

УДК 614.841.2

Н.В. Барановский, Е.П. Янкович

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЛЕСНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ИСКУССТВЕННЫМ СПУТНИКОМ ЗЕМЛИ*

Введение

Причины возникновения лесных пожаров достаточно разнообразны и могут быть разделены на природные и антропогенные составляющие [1, 2]. К антропогенным факторам относят умышленный поджог, небрежное обращение с огнем, влияние железнодорожных и автомобильных магистралей, наличие населенных пунктов или технологических объектов на лесопокрытой территории [1]. Механизмами воспламенения могут быть воздействия нагретых до высоких температур частиц, лучистого или конвективного теплового потока и т.п. [3]. К природным факторам следует отнести возможность возгорания лесных горючих материалов в результате грозových разрядов класса облако–земля [4].

В то же время существуют причины, которые носят смешанный характер, например, возможность воспламенения лесных горючих материалов в результате действия сфокусированного солнечного излучения [5]. Ранее теоретически [6] и экспериментально [7] была показана возможность воспламенения слоя лесного горючего материала в условиях концентрации солнечной энергии на уровне 15–17 кВт/м². Концентраторами энергии могут служить стеклянные емкости, их осколки [5] и крупные капли смолы. Первые в данном случае относятся к природным причинам, вторые — к антропогенным.

Разработан физически обоснованный метод оценки лесной пожарной опасности в условиях действия сфокусированного солнечного излучения [8]. В настоящее время назрела необходимость разработки технологии для нужд лесного хозяйства на основе этого метода определения пожарной опасности лесных массивов. Важное значение имеют результаты развития космической техники в плане создания искусственных спутников Земли для дистанционного зондирования нашей планеты.

Цель исследования — разработка геоинформационной системы с учетом данных дистанционного зондирования Земли из космоса для мониторинга лесной пожарной опасности, обусловленной действием сфокусированного солнечного излучения.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки России на 2007–2013 гг. Договор № 14.515.11.0106.

© Н.В. БАРАНОВСКИЙ, Е.П. ЯНКОВИЧ, 2015

*Международный научно-технический журнал
«Проблемы управления и информатики», 2015, № 4*

Существующие аналоги

В настоящее время наиболее известны следующие ГИС-системы.

1. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров ИСДМ-Рослесхоз (Россия) [9]. Проводится оценка текущей пожарной опасности с применением критерия Нестерова, который не имеет физической основы. Минимальная территория — зона ответственности отдельной метеостанции. Национальный исследовательский Томский политехнический университет внедрил в эту систему вероятностный критерий оценки лесной пожарной опасности с учетом грозовой активности и антропогенной нагрузки. Лесные пожары по причине воздействия сфокусированного солнечного излучения не учитываются. Используются данные дистанционного зондирования Земли.

2. Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS) (Канада) и National Fire Danger Rating System (NFDRS) (США) [10, 11]. Проводится оценка лесной пожарной опасности на основе анализа больших массивов статистической информации по крупным лесопокрытым территориям. В системе учитываются причины возникновения лесных пожаров — антропогенная нагрузка и грозовая активность. Фактор воздействия сфокусированного солнечного излучения не учитывается. Используются данные дистанционного зондирования Земли.

3. European Forest Fire Information System (EFFIS) (Европа) [12]. Самый прогрессивный компонент системы повторяет подсистему канадской системы оценки лесной пожарной опасности. Имеет те же характеристики и использует данные дистанционного зондирования Земли. Фактор сфокусированного солнечного излучения не учитывается.

4. ГИС Томского государственного университета (Россия) [13]. В системе учитывается математическая модель сушки слоя лесного горючего материала. Процессы зажигания не учтены. Минимальная территория — лесотаксационный выдел. Фактор сфокусированного солнечного излучения учитывается на уровне статистических оценок (но такой статистики в лесном хозяйстве нет). Не используются данные дистанционного зондирования Земли.

5. Система Virtual Fire (Греция) [14]. Использует веб-сервисы отображения информации. Проводится оценка лесной пожарной опасности на основе анализа метеорологических данных. Минимальная территория — нет данных. Фактор сфокусированного солнечного излучения не учитывается. Есть возможность прогнозировать процесс распространения лесного пожара. Данные дистанционного зондирования Земли не используются.

