

К. Г. Белоусов¹, Д. Н. Свиначенко², В. С. Хорошилов¹,
Д. К. Мозговой², Ю. И. Самсонова¹, Д. А. Хмара¹

¹ Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное»
имени М. К. Янгеля», Днепро, Украина

² Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, Днепро, Украина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДНЕВНЫХ И НОЧНЫХ СНИМКОВ ВИДИМОГО И ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Своевременное обнаружение лесных пожаров и достоверная оценка их масштабов, динамики и последствий является важной и актуальной задачей. Ее решение позволяет более эффективно организовать работу спасательных служб во время пожара, целенаправленно и продуктивно проводить мероприятия по ликвидации их последствий, а также принимать меры по их возможному предотвращению. В работе приведены результаты обработки и анализа многоспектральных спутниковых снимков низкого пространственного разрешения с целью оценки динамики и последствий лесных пожаров, возникших в октябре — декабре 2017 г. на территории штата Калифорния. По данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) видимого и инфракрасного диапазонов со спутников «Terra», «Aqua», «Suomi NPP» и «Sentinel-3» обнаружены очаги горения, исследована динамика лесных пожаров, определены границы выгоревших участков и рассчитана площадь пострадавшей территории. Качественная оценка достоверности обнаружения очагов пожаров (по дымовым шлейфам и по тепловым аномалиям), а также количественная оценка точности определения местоположения очагов пожаров были выполнены путем сравнения результатов обработки данных ДЗЗ со съемочных приборов MODIS, VIIRS и OLCI с результатами обнаружения пожаров в те же дни на той же территории, полученными с помощью специализированных веб-сервисов глобального спутникового обнаружения и мониторинга пожаров. Количественная оценка точности определения границ и площадей выгоревших участков была выполнена путем сравнения результатов обработки данных ДЗЗ со съемочных приборов низкого пространственного разрешения (приборы MODIS, VIIRS и OLCI) с результатами обработки бесплатных снимков среднего пространственного разрешения со спутников «Sentinel-2A/B» и «Landsat-7/8», снятых в тот же период на выбранной территории мониторинга и доступных в интернете. Показана возможность и целесообразность совместной обработки, анализа и интерпретации многоспектральных данных дневной съемки и панхроматических данных ночной съемки с целью повышения достоверности и оперативности обнаружения очагов горения, а также оценки динамики их распространения. Для повышения точности определения площадей и границ гарей необходимо использование данных ДЗЗ среднего пространственного разрешения со спутников «Landsat-7/8» и «Sentinel-2A/B», а также со спутника «Terra» (прибор ASTER).

Ключевые слова: мониторинг лесных пожаров, многоспектральные спутниковые снимки, обработка изображений.

ВВЕДЕНИЕ

Среди наиболее опасных и масштабных стихийных бедствий, ежегодно происходящих на Зем-

ле, лесные пожары занимают одно из первых мест наряду с наводнениями и землетрясениями по регулярности и площади распространения, а также по суммарному материальному и экологическому ущербу. Каждый год в разных странах возникают сотни лесных пожаров природного и

© К. Г. БЕЛОУСОВ, Д. Н. СВИНАЧЕНКО, В. С. ХОРОШИЛОВ,
Д. К. МОЗГОВОЙ, Ю. И. САМСОНОВА, Д. А. ХМАРА, 2018

антропогенного происхождения, которые уничтожают миллионы гектаров леса, приводят к гибели животных и нарушению природных экосистем, а также к загрязнению атмосферы, так как в воздух при этом выбрасываются значительные объемы углекислого газа и продуктов сгорания древесины. Крупные лесные пожары зачастую вызывают разрушение жилых зданий, промышленных объектов и других элементов инфраструктуры, а в особо тяжелых случаях приводят даже к жертвам среди населения.

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Несмотря на постоянное совершенствование средств и методов предотвращения, раннего обнаружения и борьбы как с самими пожарами, так и с их последствиями, ежегодно лесные пожары наносят огромные убытки и вызывают гибель сотен людей. Поэтому своевременное обнаружение лесных пожаров и достоверная оценка их масштабов, динамики и последствий является важной и актуальной задачей, решение которой позволяет более эффективно и оперативно организовать работу спасательных служб во время пожара, а также более целенаправленно и продуктивно проводить мероприятия по ликвидации их последствий и принимать, по возможности, меры по их предотвращению.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Традиционно используемые наземные методы обнаружения и контроля лесных пожаров, включающие автомобильное и вертолетное патрулирование, обладают рядом существенных недостатков, среди которых можно выделить такие:

- наличие рисков для жизни и здоровья личного состава (патрульных, пожарников, спасателей) непосредственно во время пожара;
- невозможность или низкая эффективность планирования работ, обусловленная невозможностью прогнозирования или внезапностью стихийного бедствия;
- большая площадь пострадавших территорий с множеством контролируемых участков, находящихся на большом расстоянии друг от друга;

- сложность доступа к пострадавшим объектам во время и после пожара, требующая использования спецтехники и подготовленного персонала;

- высокая скорость изменения границ пожара, требующая непрерывных или многократных периодических наблюдений.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время наиболее эффективным инструментом глобального и регионального мониторинга антропогенных и природных чрезвычайных ситуаций является спутниковая съемка [13—15]. Это обусловлено ее несомненными многочисленными преимуществами по сравнению с наземными методами наблюдений, среди которых можно выделить следующие [4, 5]:

