В связи с этим, учитывая особенности и характерные масштабы природных пожаров, происходящих на огромной территории Северной Евразии, для решения проблемы их обнаружения и оценки последствий от них в настоящей работе применяются космические методы и средства мониторинга.

Оперативный космический мониторинг природных пожаров обеспечивает раннее обнаружение мест расположения их очагов, оценку площадей участков территорий, пройденных огнем, прогноз распространения пожаров с учетом метеорологических условий, а также оперативное предоставление информации службам пожаротушения (Бондур, 2011, 2015; Бондур, Гинзбург, 2016; Bondur, 2010). Информация, получаемая космическими системами мониторинга, может использоваться для получения оценок пожароопасности территорий, раннего предупреждения населения об этих стихийных бедствиях, выявления негативного влияния выбросов вредных веществ в атмосферу, анализа экологического состояния территорий, а также для оценивания глобальных и региональных изменений климата (Бондур, 2011, 2015; Воробьев и др., 2004; Kulmala et al., 2015; Baklanov et al., 2012).

В настоящей работе приведены результаты космического мониторинга природных пожаров, происходивших на территории Северной Евразии, начиная с 2005 г. На основании результатов обработки данных, полученных с использованием созданной в НИИ "АЭРОКОСМОС" системы оперативного космического мониторинга лесных, степных и торфяных пожаров, проанализированы площади, пройденные огнем, а также определены объемы эмиссий углеродосодержащих газовых компонент (СО, СО₂) и мелкодисперсных аэрозолей (РМ_{2.5}) при природных пожа-

рах в различных регионах Северной Евразии. Построены и проанализированы распределения площадей выгоревших территорий и объемов эмиссий CO, CO₂ и PM_{2.5} в этих регионах для различных временных периодов. Выявлены региональные и сезонные особенности природных пожаров и их последствий.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ И ВЫЗЫВАЕМЫХ ИМИ ЭМИССИЙ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ

Для проведения космического мониторинга природных пожаров и эмиссий малых газовых составляющих и мелкодисперсных аэрозолей в различных регионах Северной Евразии использовалась система, созданная в НИИ "АЭРОКОСМОС", которая описана в работах (Бондур, 2011, 2015; Bondur, 2010).

При мониторинге природных пожаров эта космическая система обеспечивает выполнение следующих основных функций (Бондур, 2011, 2015; Бондур, Гинзбург, 2016; Bondur, 2010):

– получение изображений в инфракрасном (ИК) и видимом диапазонах спектра электромагнитных волн с различных космических аппаратов (Terra; Aqua; SuomiNPP; NOAA; Метеор-М; FY-3 и др.) путем приема на три наземные станции (Москва, Сибирь, Дальний Восток) с покрытием территории России и близлежащих стран Северной Евразии, а также архивных данных;

– оперативное обнаружение очагов пожаров путем регистрации радиационной температуры в спектральном диапазоне 3.5–3.7 мкм, а также разности радиационных температур в этом канале и в канале ~11.0 мкм;

 векторизация масок пожаров и формирование атрибутивных таблиц шейп-файлов с информацией о каждом пожаре;

 устранение ложных аномалий, связанных с газовыми факелами, горячими производствами, бликами на металлических крышах и водных поверхностях, серебристыми облаками и т.п.;

 формирование синтезированных изображений с очагами пожаров и дымовыми шлейфами по многоспектральным данным в видимом и ИКдиапазонах;

– расчет площадей пожаров по спутниковым данным низкого разрешения (TERRA, AQUA, NOAA, Suomi-NPP, Метеор-М, FY-3 и др.) и их уточнение по данным среднего и высокого разрешения (Landsat, IRS, Канопус и др.);

 – расчет объемов эмиссий газов и аэрозолей с использованием данных о площадях пожаров, типах растительности, плотности биомассы и др.;



Рис. 1. Функциональная схема системы космического мониторинга природных пожаров и оценки объемов эмиссий, разработанной в НИИ "АЭРОКОСМОС".

 построение карт распределений объемов эмиссий CO₂, CO, NO₂ по данным аппаратуры AIRS (Aqua) и OMI (Aura) и распределений тепловых аномалий по данным аппаратуры AVHRR спутников серии NOAA.

Основными отличительными особенностями системы мониторинга НИИ "АЭРОКОСМОС" являются (Бондур, 2015):

 высокая частота обзора одного и того же региона (35–40 раз в сут);

 сочетание обзорных (полоса обзора 2–3 тыс.
км, пространственное разрешение 250–1000 м) и детальных (пространственное разрешение 2–30 м) спутниковых данных;

 – высокая скорость обработки и передачи данных (10 мин с момента приема космических данных);

 высокая точность (минимальный радиус регистрируемых очагов пожаров 5.5 м) и достоверность обнаружения очагов возгорания (0.8–0.96).

Для оценивания объемов эмиссий вредных примесей в атмосферу и определения их пространственно-временных распределений в составе космической системы мониторинга создан специальный аппаратно-программный ком-

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА № 6 2016

плекс, обеспечивающий тематическую обработку космической информации.

Функциональная схема системы космического мониторинга природных пожаров и оценки объемов эмиссий вредных газов и аэрозолей приведена на рис. 1. Система состоит из:

– подсистемы сбора и предварительный обработки данных, включающей в свой состав средства дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) – космические аппараты и аппаратуру ДЗЗ, позволяющие получать исходные космические изображения; средства приема космической информации с различных спутников; автоматизированные рабочие места (АРМы) сбора и предварительной обработки космических данных;

 подсистемы оперативного обнаружения очагов возгорания и определения площадей участков территорий, пройденных огнем;

 подсистемы тематической обработки информации, состоящей из аппаратно-программных средств (модулей), обеспечивающих решение задач оценивания объемов эмиссий CO, CO₂ и PM_{2.5}, а также пространственных распределений этих примесей и аэрозольной оптической толщины (АОТ) по данным, поступающим с различных спутников ДЗЗ;

 – базы данных, обеспечивающей хранение и актуализацию исходной информации и результатов тематической обработки;

 подсистемы формирования информационных продуктов в интересах различных потребителей.