6. Fire Station (Португалия) [15]. Причины возникновения лесного пожара не учитываются. Есть возможность прогнозирования распространения лесного пожара. Данные дистанционного зондирования Земли не используются.

Выбор оптимальной спутниковой платформы

В настоящее время доступны данные дистанционного зондирования Земли из космоса в результате оптической и радиолокационной съемки [16]. Ниже представлены ведущие спутниковые системы, работающие в оптическом диапазоне.

Данные сверхвысокого разрешения (<1 м):

QuickBird, разрешение 0,61 м (панхроматический режим), 2,44 м (мульти-спектральный), ширина полосы съемки в надир 16,8 км, период повторной съемки 2–3 суток.

Данные высокого разрешения (1–10 м):

SPOT 6&7, разрешение 1,5 м (панхроматический режим), 6 (мульти-спектральный), ширина полосы съемки в надир 60 км, период повторной съемки 1 сутки (двумя спутниками).

Данные среднего разрешения (10–100 м):

Landsat 8, разрешение 15 м (панхроматический режим), 30 и 100 м (мульти-спектральный), ширина полосы съемки в надир 185 км, период повторной съемки 16 суток.

Данные низкого разрешения (>100 м):

Terra/AquaMODIS, разрешение 250–1000 м (мультиспектральный), ширина полосы съемки в надир 2300 км, период повторной съемки 0,25–0,5 суток (двумя спутниками).

Ниже приведены данные по ведущим спутникам, осуществляющим радиолокационную съемку поверхности Земли:

RADARSAT-2, разрешение 1, 3, 8, 25, 50, 100 м (C — диапазон), ширина полосы съемки от 18 до 500 км, период повторной съемки 1–6 суток.

Для анализа фактической горимости лесных массивов необходимо, чтобы возможности конкретной спутниковой платформы соответствовали требованиям оперативного мониторинга. Известно, что возникновение и поведение пожара различно в зависимости от времени суток. Таким образом, необходимо, чтобы спутниковые данные были доступны несколько раз в день. В настоящее время этому требованию отвечают космоснимки платформ Terra/Aqua, обладающие низким пространственным разрешением. Однако данные среднего, высокого и сверхвысокого разрешения не пригодны для целей дистанционной диагностики лесных массивов по термальным аномалиям в режиме оперативного мониторинга. Хорошие перспективы имеет платформа SuomiNPP, но продукты прибора VIIRS еще не прошли валидацию.

Таким образом, оптимальное решение проблемы возможно при сочетании следующих технологий — программная реализация методики оценки лесной пожарной опасности (подкрепленная данными физического моделирования), обусловленной действием сфокусированного солнечного излучения, в геоинформационной системе с использованием данных прибора MODIS спутников Terra/Aqua для картирования фактических очагов лесных пожаров.

Часть продуктов соответствует отдельным измерениям приборов MODIS на платформах Terra и Aqua, а часть представляет собой продукты комбинированного типа. Значительная часть продуктов является композитами за 8–16–30 дней. Однако есть и оперативные ежедневные результаты обработки измерений прибора MODIS. Как правило, пространственное разрешение продуктов этого прибора порядка 250–1000 м, что достаточно для крупномасштабной оценки лесной пожарной опасности. Особый интерес представляет, например, продукт выявления термальных аномалий (по сути, пожаров) MOD14. Следует отметить, что описание продуктов MODIS представлено на электронном ресурсе [17]. Совместное использование продуктов MODIS и данных других приборов Terra/Aqua открывает еще большие перспективы для количественной оценки лесной пожарной опасности, обусловленной действием сфокусированного солнечного излучения.

Данные радиолокационной съемки также не пригодны для оперативного мониторинга лесных пожаров, так как период повторной съемки превышает сутки. Кроме того, снимки с разрешением среднего уровня и выше доступны на платной основе и имеют высокую стоимость, в то время как данные прибора MODIS могут использоваться в режиме свободного доступа с серверов (NASA, USA) и ИВТ СО РАН (г. Новосибирск, Россия).