- максимальная объективность и достоверность (спутниковые снимки позволяют полностью исключить ошибки людей, а также преднамеренное искажение или умалчивание важной информации);
- широкая обзорность и высокая информативность (возможно наблюдение любой, даже труднодоступной территории на Земле с охватом в тысячи километров);
- максимальная актуальность и высокая оперативность (съемка из космоса без задержки доставки данных пользователю — непосредственный прием на абонентские станции);
- высокая периодичность съемки (до нескольких снимков в сутки);
- междисциплинарность (использование одних и тех же снимков при решении широкого спектра научных и прикладных задач в интересах различных государственных структур и частных компаний);
- многоспектральный характер наблюдений (съемка в нескольких спектральных каналах в видимом и ИК-диапазонах);
- абсолютная безопасность (отсутствие рисков для здоровья и жизни людей по сравнению с наземными методами);
- высокая экономическая эффективность (существенно меньшие затраты по сравнению с наземными методами);

- максимальная доступность (простота получения данных и отсутствие юридических или политических барьеров);
- высокая конфиденциальность (скрытность съемки и минимизация рисков утечки информации).

Достоинства спутниковой съемки особенно ценны при обнаружении, контроле, ликвидации и оценке экономических и экологических последствий лесных пожаров [1, 2], поскольку основная проблема борьбы с пожарами заключается в сложности их своевременного обнаружения и мониторинга на огромных площадях (особенно на удаленных, малонаселенных и труднодоступных территориях).

НЕДОСТАТКИ ИЗВЕСТНЫХ МЕТОДОВ

Поскольку разработка, создание и эксплуатация систем спутникового мониторинга требуют значительных ресурсов (в первую очередь финансовых), то прикладное использование данных ДЗЗ до недавнего времени было доступно лишь государственным структурам и крупным коммерческим компаниям. Главным сдерживающим фактором была высокая стоимость требуемого технического, программного и информационного обеспечения, а также необходимость привлечения высококвалифицированных специалистов по обработке спутниковых снимков. Даже в минимальном варианте организации службы спутникового мониторинга на региональном уровне была необходима закупка дорогостоящих приемных станций, мощных компьютеров и лицензионного программного обеспечения, а также оплата ежегодных лицензий на непосредственный прием данных. Благодаря интенсивному развитию в последние годы высокоэффективных информационных и компьютерных технологий ситуация в сфере получения, обработки и использования данных ДЗЗ изменилась в лучшую сторону. Открытый и бесплатный доступ к многоспектральным спутниковым снимкам низкого и среднего пространственного разрешения, реализованный с помощью современных геоинформационных веб-сервисов [8, <https://eos.com/landviewer>, <https://worldview.earthdata.nasa.gov>],

позволяет проводить эффективный дистанционный контроль состояния лесных массивов на всей территории Земли с более высокой по сравнению с наземными методами оперативностью и обзорностью, а также с более низкой по сравнению с автомобильным и вертолетным патрулированием стоимостью и риском.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основной задачей исследований является проведение качественной оценки информативности данных ДЗЗ видимого и ИК-диапазонов при съемке лесных пожаров со спутников «Тегга», «Аqua» (прибор MODIS), «Suomi NPP» (прибор VIIRS) и «Sentinel-3» (прибор OLCI) с целью оценки достоверности и оперативности обнаружения очагов горения и динамики их распространения, а также точности определения границ выгоревших территорий.

ВЫБОР РАЙОНА НАБЛЮДЕНИЙ

Для проведения спутникового мониторинга лесных пожаров, возникших в октябре–декабре 2017 г. была выбрана территория штата Калифорния, США. Это связано с тем, что в настоящее время США являются мировым лидером как по количеству ежегодно фиксируемых лесных пожаров, так и по площади пострадавших территорий. При этом штат Калифорния является одним из наиболее пожароопасных в части лесных пожаров несмотря на постоянное совершенствование средств и методов предотвращения, раннего обнаружения и борьбы как с самими пожарами, так и с их последствиями. Особенно актуальной проблема лесных пожаров в Калифорнии стала в последние годы в связи с усилившейся засухой — в 2015–2016 гг. в разных районах штата уже возникали крупные лесные пожары [6, 12].

ВЫБОР ИСТОЧНИКОВ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Для дистанционного обнаружения и мониторинга активно действующих пожаров в мире существуют специальные службы, использующие

данные со спутников «Terra», «Aqua» (прибор MODIS) и NOAA (прибор AVHRR), обеспечивающих ежедневное многократное покрытие всей территории суши снимками низкого разрешения [3, 9]. В последнее время к ним добавились более новые спутники (таблица), имеющие более совершенные бортовые многоспектральные сканеры видимого и ИК-диапазонов, в том числе:

- спутник «Suomi NPP», разработанный в США (NASA/NOAA), имеющий бортовой съемочный прибор VIIRS (22 спектральных канала) [<http://rammb.cira.colostate.edu/projects/npp>];
- спутник «Sentinel-3», разработанный, изготовленный и запущенный Европейским космическим агентством (ESA) в рамках проекта Copernicus и имеющий в составе бортовой съемочной аппаратуры прибор SLSTR (29 спектральных каналов) [<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3>].

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Оценка информативности данных ДЗЗ видимого и ИК-диапазонов проводился путем качественного и количественного сравнения результатов обработки спутниковых снимков, полученных с различных съемочных приборов, имеющих близкие характеристики (в частности, радиометрическое, пространственное и

спектральное разрешение). Качественное сравнение проводилось в части визуализации и интерпретации спутниковых снимков, полученных в результате дневной и ночной съемки, а количественное — в части оценки точности автоматизированного определения местоположения очагов пожаров, а также границ и площадей выгоревших территорий.