Система представляет собой комплекс космических средств для мониторинга пожаров и выявления их последствий, предоставляющий возможность получения точных данных о площадях выгоревших территорий, объемах эмиссий и распространения вредных газов и аэрозолей в атмосфере (Бондур, 2011, 2015; Бондур, Гинзбург, 2016; Bondur, 2010).

Система обеспечивает:

 сбор данных космического мониторинга (космических изображений) земной поверхности, поступающих с различных космических аппаратов, как в режиме реального времени, так и из долговременных архивов;

 выявление по данным космического мониторинга очагов природных пожаров, расчет их площадей и прогноз направлений распространения;

– расчет объемов эмиссий и динамики распространения углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде при природных пожарах в различных регионах с учетом коэффициентов эффективности для различных типов растительности на основании данных космического мониторинга на разных уровнях пространственной дифференциации;

 формирования различного рода выходных информационных продуктов с результатами определения площадей выгоревших участков исследуемых территорий, объемов эмиссий и распространения углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей, а также их пространственновременных распределений.

На первом этапе работы системы производятся сбор и предварительная обработка данных. В подсистему сбора и предварительной обработки данных информация поступает от различных источников и различными способами: с антенных комплексов приема космической информации с отечественных и зарубежных спутников, http- и ftp-серверов сети Интернет, на съемных носителях и др. Затем полученные данные подвергаются предварительной обработке в соответствии с разработанными алгоритмами. Работа с различными источниками информации производится на специальных автоматических рабочих местах (APMax).

Далее в подсистеме оперативного обнаружения очагов возгораний и определения площадей территорий, пройденных огнем, производятся выявление очагов и расчет площадей природных пожаров с целью использования этой информации на последующих стадиях для расчетов объемов эмиссий вредных газов и аэрозолей, поступающих в воздушную среду (Бондур, 2011, 2014, 2015).

В ходе тематической обработки данных система реализует усовершенствованный метод, учитывающий более точные площади, пройденные огнем (определяются по данным высокого пространственного разрешения), плотность распределения биомассы, полноту сгорания биомассы и эмиссионные коэффициенты, основанный на модифицированной формуле Сейлера-Крутцена (Seiler, Crutzen, 1980), описанный в работе (Бондур, 2015)

$$E = k \times A \times B \times C \times D,$$

где A — площадь пожара, м²; B — плотность биомассы на выгоревшей территории, кг/м²;

C — полнота сгорания биомассы, %; D — коэффициент эмиссии (масса вещества, выбрасываемого в атмосферу при сгорании 1 кг биомассы), г/кг; k — корректирующий коэффициент, полученный для уточнения значения площадей территорий, пройденных огнем; E — общая масса вещества, выбрасываемого в атмосферу в результате пожара, г.

Значения площадей пожаров A рассчитываются по космическим данным, а значения коэффициентов B, C и D являются табличными, соответствующими конкретным типам растительности, произрастающей на исследуемой территории, и могут быть получены на основании результатов работ (Andreae, Merlet, 2001; Wiedinmyer et al., 2006).

Коэффициент *k* получен в результате сравнительного анализа значений площадей природных пожаров, полученных по спутниковым данным низкого (спутники Terra, Aqua) и среднего пространственного разрешения (спутники серии Landsat). Учет этого коэффициента позволяет более точно определять площади пожаров по обзорным спутниковым данным низкого пространственного разрешения. Его значение составляет k = 0.889 (Бондур, 2015).

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНОВ И ИХ АНАЛИЗ

Вся территория Российской Федерации

На рис. 2 приведены результаты космического мониторинга природных пожаров на всей территории Российской Федерации за период с 2005—2016 гг. На рис. 2*a* в качестве примера представлено синтезированное изображение с очагами природных пожаров, обнаруженных из космоса 16 сентября 2016 г. на территории Сибири (Иркутская область). На этом изображении отчетливо проявляются дымовые шлейфы от пожаров, распространяющиеся на достаточно значительные расстояния (от ~150 до 500 км) от источников возгорания.



Рис. 2. Результаты космического мониторинга природных пожаров и вызываемых ими эмиссий углеродсодержащих газов и мелкодисперсных аэрозолей на всей территории РФ в 2005–2016 гг.: a – пожары, обнаруженные из космоса 16 сентября 2016 г. в Сибири (Иркутская область); δ – распределение по годам общих площадей участков территорий, пройденных огнем при пожарах; e – распределение площадей, пройденных огнем по месяцам; распределения объемов эмиссий по месяцам CO (e), CO₂ (d), PM_{2.5} (e) по месяцам.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА № 6 2016

На рис. 26 приведены распределения по годам площадей участков, пройденных огнем, на всей территории РФ, выявленных по результатам космического мониторинга за период с 2005 по 2016 гг. Из рис. 26 следует, что наибольшие площади выгоревших территорий по данным космического мониторинга на всей территории РФ были обнаружены в 2006 (234.7 тыс. км²), в 2008 (202.3 тыс. км²), а также в 2005 и в 2009 гг. (более 160 тыс. км²).