Постановка проблемы и метод ее решения

Сформулируем следующую проблему, требующую решения. Необходимо оп-ределить пожарную опасность лесных массивов в условиях действия сфокусирован-

ного солнечного излучения. На программную реализацию методики накладывает-ся условие оперативного получения оценки уровня лесной пожарной опасности. Согласно теоретическим и экспериментальным результатам моделирования процессов зажигания лесных горючих материалов сфокусированным потоком солнечного излучения разработан метод классификации лесных участков [8]. В качестве пилотной территории выбран Тимирязевский лесхоз Томской области.

Тимирязевский механизированный лесхоз Томского управления лесами расположен в междуречье двух больших рек (Оби и Томи) на территории трех административных районов Томской области — Томского, Шегарского и Кожевниковского. Протяженность территории лесхоза с Севера на Юг — 64 км, с Запада на Восток — 50 км. По лесорастительному районированию Западной Сибири территория Тимирязевского лесхоза относится к зоне Южной тайги (Обско–Томского кедрово-соснового лесорастительного округа). По принятому Томским отделением Сибгипрозема агроклиматическому районированию Томской области территория лесхоза отнесена к умеренно увлажненному району. Продолжительность вегетационного периода составляет 120 дней. Преобладающей главной породой является сосна — 39,6 %; осина — 26,2 % и береза — 21,2 %; кедр, лиственница, ель и пихта — 13 %.

В настоящей статье также рассмотрен такой метеорологический фактор, как облачность. Из физических соображений [18] понятно, что в случае экранирования земной поверхности облаками от светила будет поступать недостаточное количество лучистой энергии. Известно, что в умеренных широтах величина лучистого теплового потока естественного солнечного излучения составляет порядка 1 кВт/м^2 [19]. Таким образом, в геоинформационной системе может быть введен слой, содержащий данные по облачности на контролируемой лесопокрытой территории, полученные по результатам дистанционного зондирования искусственным спутником Земли [20].

Примерно 11 % приходится на лесные пожары, причина которых не установлена (по данным авиационной базы охраны лесов Томской области). Одной из причин возгораний может быть воспламенение лесного горючего материала в результате действия сфокусированного солнечного излучения [8]. Так в Заключении Общественной комиссии по расследованию причин и последствий природных пожаров в России в 2010 г. сказано: «Не исключено, что в условиях продолжительной засухи и высокой температуры воздуха доля самовозгораний лесной подстилки в результате преломления солнечных лучей в осколках стекла была выше средней» [21].

Сведений о научных исследованиях по изучению возникновения лесных пожаров в результате воздействия сфокусированного солнечного излучения практически нет. В. Бабраускас в работе [5] приводит данные по кратности усиления естественного солнечного излучения для различных стеклянных объектов. Например, для стеклянных бутылок эта величина лежит в диапазоне кратности от 12 до 22. Проведенное физико-математическое моделирование [6] показало, что при величине теплового потока сфокусированного солнечного излучения в 15 кВт/м^2 и более возможно воспламенение слоя лесного горючего материала. По данным экспериментов пламенное горение лесных горючих материалов наблюдается при величине теплового потока сфокусированного солнечного излучения в $17,78 \text{ кВт/м}^2$ [7]. Если учесть, что в умеренных широтах с учетом ослабления излучения атмосферой Земли [22] величина потока естественной солнечной радиации составляет примерно 1 кВт/м^2 [23], то с учетом кратности усиления солнечного излучения концентраторами мощность сфокусированного солнечного излучения может достигать 22 кВт/м^2 , что представляет реальную пожарную опасность для лесных массивов.

Любой лесной пожар представляет собой, в том числе, географическое явление. Геоинформационные системы позволяют проводить анализ геопространственных данных по условиям, которые способствуют возникновению возгораний. Анализ этой информации обеспечивает прогнозирование условий, при которых в определенный момент времени возможно возникновение пожара.

Оценить лесную пожарную опасность по воздействию сфокусированного солнечного излучения возможно исходя из состава напочвенного лесного горючего материала [8, 24]. Использование геоинформационных инструментов позволяет совместить картографическую информацию с данными о пожарной опасности лесных кварталов.

Типичный космоснимок с точками термальных аномалий с использованием интерфейса сервиса ИВТ СО РАН SatView для территории Томской области на 01 июня 2012 года, 05:36 UTC (данные СЦ «НИЦ ПЛАНЕТА») представлен на рис. 1, а на рис. 2 изображен типичный космоснимок с маской облачности (01 июня 2012 года, 05:36 UTC) [18].