Работы, проведенные в рамках исследований, включали следующие этапы обработки и анализа снимков:

- предварительные операции (выбор области интереса, требуемого диапазона дат съемки и набора спектральных каналов для заданных спутников, визуальный анализ);
- формирование по выбранной территории для заданного диапазона дат локального архива разновременных мультиспектральных (дневных) и панхроматических (ночных) снимков для каждого спутника;
- визуальное определение направления и дальности распространения дымовых шлейфов по RGB-композициям каналов видимого диапазона;
- автоматизированное обнаружение тепловых аномалий очагов пожаров по RGB-композициям каналов видимого и инфракрасного диапазонов, а также по данным ночной съемки (канал DNB);

Сравнительные характеристики спутниковых сканеров низкого пространственного разрешения, снимающих в видимом и ИК-диапазонах [<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions>]

Спутник / прибор	NOAA/ AVHRR	«Terra»/MODIS «Aqua»/MODIS	«Suomi NPP» / VIIRS	«Sentinel-3» / OLCI «Sentinel-3» / SLSTR
Обзорность, км	3000	2300	3000	1270 / 1400
Радиометрическое разрешение, бит	10	12	12	12
Пространственное разрешение для указанных спектральных каналов, м	1100	NIR — 250...1000 SWIR — 500 TIR — 1000	NIR — 375 SWIR — 750 TIR — 750	NIR — 300 SWIR — 500 TIR — 1000
Количество спектральных каналов	VNIR — 1 SWIR — 1 TIR — 2	VNIR — 6 SWIR — 3 TIR — 16	VNIR — 9 SWIR — 5 TIR — 7	VNIR — 21 SWIR — 5 TIR — 3

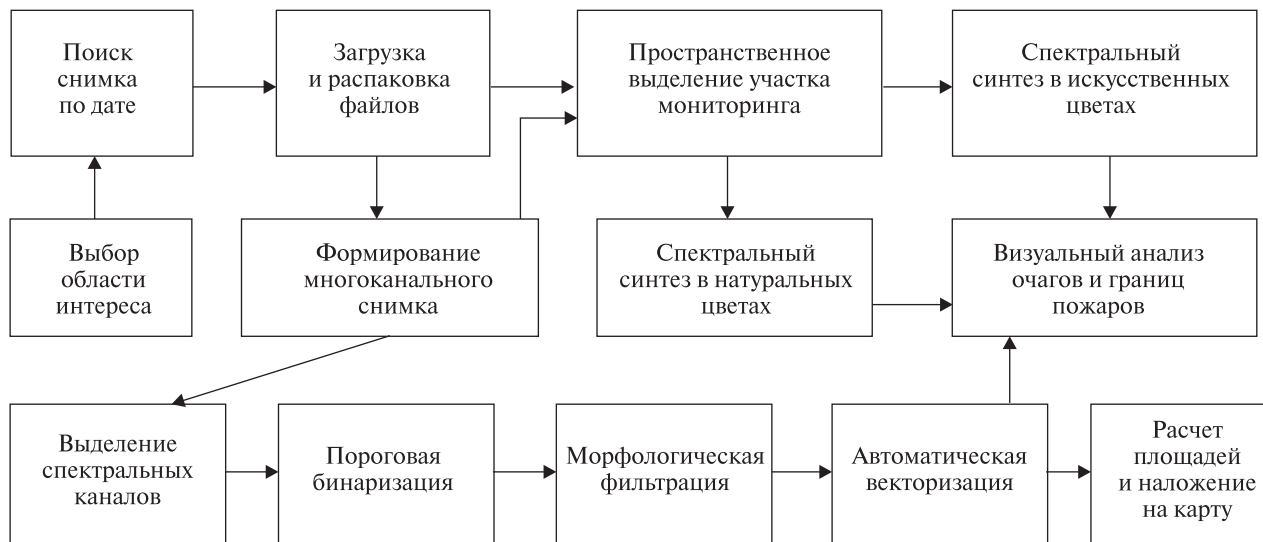


Рис. 1. Основные этапы обработки и анализа снимков

- фильтрацию и векторизацию обнаруженных очагов пожаров по дневным и ночным снимкам и отображение результатов на карте;
- векторизацию обнаруженных выгоревших территорий по каналам видимого и инфракрасного диапазонов и отображение результатов на карте;
- формирование тематической карты обнаруженных очагов пожаров и гарей;
- визуализация изменений на карте и экспорт в стандартные форматы.

Блок-схема последовательности выполнения основных этапов обработки и анализа снимков приведена на рис. 1.

Качественная оценка достоверности обнаружения очагов пожаров (по дымовым шлейфам и по тепловым аномалиям), а также количественная оценка точности определения местоположения очагов пожаров были выполнены путем сравнения результатов обработки данных ДЗЗ со съемочных приборов MODIS, VIIRS и OLCI с результатами обнаружения пожаров в те же дни на той же территории, полученными с помощью специализированных веб-сервисов глобального спутникового обнаружения и мониторинга пожаров. В данном случае была использована ежедневная глобальная карта пожаров и тепловых

аномалий, созданная по снимкам низкого пространственного разрешения со сканера MODIS [<http://fires.ru>].