Анализ рис. 26 показывает, что площади, пройденные огнем при природных пожарах, к 2016 г. снизились приблизительно в 2.6 раза по сравнению с 2005 г. Это может быть связано с тем, что за этот период времени в РФ развивалась и совершенствовалась система мер, применяемых для раннего обнаружения природных пожаров, их более эффективного тушения, прежде всего, на ранних стадиях.

На рис. 2в-е представлены распределения по месяцам с апреля по октябрь (пожарный период в Северной Евразии) суммарных площадей участков территории, пройденных огнем (в), объемов эмиссий угарного газа — CO (e), углекислого газа — CO₂ (д) и мелкодисперсных аэрозолей – РМ₂₅ (е). Анализ этих рисунков показывает, что за период с 2005 по 2016 г. на всей территории РФ наибольшие площади, пройденные огнем при природных пожарах, и максимальные объемы эмиссий углеродсодержащих газов и мелкодисперсных аэрозолей наблюдаются в весенний период (апрельмай) и в летние месяцы (июль-август). Это согласуется с результатами, полученными в работах (Бондур, 2015; Бондур, Гинзбург, 2016) для периодов времени с 2010 по 2014 гг. Максимальные площади участков территории, пройденных огнем при природных пожарах, на всей территории РФ обнаружены из космоса в апреле 2008 (~105 тыс. км²) и в мае 2006 г. (~99 тыс. км²). Максимальные объемы эмиссий моноокиси углерода (СО) на всей территории РФ обнаружены из космоса в апреле 2008 г. (~18 млн т) и в мае 2006 г. (~15.5 млн т). Максимальные объемы эмиссий двуокиси углерода (СО₂) выявлены по результатам космического мониторинга на всей территории РФ в апреле 2008 (~285 млн т), в мае 2006 (~240 млн т) и в июле 2012 г. (~235 млн т). Максимальные объемы эмиссий мелкодисперсных аэрозолей на всей территории России выявлены по космическим данным в апреле 2008 (~2 млн т), в мае 2006 (~1.67 млн т) и в июле 2012 г. (~1.86 млн т).

Европейская часть территории Российской Федерации

На рис. 3 представлены некоторые результаты космического мониторинга природных пожаров на Европейской части территории РФ за период времени с 2010 по 2016 г. На этом рисунке приведены распределения по месяцам с апреля по октябрь (пожароопасный период) общих площадей

участков территорий, пройденных огнем (рис. 3*a*), а также объемов эмиссий моноокиси углерода — CO (рис. 3*b*), двуокиси углерода — CO₂ (рис. 3*b*) и мелкодисперсных аэрозолей $PM_{2.5}$ (*b*) для Европейской части территории России за период времени с 2010 по 2016 гг.

Анализ рис. 3a-e показывает, что за исследуемый период времени (2010—2016 гг.) на Европейской части территории России максимальные площади участков территорий, выгоревших в течение месяца, и максимальные объемы эмиссий CO, CO₂ и PM_{2.5} были обнаружены в апреле и в июле—августе, а в 2015 г. и в сентябре месяце.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что максимальные плошали, пройденные огнем, на Европейской части территории России (за период 2010-2016 гг.) выявлены в августе 2010 г. (~11 тыс. км²), когда в этом регионе стояла аномальная жара (Бондур, 2011; Bondur, 2010), а также в апреле 2012 г. (~9.7 тыс. км²). Максимальные объемы эмиссий моноокиси углерода – СО за этот период времени для рассматриваемой территории выявлены в августе 2010 г. (0.86 млн т). В этот же месяц 2010 г. были максимальными и эмиссии двуокиси углерода – СО₂ (19.8 млн т). Максимальные значения площадей выгоревших участков территорий и объемов эмиссий СО и СО₂ в августе 2010 г. были обусловлены сильнейшими пожарами, бушевавшими в данном регионе в этот период времени (Бондур, 2011; Bondur, 2010). В то же время за период с 2010 по 2016 г. максимальные объемы эмиссий мелкодисперсных аэрозолей – РМ_{2.5} в Европейской части территории РФ выявлены в апреле 2012 (0.078 млн т) и в апреле 2014 г. (0.07 млн т).

За анализируемый период времени (с 2010 по 2016 гг.) как уже отмечалось, наиболее сильные пожары в этом регионе происходили в 2010 г. (Бондур, 2011). Это иллюстрируется примерами, приведенными на рис. 3∂ , *e*, на которых показаны очаги и дымовые шлейфы от природных пожаров, обнаруженных из космоса 29 июля 2010 г. в центральных областях Европейской части территории России (рис. 3e), а также 14 августа 2010 г. на территории Республики Марий Эл.

Территории Европейских стран

На рис. 4 приведены карты с распределением очагов пожаров, обнаруженных из космоса на территории Европы в пожарный период (апрельоктябрь) 2012 (*a*), 2013 (*б*), 2014 (*b*), 2015 (*c*) и 2016 (*d*). Анализ рис. 4a - d показывает, что в 2014 (рис. 4b), 2015 (рис. 4c) и 2016 г. (рис. 4d) плотность очагов возгорания на территории Украины существенно возросла по сравнению с 2012 и 2013 гг. На рис. 4c, в качестве примера, приведены ежедневные распределения площадей, пройденных огнем, на территории Украины в августе 2015 г. Из этого рисунка



Рис. 3. Результаты космического мониторинга природных пожаров и вызываемых ими эмиссий вредных веществ в атмосферу для Европейской части территории РФ с 2010 по 2016 гг.: a – распределение площадей природных пожаров по месяцам; δ – распределение объемов эмиссий СО по месяцам; e – распределение объемов эмиссий СО по месяцам; e – распределение объемов эмиссий РМ_{2.5} по месяцам; ∂ – очаги пожаров, обнаруженные 29 июля 2010 г. в Центральных областях Европейской части территории России; e – пожары, обнаруженные 14 августа 2010 г. в республике Марий Эл.