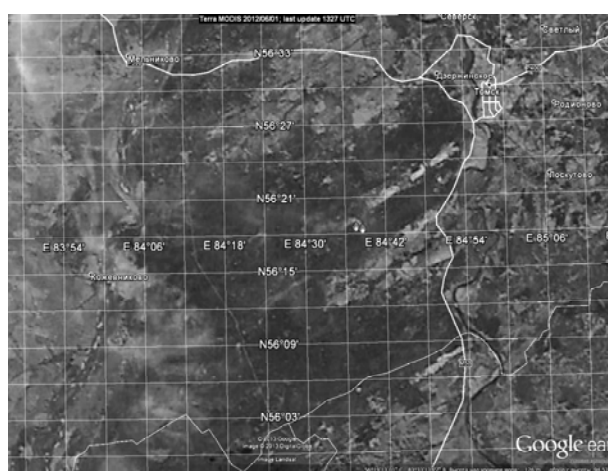


Рис. 1

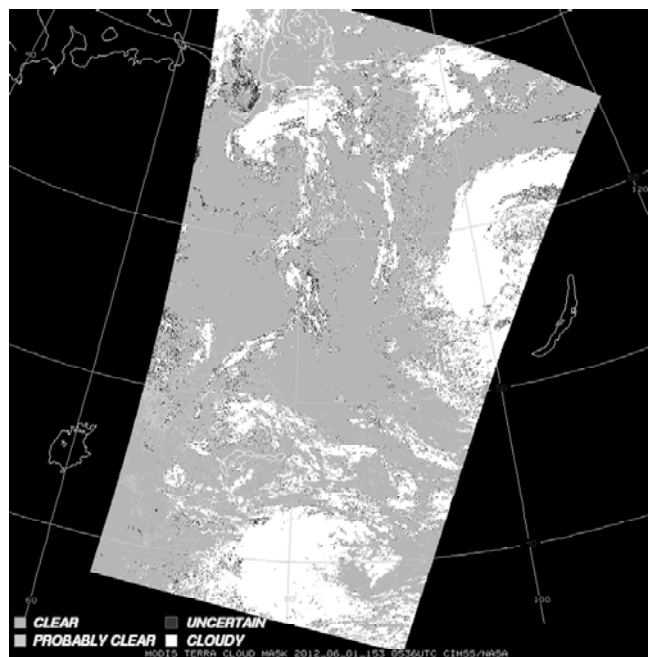


Рис. 2

Методика оценки пожарной опасности

Характеристики напочвенного лесного горючего материала, как правило, определяются в результате наземной таксации. Таксационное описание лесного фонда, составляемое при лесоустройстве, является источником информации о характере и состоянии лесных площадей, который одновременно дает их пространственное расположение. Существующая зависимость между состоянием лесных горючих материалов и основными таксационными характеристиками (преобладающая порода, группа возраста) позволяет создавать базы данных, содержащие информацию о природной пожароопасности каждого лесного выдела. Такие лесотаксационные базы можно использовать при оценке пожароопасности лесных кварталов.

Для того чтобы разделить кварталы по уровням пожароопасности на основе породного состава лесного участка и возраста древостоя, необходимо определить количество пожароопасных выделов в каждом квартале. Все выделы по уровню пожарной опасности можно разбить на две группы: малогоримые и пожароопасные [8]. Для количественной оценки лесной пожарной опасности по лесорастительным условиям необходимо ввести понятие эталонного источника зажигания. Если в качестве эталонного источника зажигания выбран лучистый тепловой поток, то на основе классификации лесных выделов предлагается следующий алгоритм количественной (вероятностной) оценки лесной пожарной опасности [8]:

$$P(C) \approx \frac{N_{FS}}{N_{TS}},$$

где $P(C)$ — вероятность возникновения лесного пожара по лесорастительным условиям, N_{FS} — число пожароопасных выделов в квартале, N_{TS} — общее число выделов в квартале.

Анализ результатов

Для программной реализации предлагается использовать технологии географических информационных систем отображения пространственных данных. В системе предлагается использовать структуру, представленную на рис. 3.