Количественная оценка точности определения границ и площадей выгоревших участков была выполнена путем сравнения результатов обработки данных ДЗЗ со съемочных приборов низкого пространственного разрешения (MODIS, VIIRS и OLCI) с результатами обработки бесплатных снимков среднего пространственного разрешения со спутников «Sentinel-2-A/B» и «Landsat-7/8», снятых в тот же период на выбранной территории мониторинга и доступных в интернете.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе обработки дневных мультиспектральных снимков видимого и ИК-диапазонов со спутников «Terra», «Aqua», «Suomi NPP» и «Sentinel-3» были получены:

- RGB-композиции каналов видимого диапазона, используемые для определения направления и дальности распространения дымовых шлейфов (рис. 2 слева);
- RGB-композиции каналов видимого и инфракрасного диапазонов, используемые для обнару-

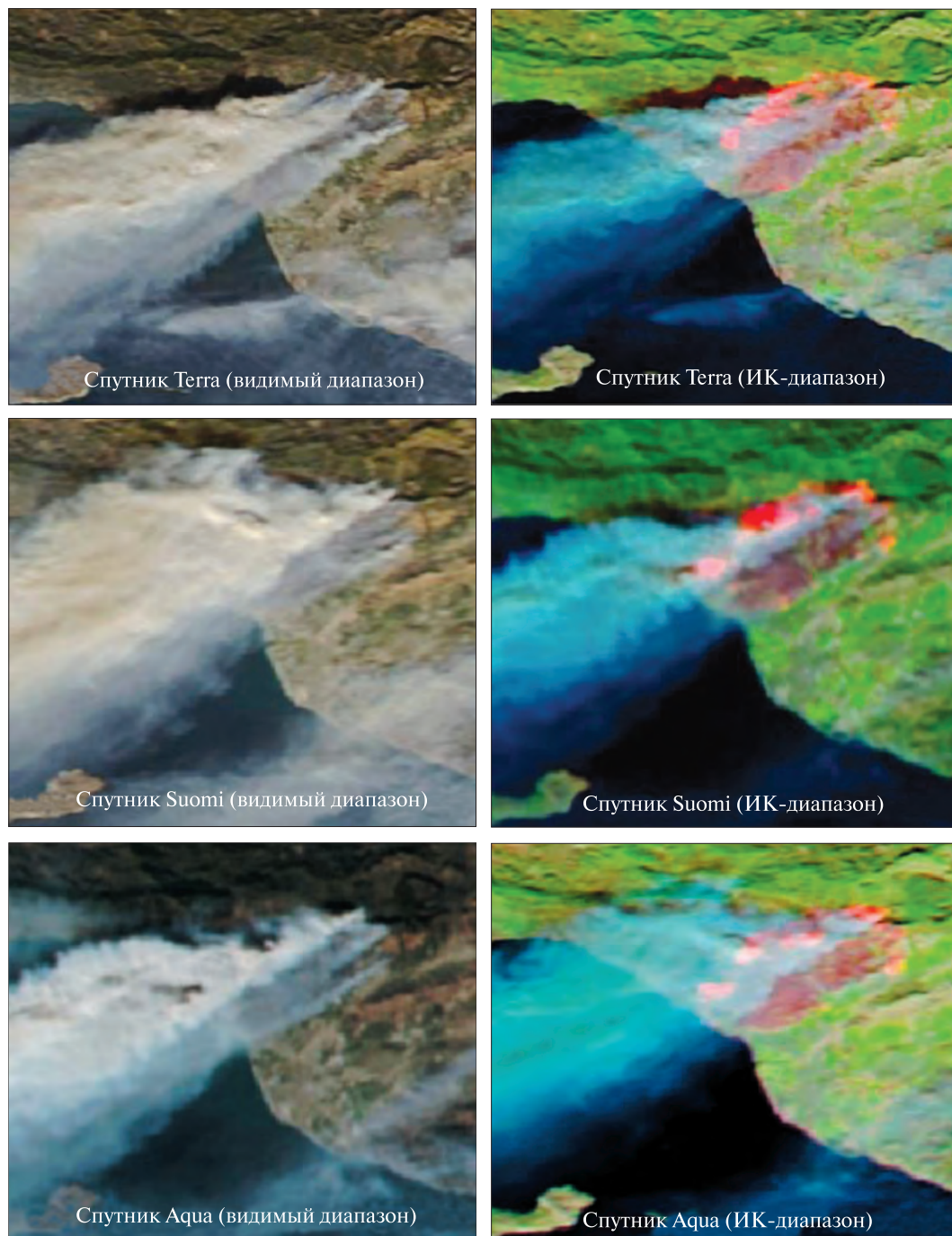


Рис. 2. Дневные снимки территории пожара за 5 декабря 2017 г.

ружения тепловых аномалий очагов пожаров и оценки площадей гарей (рис. 2 справа);

- векторный слой обнаруженных очагов пожаров, полученный по данным дневной съемки;

- векторный слой распознанных гарей (рис. 3);
- картосхемы динамики распространения пожаров и выгоревших участков по данным дневной съемки.