Рис. 4. Распределение очагов природных пожаров на территории Европы в пожарные периоды (апрель–октябрь) различных лет: *a* – 2012 г.; *б* – 2013 г.; *в* – 2014 г.; *г* – 2015 г.; *д* – 2016 г.; *е* – ежедневные площади, пройденные огнем при пожарах на территории Украины в августе 2015 г.

видно, что в отдельные дни (4–6 августа 2015 г.) площади, пройденные огнем, на территории Украины превышали 500 км².

На рис. 5 представлены карты с очагами природных пожаров, обнаруженными из космоса на территории Украины в различные годы: 2012 (рис. 5*a*), 2013 (рис. 5*b*), 2014 (рис. 5*b*), 2015 (рис. 5*a*), 2016 г. (рис. 5*b*). Эти карты детализируют информацию, представленную на рис. 4. Удельная плотность очагов возгорания (количество очагов, отнесенное к общей площади региона, $1/\text{кm}^2$), выявленная по космическим данным на территории Украины, составляла: в $2012 \text{ г.} - 3.5 \times 10^{-3} 1/\text{кm}^2$; в $2013 - 3.6 \times 10^{-3} 1/\text{кm}^2$; в $2014 - 1.7 \times 10^{-2} 1/\text{кm}^2$; в $2015 - 1.6 \times 10^{-2} 1/\text{кm}^2$; в $2016 - 1 \times 10^{-2} 1/\text{кm}^2$. Таким образом, в 2014 - 2016 гг. удельная плотность очагов пожаров, происходящих в течение года в этой стране, возросла в 3-5 раз по сравнению с 2012 - 2013 гг.

На рис. 5е в качестве примера приведено изображение, полученное 2 сентября 2015 г. на основании космических данных, иллюстрирующее очаги возгорания и дымовые шлейфы на севере Украины на границе с Республикой Беларусь. Из этого примера видно, что количество очагов пожаров в этот день на территории Украины было существенно большим, чем на юге территории Республики Беларусь. Аналогичная картина наблюдается на рис. 6а, на котором в качестве примера представлено синтезированное изображение, полученное 25 августа 2015 г. на границе Украины и Республики Беларусь с использованием космических данных.

На рис. 66 представлены распределения по месяцам относительных площадей, пройденных огнем, (отношение суммарных площадей, пройденных огнем, к площади всей страны) для территории Украины в 2010–2016 гг. Из этого рисунка видно, что относительные площади, пройденные огнем при пожарах, произошедших на территории этой страны в 2014–2016 гг., приблизительно в 6–9 раз превышали аналогичные характеристики, выявленные в 2010–2013 гг. Даже по сравнению с августом 2010 г., когда на территории Восточной Европы происходили аномально сильные природные пожары (Бондур, 2011), их относительные площади на территории Украины были в 2.6 раза меньше, чем в 2014–2016 гг.

На рис. 6*в* для сравнения представлены относительные площади выгоревших участков территорий при природных пожарах (отнесенные к общим площадям исследуемых регионов) для каждого месяца пожароопасного периода (апрель—октябрь) с 2010 г. по 2016 г. для территорий различных стран Европы — Украины, Европейской части территории Российской Федерации, а также Северной, Центральной и Восточной Европы (включая всю территорию Турции). Анализ рис. 6*в* показывает, что относительные площади выгоревших участков территорий при пожарах, происходивших в августе 2014—2015 гг., для территории Украины в 7 раз, а в 2016 г. в 4.7 раза превышают аналогичные характеристики для территории Европейской части РФ и для территории Северной, Центральной и Восточной Европы.

В таблице в качестве примера приведены общие количества очагов пожаров и плотности очагов пожаров, отнесенные к площадям соответствующих территорий, $1/\text{KM}^2$), обнаруженные на основании результатов обработки космических данных, полученных в августе 2015 г. на различных территориях. Анализ таблицы показывает, что в августе 2015 г. максимальное число очагов пожаров (5863) и максимальная плотность пожаров ($10^{-2} 1/\text{Km}^2$) были обнаружены из космоса на территории Украины. При этом плотность очагов пожаров на территории Украины в 10-16 раз в августе 2015 г. превышала плотности пожаров на других территориях Европы.

На рис. 6г-е представлены ежемесячные значения относительных (на единицу площади исследуемых регионов) объемов эмиссий моноокиси углерода – СО (рис. 6г), двуокиси углерода – СО₂ (рис. 6д) и мелкодисперсных аэрозолей – РМ₂₅ (рис. 6е) для различных территорий Европы, которые получены по результатам космического мониторинга в пожароопасный период с 2010 по 2016 г. Анализ графиков, приведенных на рис. 6r-e, показывает, что максимальные относительные объемы эмиссий CO, CO₂ и PM_{2.5} были выявлены на территории Украины в августе 2014, 2015 и 2016 гг. Относительные величины объемов эмиссий углеродсодержащих газов и аэрозолей, обусловленных пожарами, на территории Украины в августе 2014, 2015 и 2016 гг. существенно превышали аналогичные величины для Европейской части территории России и территорий стран Северной, Центральной и Восточной Европы (включая Турцию). Эти превышения в августе 2014-2016 гг. составляли: для относительных объемов эмиссий СО – в 6–6.5 раза; для относительных объемов эмиссий CO_2 в ~7 раз; для относительных объемов эмиссий $PM_{2.5}$ – в 8–10 раз.

Установленные факты свидетельствуют о том, что в 2014—2016 гг. в Украине была значительно снижена эффективность мероприятий по раннему выявлению и ликвидации природных пожаров.

Сибирский федеральный округ Российской Федерации

На рис. 7 приведены результаты космического мониторинга природных пожаров и вызываемых ими эмиссий вредных веществ в воздушную среду, выполненного в 2010—2016 гг. для территории Сибирского федерального округа РФ. На этом рисунке представлены распределения по месяцам площадей, пройденных огнем при природных пожарах, обнаруженных из космоса (рис. 7*a*), а так-



Рис. 5. Пространственное распределение очагов природных пожаров на территории Украины: *a* – в 2012 г.; *б* – в 2013 г.; *в* – в 2014 г.; *е* – в 2015 г.; *д* – в 2016 г. *е* – Очаги природных пожаров и дымовые шлейфы, обнаруженные из космоса на границе Украины и Республики Беларусь 2 сентября 2015 г.

же объемов эмиссий моноокиси углерода – СО (рис. 7*б*), двуокиси углерода – СО₂ (рис. 7*в*) и мелкодисперсных аэрозолей – РМ_{2.5} (рис. 7*г*) для данной территории.

Анализ рис. 7 показывает, что максимальные площади, пройденные огнем, и максимальные объемы эмиссий углеродсодержащих газов и мелкодисперсных аэрозолей в этом регионе обнаружены





Относительные площади пожаров на различных территориях 120 г

Относительные объемы эмиссий СО на различных территориях



Рис. 6. Результаты космического мониторинга природных пожаров и вызываемых ими эмиссий вредных веществ в атмосферу для территорий различных стран Европы (Украина, страны Северной, Центральной и Восточной Европы, Европейская часть территории России): a – примеры пожаров, обнаруженных из космоса 25 августа 2015 г. на границе Украины и Республики Беларусь; δ – относительные площади природных пожаров, произошедших на территории Украины в 2010-2016 гг.; e – относительные площади природных стран Европы: e – моноокиси углерода – CO; d – двуокиси углерода – CO₂; e – мелкодисперсного аэрозоля – PM_{2.5}.

N⁰	Территория	Характеристика	
		количество очагов пожаров	плотность (1/км ²) очагов пожаров
1	Европейская часть территории России	2405	6.2×10^{-4}
2	Республика Беларусь	260	1.2×10^{-3}
3	Северная, Центральная и Восточная Европа	3276	9.3×10^{-4}
4	Украина	5863	10 ⁻²

Количество очагов пожаров и плотность очагов пожаров (1/км²), обнаруженных из космоса, на различных территориях Европейских стран в августе 2015 г.

в апреле-мае и в июле-августе, как и для всей территории Российской Федерации (см. рис. 2). Однако характер этих распределений имеет некоторые особенности. Если в весенние месяцы объемы эмиссий CO, CO₂ и PM₂, для всей территории РФ приблизительно пропорциональных площадям, пройденным огнем, то в летние месяцы объемы эмиссий растут быстрее, чем площади, пройденные огнем (см. рис. 2). В то же время для территории Сибирского федерального округа РФ объемы эмиссий CO, CO₂ и PM_{2.5} в летние месяцы приблизительно пропорциональны площадям, пройденным огнем, а в весенние месяцы эти объемы растут значительно медленнее, чем площади выгоревших участков территорий (см. рис. 7). Это может быть обусловлено тем, что в весенние месяцы пожары возникают преимущественно в южных областях данного региона, где преобладает редколесье. Пожары в весенние месяцы, когда листва еще на распустилась, вызывают меньшие объемы эмиссий углеродсодержащих газов и аэрозолей (Бондур, 2015; Бондур, Гинзбург, 2016).

Максимальные площади выгоревших территорий для этого региона в исследуемый период времени были выявлены в июле 2012 (26 тыс. км²), апреле 2012 (~23.6 тыс. км²), в мае 2015 и в июле 2016 г. (~23 тыс. км²). Максимальные объемы эмиссий были выявлены: для СО – в июле 2012 (~8.4 млн т), в июле 2016 (~7.9 млн т); для СО₂ – в июле 2012 (~150 млн т); для PM_{2.5} – в июле 2012 г. (~0.88 млн т).

На рис. 7 приведены также синтезированные изображения, полученные на основании космических данных, характеризующих интенсивность природных пожаров, обнаруженных 18 июня 2012 г. на севере Красноярского края (рис. 7 ∂) и 18 сентября 2016 г. в Иркутской области и в Красноярском крае (рис. 7e).

Дальневосточный федеральный округ Российской Федерации

На рис. 8 представлены результаты космического мониторинга природных пожаров, происходивших в 2010–2016 гг. на территории Дальневосточного федерального округа РФ. На этом рисунке приведены распределения по месяцам суммарных площадей участков территорий, пройденных огнем (рис. 8*a*), а также объемы эмиссий угарного газа CO (рис. 8*b*), углекислого газа CO₂ (рис. 8*b*) и мелкодисперсных аэрозолей $PM_{2.5}$ (рис. 8*c*), построенные по космическим данным для территории этого региона.

Анализ зависимостей, приведенных на рис. 8, свидетельствует о более равномерном распределении по месяцам суммарных площадей участков территорий, пройденных огнем, а также объемов эмиссий углеродсодержащих газов и мелкодисперсных аэрозолей в 2010–2016 гг. При этом наблюдается приблизительная пропорциональность площадей, пройденных огнем, и объемов эмиссий СО, СО₂ и PM_{2.5} для этого региона. Максимальные значения суммарных площадей выгоревших участков за каждый месяц приходятся на май–август пожароопасного периода.