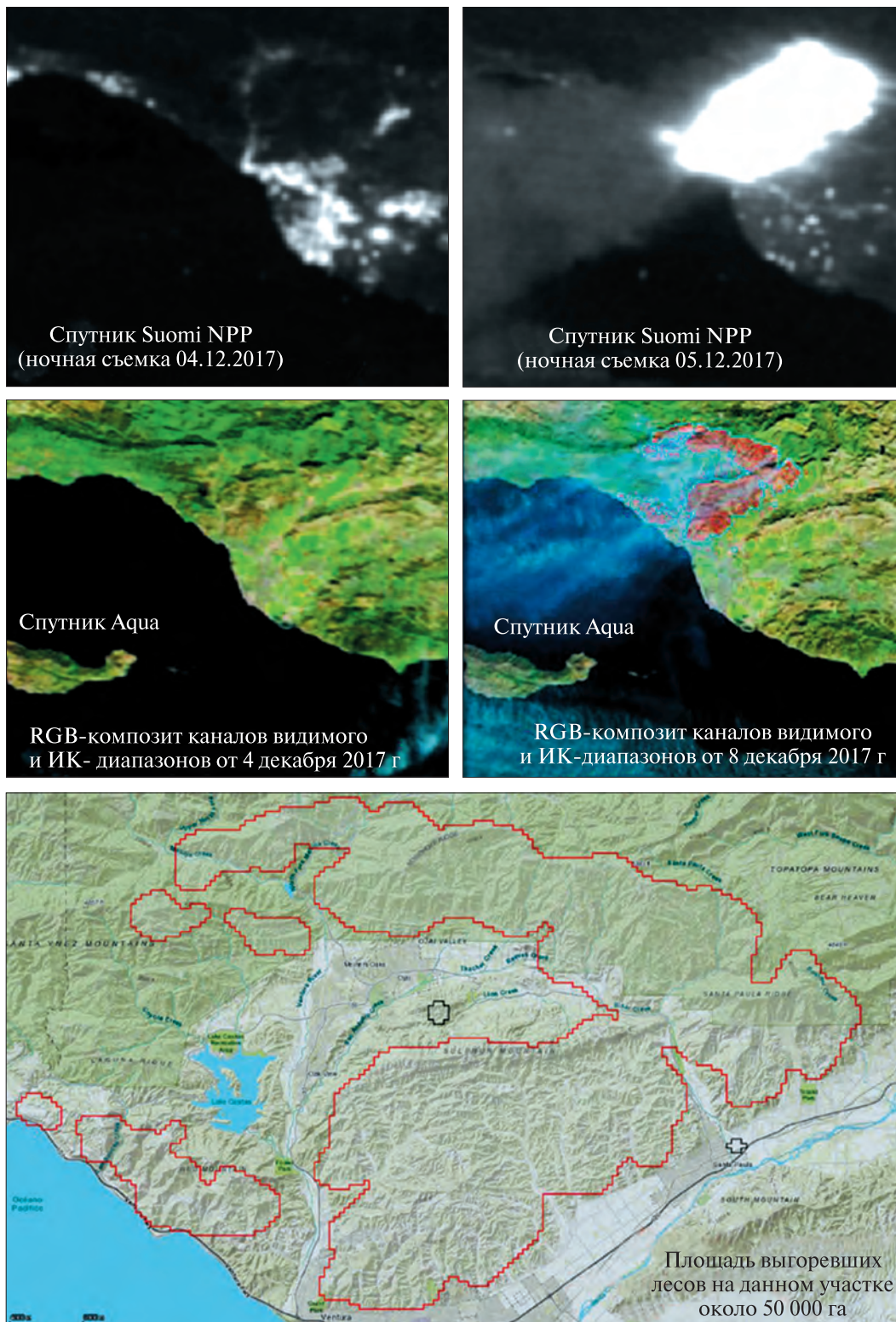


Рис. 3. Результаты обработки ночных и дневных снимков за 4—8 декабря 2017 г.

В процессе обработки ночных панхроматических снимков видимого и ИК-диапазонов (рис. 3 вверху) со спутника «Suomi NPP» (канал DNB) были получены:

- псевдоцветной композит панхроматического канала, полученный по данным ночной съемки на территории действующих пожаров;
- маска тепловых аномалий очагов пожаров, полученная по данным ночной съемки;
- векторный слой обнаруженных очагов пожаров, полученный по данным ночной съемки;
- картосхема динамики распространения пожаров.

Анализ результатов обработки снимков показал достаточно точную (для сканеров такого низкого разрешения) локализацию очагов пожаров по тепловым аномалиям как в каналах ИК-диапазона (дневная съемка), так и по источникам света в панхроматическом канале (ночная съемка). Границы выгоревших участков, полученные в результате обработки снимков низкого разрешения со спутников «Terra», «Aqua», «Suomi NPP» и «Sentinel-3», в большинстве случаев практически совпадали с результатами обработки снимков среднего разрешения, сделанных в те же даты со спутников «Sentinel-2A/B» и «Landsat-7/8». При этом погрешность определения местоположения границ выгоревших участков была на уровне двух-трех пикселей исходного снимка (например, для сканера MODIS она составляет 500...750 м), т. е. достаточной для предварительных оценок. Оперативность съемки для такой обширной территории также была достаточно высокая — за одни сутки снимаются четыре дневных и один ночной снимок.

Основные преимущества использования современных геоинформационных веб-сервисов [10] для дистанционного обнаружения и мониторинга активно действующих пожаров следующие:

- бесплатный доступ многоспектральным спутниковым снимкам низкого и среднего пространственного разрешения;
- высокая экономическая эффективность (не требуется закупка мощных компьютеров и дорогостоящего программного обеспечения);

- программная и аппаратная независимость, что позволяет использовать данный веб-сервис на мобильных устройствах;

- работа непосредственно в браузере, что не требует дополнительного программного обеспечения, устанавливаемого у клиента;

- результаты обработки снимков хранятся на сервере, что позволяет всем клиентам пользоваться веб-сервисом независимо от их места нахождения;

- минимальные требования к уровню подготовки пользователей (нет необходимости тратить время на изучение больших и сложных программных пакетов).