За промежуток времени с 2010 по 2016 гг. наибольшие площади выгоревших территорий в Дальневосточном федеральном округе были выявлены в июле 2012 (21 тыс. км²), в июне 2012 (17.6 тыс. км²), а также в мае и июле 2011 г. (~15 тыс. км²). Максимальные объемы эмиссий углеродсодержащих газов и аэрозолей для этого региона были обнаружены по космическим данным в июле 2012 г. и составили величины: для эмиссий CO – 5.9 млн т; для эмиссий CO₂ – 112 млн т; для эмиссий PM_{2.5} ~ 1 млн т.

Значительные объемы эмиссий вредных веществ были зарегистрированы также в мае 2011 г., в июле 2011 г. и августе 2012 г., которые составили для угарного газа (CO) – 3.8-4.1 млн т, для углекислого газа (CO₂) – 70-78 млн т, а для мелкодисперсного аэрозоля (PM_{2 5}) ~0.6 млн т.

На рис. 8 в качестве примеров показаны синтезированные изображения, сформированные на основании космических данных, полученных 27 июля 2014 г. на территории Республики Саха (Якутия) (рис. 8*д*) и 23 июля 2015 г. на территории Амурской области (рис. 8*e*). Эти изображения иллюстрируют интенсивность пожаров и дымовых шлейфов в Дальневосточном федеральном округе РФ.



Рис. 7. Результаты космического мониторинга природных пожаров и объемов эмиссий CO, CO₂ и PM_{2.5} на территории Сибирского Федерального округа РФ в 2010–2016 гг.: *а* – распределение площадей природных пожаров по месяцам; распределение объемов эмиссий по месяцам: *б* – CO; *в* – CO₂; *е* – PM_{2.5}; *д* – очаги природных пожаров и дымовые шлейфы, обнаруженные 18 июня 2012 г. на Севере Красноярского края; *е* – очаги природных пожаров и дымовые шлейфы, обнаруженные 18 сентября 2016 г. в Иркутской области и Красноярском крае.



Рис. 8. Результаты космического мониторинга природных пожаров и объмов эмиссий углесодержащих газов (CO, CO_2) и мелкодисперсных аэрозолей (PM_{2.5}) на территории Дальневосточного Федерального округа РФ в 2010-2016 гг.: *a* – распределение площадей природных пожаров по месяцам; распределение объемов эмиссий по месяцам: δ – CO; β – CO₂; ϵ – PM_{2.5}; ∂ – очаги природных пожаров и дымовые шлейфы, обнаруженные 27 июля 2014 г. в Республике Саха (Якутия); e – очаги природных пожаров и дымовые шлейфы, обнаруженные 23 июня 2015 г. в Амурской области.



Рис. 9. Результаты космического мониторинга природных пожаров и вызываемых ими эмиссий вредных веществ в атмосферу для Северо-Восточной части территории Китая в 2014–2016 гг.: a – распределение площадей природных пожаров по месяцам; распределение объемов эмиссий по месяцам: δ – CO; e – CO₂; e – PM_{2.5}; d – пожары, обнаруженные из космоса 25 октября 2015 г. на Северо-Востоке Китая; e – пожары, обнаруженные 1 ноября 2015 г. в Китае (провинция Хэйлунцзян).

Северо-Восточная территория Китая

На рис. 9 представлены результаты космического мониторинга природных пожаров и вызываемых ими эмиссий в атмосферу моноокиси углерода – СО, двуокиси углерода – СО₂, и мелкодисперсных аэрозолей – $PM_{2.5}$, выполненного в 2014–2016 гг. на Северо-востоке территории Китая. На этом рисунке приведены распределения по месяцам площадей, пройденных огнем при природных пожарах (9*a*), а также объемов эмиссий СО (рис. 9*b*), СО₂ (рис. 9*b*) и PM_{2.5} (рис. 9*c*), выявленных по результатам космического мониторинга пожаров в этом регионе в 2014–2016 гг.

Анализ распределений, приведенных на рис. 8*a*, показывает, что для этой территории наибольшие площади, пройденные огнем, выявлены в апрелемае 2015 г. (24–29 тыс. км²) и в августе 2014 г. (~25 тыс. км²), а также в апреле 2014 г. (~21 тыс. км²) и в августе 2015 г. (~20 тыс. км²). Менее интенсивные пики площадей, пройденных огнем, зарегистрированы в исследуемый период времени в июне 2014 и 2015 гг. (~7 тыс. км²), а также в сентябре-октябре 2014 и 2016 годов (5–6 тыс. км²).

Анализ ежемесячных распределений объемов эмиссий моноокиси углерода – СО (рис. 96), двуокиси углерода – СО2 (рис. 9в) и мелкодисперсных аэрозолей – PM_{2.5} (рис. 9г), выявленных по результатам космического мониторинга, показывает, что максимальные объемы эмиссий этих вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу при природных пожарах на территории Северо-Востока Китая, наблюдаются в апреле и октябре. При этом максимальные значения объемов эмиссий за исследуемый временной интервал составляли: для моноокиси углерода (СО) ~0.44 млн. т (октябрь 2015 г.); для двуокиси углерода (CO₂) ~6.8 млн т (октябрь 2015 г.); для мелкодисперсных аэрозолей (PM_{2.5}) ~0.027 млн т (октябрь 2015 г.). Наименьшая интенсивность пожаров и связанных с ними эмиссий CO (б), CO₂ (в) и PM_{2.5} (г) за исследуемый период времени выявлена на территории Северо-Восточной части Китая в июне, сентябре и октябре 2014-2016 гг.

Следует отметить, что для этого региона объемы эмиссий углеродсодержащих газов и аэрозолей не пропорциональны площадям, пройденным огнем, для всех месяцев. Это связано со спецификой растительного покрова для данного региона.

На рис. 9*д*, *е* в качестве примеров представлены синтезированные изображения, иллюстрирующие результаты обнаружения из космоса природных пожаров, происходивших 25 октября 2015 г. на Северо-востоке территории Китая (рис. 9*д*) и 1 ноября 2015 г. в провинции Хейлунцзян Китая (рис. 9*е*).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе описаны особенности применения созданной и постоянно совершенствующейся системы космического мониторинга таких опасных стихийных явлений, как природные пожары. Эффективность использования этой системы продемонстрирована на основании результатов космического мониторинга, проведенного в 2005–2016 гг. для раннего обнаружения очагов возгорания, определения площадей участков территорий, выгоревших при пожарах, а также оценивания объемов эмиссий углеродсодержащих газов (CO, CO₂) и мелкодисперсных аэрозолей (PM_{2.5}) в атмосферу для различных регионов Северной Евразии.

С использованием результатов оперативного космического мониторинга природных пожаров и вызываемых ими эмиссий вредных веществ в атмосферу, выполненного в различных регионах Северной Евразии в различные периоды времени, обобщены и проанализированы особенности пространственных и временных распределений суммарных площадей участков территорий, пройденных огнем, распределений объемов эмиссий углеродсодержащих газовых примесей (СО и СО₂), а также мелкодисперсных аэрозолей (PM_{2.5}) при пожарах, происходящих на всей территории РФ, отдельных ее регионов, а также для территорий различных стран Европы и для Северо-восточной части территории Китая.

Анализ результатов космического мониторинга природных пожаров на всей территории РФ показал, что наибольшие суммарные площади участков территорий, выгоравших за год, были зафиксированы в 2006 (234.7 тыс. км²), в 2008 (202 тыс. км²), в 2005 и 2009 гг. (более 160 тыс. км²), а также в 2007 и 2012 г. (~130 тыс. км²). На основании анализа результатов обработки изображений, поступающих с различных космических аппаратов в процессе мониторинга природных пожаров, проведенного с 2005 по 2016 гг., установлено, что суммарные площади участков территорий, выгоревших в течение каждого года на всей территории РФ к 2016 г. уменьшились в 2.6 раза по сравнению с 2005 г. Это свидетельствует о возросшей эффективности мер, применяемых для выявления очагов возгорания и тушения пожаров на ранних стадиях их развития. За период времени с 2005 по 2016 г. максимальные объемы эмиссий углеродсодержащих газов (СО, СО₂), и мелкодисперсных аэрозолей (РМ_{2 5}) были зарегистрированы в апреле 2008 г. (для CO – 18, для CO₂ – 285, для PM_{2.5} – 2 млн т); в мае 2006 г. (для CO – 15.5, для CO₂ – 240, для PM_{2.5} – 1.68 млн т), а также в июле 2012 г. (для CO – 13, для CO₂ – 235, для PM_{2.5} – 1.87 млн т).

На основании анализа космических данных, полученных для различных регионов РФ, показано, что наиболее интенсивные пожары, наибольшие площади выгоревших территорий и наибольшие объемы эмиссий углеродсодержащих газов и аэрозолей выявлены в Сибирском федеральном округе. В июле 2012 г. площадь выгоревших участков территорий в этом регионе составила ~26 тыс. км², а объемы эмиссий вредных веществ в атмосферу достигала для $CO_2 - 150$, для CO - 8.2, а для $PM_{2.5} \sim ~ 0.9$ млн т. Показано, что распределения по месяцам площадей пожаров, объемов эмиссий углеродосодержащих газов и аэрозолей для всей территории РФ схож с аналогичными распределениями для Центральной Сибири, где преобладают бореальные леса. Это свидетельствует о максимальном вкладе такого типа растительности в эмиссии CO_2 , CO и $PM_{2.5}$ при природных пожарах.

На основании анализа результатов космического мониторинга природных пожаров на территориях различных стран Европы (Украина, Республика Беларусь, территории стран Северной, Центральной и Восточной Европы, Европейская часть территории РФ) установлено, что в 2014-2016 гг. на территории Украины по сравнению с другими годами для этой страны, а также по сравнению с территориями других стран Европы произошло аномальное повышение относительных площадей участков территорий, выгоравших ежегодно при пожарах, – более чем в 6 раз, плотностей очагов пожаров за год – в 3– 5 раз (а в августе 2015 г. – в 10–16 раз), и объемов эмиссий CO, CO₂, NO₂ и PM₂₅, вызванных этими пожарами, - в 6.5-7.5 раз. Это свидетельствует о том, что в 2014-2016 гг. в Украине была существенно снижена эффективность мер, предпринимаемых для раннего выявления и ликвидации природных пожаров.

Анализ результатов космического мониторинга природных пожаров в Северо-восточной части территории Китая, проведенного в 2014–2016 гг., показал, что в этом регионе наибольшие площади выгоревших участков территорий обнаружены в апреле-мае (21-29 тыс. км²) и в августе (20-25 тыс. км²), а максимальные объемы эмиссий углеродсодержащих газов и мелкодисперсных аэрозолей — в октябре. Несмотря на большие площади выгоревших участков территорий в апреле месяце, объемы эмиссий вредных веществ в этот месяц были меньше. Для этого региона объемы эмиссий углеродсодержащих газов и аэрозолей не пропорциональны площадям территорий, выгорающим при природных пожарах. Это обусловлено спецификой растительного покрова для Северо-востока Китая.