Область практического применения современных геоинформационных веб-сервисов для проведения регулярного автоматизированного спутникового мониторинга лесных пожаров достаточно обширна, поскольку она позволяет более эффективно и оперативно организовать, выполнять и контролировать работу представителей различных служб на этапах предупреждения, обнаружения и ликвидации последствий лесных пожаров [7]. Пользователями такой системы могут быть представители различных ведомств, в том числе:

- государственные службы (лесники, спасатели, полиция, экологи, муниципальные службы и др.);

- коммерческие структуры (страховые компании, туристические агентства, строительные фирмы, транспортные компании и др.);

- телерадиокомпании и др. средства массовой информации;

- население, проживающее вблизи территорий, пострадавших от лесных пожаров.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Материалы исследований использованы при подготовке лекционных и лабораторных занятий, включенных в состав учебно-методического комплекса «Спутниковый мониторинг пожаров с использованием данных ДЗЗ низкого пространственного разрешения видимого и ИК-диапазонов», который преподается студентам старших курсов Днепровского национального

университета имени Олеся Гончара в рамках учебной дисциплины «Системы ДЗЗ», а также используется ими при написании курсовых и дипломных работ [11].

НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С целью повышения эффективности спутникового мониторинга лесных пожаров ведутся работы по следующим направлениям:

- повышение информативности используемых данных ДЗЗ видимого и ИК-диапазонов (в первую очередь детальности) за счет дополнительного использования спутниковых снимков среднего пространственного разрешения со спутников «Landsat-7/8» и «Sentinel-2A/B», а также данных радиометра ASTER, установленного на спутнике «Терра»), что необходимо для более точного определения очагов пожаров, площадей и границ выгоревших территорий;

- повышение оперативности получения данных ДЗЗ путем использования, кроме спутниковых снимков видимого и ИК-диапазонов, имеющих ограничения на облачность и освещенность, данных всепогодной радарной съемки (например, снимков С-диапазона со спутников «Sentinel-1A/B», разработанных, изготовленных и запущенных Европейским космическим агентством в рамках проекта Copernicus).

ВЫВОДЫ

Сравнение информативности данных ДЗЗ видимого и ИК-диапазонов при съемке лесных пожаров показало достаточно высокие радиометрические характеристики и пространственное разрешение многоспектральных снимков, полученных с бортовых сканеров спутников «Терра», «Аqua» (прибор MODIS), «Suomi NPP» (прибор VIIRS) и «Sentinel-3» (прибор OLCI). Несмотря на различное пространственное и спектральное разрешение указанных съемочных приборов, они обеспечивают достаточно близкие качественные и количественные показатели, как в части качества визуализации и интерпретации снимков, так и в части достоверности выявления очагов пожаров и точности автоматизированного определения местоположения границ выгоревших терри-

торий. По результатам исследований можно сделать вывод о возможности и целесообразности совместной обработки, анализа и интерпретации многоспектральных данных дневной съемки и панхроматических данных ночной съемки с целью повышения достоверности и оперативности обнаружения очагов горения, а также оценки динамики их распространения. Для повышения точности определения площадей и границ гарей необходимо использование данных ДЗЗ среднего пространственного разрешения со спутников «Landsat-7/8» и «Sentinel-2A/B», а также со спутника «Терра» (прибор ASTER).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабанина А. В., Мозговой Д. К. Спутниковый мониторинг лесных пожаров // XVIII Міжнар. наук.-практ. конф. «Людина і Космос»: 36. тез. — Дніпро, 2016. — С. 351.
2. Волкова А. А., Мозговой Д. К. Мониторинг торфяных пожаров с использованием спутниковых снимков // XVIII Міжнар. наук.-практ. конф. «Людина і Космос»: 36. тез. — Дніпро, 2016. — С. 352.
3. Мозговой Д. К. Использование данных MODIS и ASTER для решения актуальных прикладных задач // Междунар. науч.-практ. конф. «Стратегические решения информационного развития экономики и общества»: Тез. докл. — п. Научный, Крым, 2013. — С. 1131—14.
4. Мозговой Д. К. Обработка спутниковых снимков при решении прикладных задач // Междунар. науч.-практ. форум «Наука и бизнес»: Тез. докл. — Днепропетровск, 2015. — С. 191—194.
5. Мозговой Д. К., Васильев В. В. Мониторинг вырубков лесов по космоснимкам // Прилади та методи контролю. — 2016. — № 31. — С. 75—86.
6. Мозговой Д. К., Васильев В. В. Оценка последствий лесных пожаров по данным ДЗЗ // Информ. системи, механіка та керування. — 2016. — № 14. — С. 42—52.
7. Мозговой Д. К., Васильев В. В. Мониторинг природных и антропогенных процессов с помощью веб-сервиса Landsat Viewer // Вісник ДНУ. Сер. Ракетно-космічна техніка. — 2016. — 24, № 4. Вип. 13. — С. 95—101.
8. Мозговой Д. К., Васильев В. В., Черненко М. В. Геоинформационные веб-сервисы EOS DA // Междунар. науч.-практ. форум «Наука и бизнес». — Днепр, 2016. — С. 54—61.
9. Мозговой Д. К., Кравец О. В. Использование данных MODIS для экологического мониторинга и контроля чрезвычайных ситуаций // Екологія та ноосферологія. — 2009. — 20, № 1—2. — С. 84—89.