Исследования проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России (уникальный идентификатор проекта RFMEFI58314X0003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бондур В.Г. Аэрокосмические методы и технологии мониторинга нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса // Исслед. Земли из космоса. 2010. № 6. С. 3–17.

Бондур В.Г. Космический мониторинг природных пожаров в России в условиях аномальной жары 2010 г. // Исслед. Земли из космоса. 2011. № 3. С. 3–13.

Бондур В.Г. Космический мониторинг эмиссий малых газовых компонент и аэрозолей при природных пожарах в России // Исслед. Земли из космоса. 2015. № 6. С. 21–35.

Бондур В.Г. Современные подходы к обработке больших потоков гиперспектральной и многоспектральной аэрокосмической информации // Исслед. Земли из космоса. 2014. № 1. С. 4–16.

Бондур В.Г., Гинзбург А.С. Эмиссия углеродсодержащих газов и аэрозолей от природных пожаров на территории России по данным космического мониторинга // Докл. РАН. 2016. Т. 466. № 4. С. 473–477.

Бондур В.Г., Чимитдоржиев Т.Н. Анализ текстуры радиолокационных изображений растительности // Изв. высш. уч. зав. Геодезия и аэрофотосъемка. 2008. № 5. С. 9–14.

Бондур В.Г., Чимитдоржиев Т.Н. Дистанционное зондирование растительности оптико-микроволновыми методами // Изв. высш. уч. зав. Геодезия и аэрофотосъемка. 2008. № 6. С. 64–73.

Вивчар А.В., Моисеенко К.Б., Панкратова Н.В. Оценки эмиссий оксида углерода от природных пожаров в Северной Евразии в приложении к задачам атмосферного переноса и климата // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2010. Т. 46. № 3. С. 1–11.

Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.Н. Лесные пожары на территории России: состояние и проблемы. М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. 312 с.

Гришин А.М. О влиянии негативных экологических последствий лесных пожаров // Экологические системы и приборы / Под. ред. А.М. Гришина. 2003. № 4. С. 40–43.

Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России: Аналитический обзор. М.: Центр экологической политики России, 1995. 155 с.

Савин А.И., Бондур В.Г. Научные основы создания и диверсификации глобальных аэрокосмических систем // Оптика атмосферы и океана. 2000. Т. 13. № 1. С. 46–62.

Швиденко А.З., Щепащенко Д.Г., Ваганов Е.А., Сухинин А.И., Максютов Ш.Ш., МкКалум И., Лакида И.П. Влияние природных пожаров в России 1998–2010гг. на экосистемы и глобальный углеродный бюджет // Докл. РАН. 2011. Т. 441. № 4. С. 544–548.

Andreae M.O., Merlet P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning // Global Biogeochem. Cycles. 2001. V. 15. № 4. P. 955–966.

Baklanov A.A., Bondur V.G., Klaić Z.B., Zilitinkevich S.S. Integration of geospheres in Earth systems: Modern queries to environmental physics, modelling, monitoring and education // Geofiz. 2012. № 29(2). P. 1–4.

Bondur Valery G. Importance of Aerospace Remote Sensing Approach to the Monitoring of Nature Fire in Russia // Int. Forest Fire News (IFFN). № 40. (July-December 2010). P. 43–57.

http://greenpressa.ru/viewtopic.php?f=3&t=1756.

Kulmala M., Lappalainen H.K., Petäjä T., Kurten T., Kerminen V. M., Viisanen Y., Hari P., Sorvari S., Bäck J., Bondur V., Kasimov N., Kotlyakov V., Matvienko G., Baklanov A., Guo H. D., Ding A., Hansson H.-C., Zilitinkevich S. Introduction: The Pan-Eurasian Experiment (PEEX) – multidisciplinary, multiscale and multicomponent research and capacity-building initiative // Atm. Chem. Phys. № 15. P. 13085–13096. , 2015. doi 10.5194/acp-15-13085-2015

Seiler W., Crutzen P.J. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and atmosphere from biomass burning // Clim. Change. 1980. V. 2. № 3. P. 207–247.

Wiedinmyer C., Quayle B., Geron C. et al. Estimating emissions from fires in North America for air quality modeling // Atm. Environm. 2006. V. 40. № 19. P. 3419–3432.

Spatial and Temporal Distributions of Wildfire Areas and Carbon-Bearing Gas and Aerosol Emissions in North Eurasia Based on Satellite Monitoring Data

V. G. Bondur, K. A. Gordo, V. L. Kladov

AEROCOSMOS Research Institute for Aerospace Monitoring, Moscow

Based on wildfire online satellite monitoring data, distributions of burned out areas, as well as carbon-bearing gas (CO and CO₂) and fine aerosol (PM_{2.5}) emission volumes for various regions and months in 2005–2016 (the whole territory of Russia) and in 2010–2016 (North Eurasia) have been analyzed. The peculiarities of seasonal fluctuation of wildfires and carbon-bearing gas and fine aerosol emissions for various regions of North Eurasia have been revealed. It has been shown, that between 2005 and 2016, the annual area of burned out territories due to wildfires in Russia decreased almost 2.6-fold as a result of early fire detection and suppression. It has been established, that in 2014–2016 relative burned out areas in Ukraine increased 6–9-fold, and CO, CO₂, and PM_{2.5} emissions increased 6.5–7.5-fold in comparison with earlier years and similar parameters for other countries.

Keywords: satellite monitoring, Earth remote sensing, satellite imagery, wildfires, harmful pollutant emissions, atmosphere