10. Мозговой Д. К., Чорненко М. В. Геоинформационные веб-сервисы онлайн обработки спутниковых снимков // Вісник ДНУ. Сер. Ракетно-космічна техніка. — 2016. — 24, № 4. Вип. 13. — С. 89—95.
 11. Dolinets J., Mozgovoy D. Training of specialists in the field of Earth remote sensing // Acta Astronautica. — 2009. — N 64. — P. 75—80.
 12. Hnatushenko V. V., Hnatushenko Vik. V., Mozgovoy D. K., Vasiliev V. V. Satellite technology of the forest fires effects monitoring // Sci. Bull. Nat. Mining University. — 2016. — N 1.
 13. Hnatushenko V. V., Mozgovoy D. K., Vasyliiev V. V., Kavats O. O. Satellite monitoring of consequences of Illegal extraction of Amber in Ukraine. — URL: <http://www.nvngu.in.ua/index.php/en/component/jdownloads/finish/67-02/8619-02-2017-hnatushenko/0>.
 14. Mozgoviy D. K., Parshina O. I., Voloshin V. I., Bushuev Y. I. Remote sensing and GIS application for environmental monitoring and accidents control in Ukraine // Geographic Uncertainty in Environmental Security / Ed. by Ashley Morris, Svitlana Kokhan. — Dordrecht: Springer, 2007. — P. 259—270.
 15. Hnatushenko V. V., Mozgovoy D. K., Vasyliiev V. V. Satellite monitoring of deforestation as a result of mining. — URL: <http://www.nvngu.in.ua/index.php/en/monographs/1489-engcat/ar-chive/2017-eng/contents-5-2017/environmental-safety-labour-protection/4138-satellite-monitoring-of-deforestation-as-a-result-of-mining>.
- Стаття надійшла до редакції 31.08.2018*
- REFERENCE
1. Babanina A. V., Mozgovoy D. K.. Sputnikoviy monitoring lesnyh pozharov. XVIII Mizhnar. nauk.-prakt. konf. «Lyudina i Kosmos»: Zb. tez., 351 (2016).
 2. Volkova A. A., Mozgovoy D. K. Monitoring torfyanyh pozharov s ispol'zovaniem sputnikovyh snimkov. XVIII Mizhnar. nauk.-prakt. konf. «Lyudina i Kosmos»: Zb. tez. , 352 (2016).
 3. Mozgovoy D. K. Ispol'zovanie dannyh MODIS i ASTER dlya resheniya aktual'nyh prikladnyh zadach. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Strategicheskie resheniya informatsionnogo razvitiya ehkonomiki i obshchestva»: Tez. dokl. Nauchnyj, Krym, 113—114 (2013).
 4. Mozgovoy D. K. Obrabotka sputnikovyh snimkov pri reshenii prikladnyh zadach. Mezhdunar. nauch.-prakt. forum «Nauka i biznes»: Tez. dokl., Dnepropetrovsk, 191—194 (2015).
 5. Mozgovoy D. K., Vasil'ev V. V. Monitoring vyrubok lesov po kosmosnimkam. Priladi ta metodi kontrolyu. Nauk.-tekh. zb., N 31, 75—86 (2016).
 6. Mozgovoy D. K., Vasil'ev V. V. Ocenka posledstvij lesnyh pozharov po dannyh DZZ. Informacijni sistemi, mekhanika ta keruvannya. Nauk.-tekh. zb. N 14, 42—52 (2016).
 7. Mozgovoy D. K., Vasil'ev V. V. Monitoring prirodnyh i antropogennyh processov s pomoshch'yu veb-servisa Landsat Viewer. Visnik DNU. Raketno-kosmichna tekhnika, Vip. 13, 24 (N 4). 95—101 (2016).
 8. Mozgovoy D. K., Vasil'ev V. V., Chernenko M. V. Geoinformacionnye veb-servisy EOS DA. Mezhdunarodnyj nauchno-prakticheskij forum «Nauka i biznes», Dnepr, 54—61 (2016).
 9. Mozgovoy D. K., Kravec O. V. Ispol'zovanie dannyh MODIS dlya ehkologicheskogo monitoringa i kontrolya chrezvychajnyh situacij. Ekologiya ta noosferologiya. Naukovij zhurnal. 20 (N 1-2). 84—89 (2009).
 10. Mozgovoy D. K., Chornenko M. V. Geoinformacionnye veb-servisy onlajn obrabotki sputnikovyh snimkov. Visnik DNU. Raketno-kosmichna tekhnika. Vip. 13, 24 (N 4). 89—95 (2016).
 11. Dolinets J., Mozgovoy D. Training of specialists in the field of Earth remote sensing. Acta Astronautica, N 64. 75—80 (2009).
 12. Hnatushenko V. V., Hnatushenko Vik V., Mozgovoy D. K., Vasiliev V. V. Satellite technology of the forest fires effects monitoring. Scientific Bulletin of National Mining University, N 1 (2016). — <http://nvngu.in.ua/index.php/en/component/jdownloads/viewdownload/59/8445>.
 13. Hnatushenko V. V., Mozgovoy D. K., Vasyliiev V. V., Kavats O. O. Satellite Monitoring of Consequences of Illegal Extraction of Amber in Ukraine — <http://www.nvngu.in.ua/index.php/en/component/jdownloads/finish/67-02/8619-02-2017-hnatushenko/0>.
 14. Mozgoviy D. K., Parshina O. I., Voloshin V. I., Bushuev Y. I. Remote Sensing and GIS Application for Environmental Monitoring and Accidents Control in Ukraine. Geographic Uncertainty in Environmental Security / Ed. by Ashley Morris, Svitlana Kokhan. — Dordrecht: Springer, Published with NATO Public Diplomacy Division, 259—270 (2007).
 15. Hnatushenko V. V., Mozgovoy D. K., Vasyliiev V. V. Satellite monitoring of deforestation as a result of mining — <http://www.nvngu.in.ua/index.php/en/monographs/1489-engcat/ar-chive/2017-eng/contents-5-2017/environmental-safety-labour-protection/4138-satellite-monitoring-of-deforestation-as-a-result-of-mining>.
- Received 31.08.2018*

К. Г. Білоусов¹, Д. М. Свиначенко², В. С. Хорошилов¹,
Д. К. Мозговий², Ю. І. Самсонова¹, Д. О. Хмара¹

¹ Державне підприємство «Конструкторське бюро
«Південне» імені М. К. Янгеля, Дніпро, Україна

² Дніпропетровський національний університет
імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ДЕННИХ І НІЧНИХ ЗНІМКІВ ВИДИМОГО ТА ІНФРАЧЕРВОНОГО ДІАПАЗОНІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

Своєчасне виявлення лісових пожеж та достовірні оцінки їхніх масштабів, динаміки і наслідків є важливим і актуальним завданням. Його рішення дозволяє більш ефективно організувати роботу рятувальних служб під час пожежі, цілеспрямовано і продуктивно проводити заходи щодо ліквідації їхніх наслідків, а також вживати заходів з їхнього запобігання. У роботі наведені результати обробки та аналізу багатоспектральних супутникових знімків низького просторового розрізнення з метою оцінки динаміки і наслідків лісових пожеж, що виникли в жовтні — грудні 2017 р. на території штату Каліфорнія. За даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) видимого та інфрачервоного діапазонів із супутників «Терра», «Аква», «Suomi NPP» і «Sentinel-3» виявлено осередки горіння, досліджено динаміку лісових пожеж, визначено межі вигорілих ділянок і розраховано площу постраждалої території. Якісна оцінка достовірності виявлення осередків пожеж (за димовими шлейфами і за тепловими аномаліями), а також кількісна оцінка точності визначення місця розташування осередків пожеж були зроблені шляхом порівняння результатів обробки даних ДЗЗ зі знімальних приладів MODIS, VIIRS і OLCI із результатами виявлення пожеж у ті ж дні на тій же території, отриманими за допомогою спеціалізованих веб-сервісів глобального супутникового виявлення і моніторингу пожеж. Кількісну оцінку точності визначення меж і площ вигорілих ділянок було виконано шляхом порівняння результатів обробки даних ДЗЗ зі знімальних приладів низького просторового розрізнення (прилади MODIS, VIIRS і OLCI) із результатами обробки безкоштовних знімків середнього просторового розрізнення зі супутників «Sentinel-2A/B» і «Landsat-7/8», знятих в той же період на обраній території моніторингу і доступних у інтернеті. Показано можливість і доцільність спільної обробки, аналізу та інтерпретації багатоспектральних даних денної зйомки і панхроматичних даних нічної зйомки з метою підвищення достовірності та оперативності виявлення осередків горіння, а також оцінки динаміки їхнього поширення. Для підвищення точності визначення площ і меж вигорілих ділянок необхідне використання даних ДЗЗ середнього просторового розрізнення із супутників «Landsat-7/8» і «Sentinel-2A/B», а також з супутника «Терра» (прилад ASTER).

Ключові слова: моніторинг лісових пожеж, багатоспектральні супутникові знімки, обробка зображень.

К. G. Bilousov¹, D. N. Svinarenko², V. S. Khoroshilov¹,
D. K. Mozgovy², Y. I. Samsonova¹, D. O. Khmara¹

¹ Yangel Yuzhnoye State Design Office, Dnipro, Ukraine

² Oles Honchar National University of Dnipro,
Dnipro, Ukraine

THE USE OF VISIBLE AND INFRARED DAY-TIME AND NIGHT-TIME IMAGES FOR FOREST FIRES' MONITORING

Timely detection of forest fires and reliable assessment of their size, dynamics, and consequences is an important and crucial point. Solving this problem would allow organizing rescue services during a fire more effectively and quickly. Operability and reliability of information make the activities on mitigation their consequences more task-oriented and effective and implement prevention measures more surely. Here, we present the results of processing and analysis of multi-spectral satellite images of low spatial resolution to assess the dynamics and consequences of the forest fires that happened in October-December 2017 on the territory of California. Based on the ERS data of visible and IR range from Terra, Aqua, Suomi NPP and Sentinel-3 satellites, the fire sources were revealed, the forest fire dynamics was investigated, the boundaries of burnt-out localities were determined, and the area of affected territories was calculated. A qualitative assessment of reliability of detecting the fire sources (based on smoke plumes and heat anomalies) and a quantitative assessment of the accuracy of determination of fire sources' locations were made by comparing the results of processing the ERS data from MODIS, VIIRS and OLCI imagers with the results of fire detecting on the same days in the same territory obtained using specialized web-services of global satellite fire detection and monitoring. A quantitative assessment of the accuracy of determination of boundaries and areas of burnt-out localities was made by comparing the results of processing the ERS data from low-resolution imagers (MODIS, VIIRS and OLCI) with the results of processing the charge-free medium-resolution images from Sentinel-2A/B and Landsat-7/8 satellites made in the same period in the selected monitored territory and available online. The feasibility and expediency of joint processing, analysis, and interpretation of multi-spectral day-time imaging data and panchromatic night-time imaging data are shown with the aim of increasing the reliability and timeliness of detecting fire sources and assessing the dynamics of fire propagation. To increase the accuracy of determination of areas and boundaries of burnt-out localities, it is necessary to use the medium-resolution ERS data from Landsat-7/8 and Sentinel-2A / B satellites and from Terra satellite (ASTER imager).

Keywords: forest fires monitoring, multi-spectral satellite images, images processing.