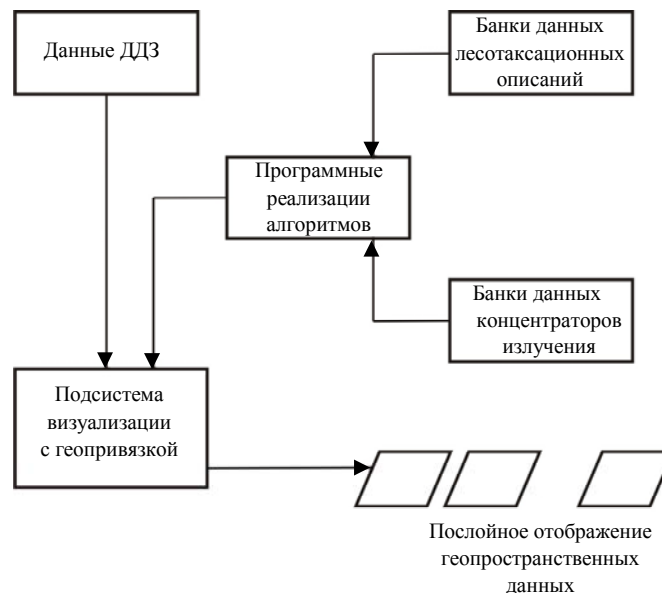


Рис. 3

В географической информационной системе предусмотрено использование данных дистанционного зондирования Земли из космоса. Одним из оперативных источников о точках возможных термальных аномалий является продукт MxD14 (Thermal Anomalies/Fire), получаемый в результате обработки данных сенсора MODIS спутников TERRA/AQUA (продукт MOD14 и MYD14 соответственно). Эти продукты производятся на основе получаемых оперативных данных в диапазонах 4 микрометра (каналы MODIS 21 и 22) и 11 микрометров (канал MODIS 31). Для маскирования облачности используются каналы 1 и 2 разрешением 250 метров (диапазоны 0,65 и 0,68 микрометров), а также каналы 7 и 32 (пространственное разрешение канала 7 — 500 метров, диапазон 2,1 микрометра, для канала 32 пространственное разрешение 1 км, диапазон 12 микрометров). Алгоритм детектирования подробно описан в документации к продукту [25], а также в ряде статей, например в [26]. Также в серии пожарных продуктов сенсора MODIS присутствуют продукты, предоставляющие информацию о местоположении пожара, выделяемой энергии, отношении горения и тления, а также позволяющие проводить некоторую оценку выгоревшей площади лесных массивов [17].

Обнаружение облаков выполняется посредством методики, основанной на технологии, использованной при получении в ходе Международной программы по геосфере и биосфере (International Geosphere Biosphere Program (IGBP)) глобального пожарного продукта с помощью AVHRR [20].

В работе [27] использованы данные высокого разрешения (18 сцен прибора ASTER) для проверки достоверности продукта MODIS по определению термических аномалий в Южной Африке. Прибор ASTER также размещен на платформе спутника Тетта и позволяет проводить наблюдения, которые совпадают в пространстве и во времени с наблюдениями прибора MODIS. Комбинация этих данных позволила осуществить проверку достоверности по наблюдению за активными пожарами. Следует отметить, что область исследования была ограничена территорией Южной Африки, но продолжают работы для оценки продукта MODIS по определению термических аномалий на глобальном уровне [20].

При использовании продуктов MODIS возможна вероятностная оценка параметров облачности над контролируемой территорией. Облачность характеризуется четырьмя состояниями: чисто, возможно чисто, неопределенно и облачно. В принципе этого достаточно для оперативного мониторинга лесной пожарной опасности в условиях действия сфокусированного солнечного излучения.

В целях визуализации оценочной информации в системе необходимо осуществить соединение двух таблиц (автономной и пространственной). Для этого используется инструмент «Добавить соединение». В результате работы этого инструмента атрибуты из таблицы будут присоединены к выходному классу пространственных объектов. К пространственной таблице «Лесные кварталы» будут добавлены дополнительные поля с необходимой информацией.

С использованием значения поля «Ugoven» (уровень) создана карта-схема, которая визуализирует уровень лесной пожарной опасности, обусловленной действием сфокусированного солнечного излучения (рис. 4).

В качестве платформы исследований было использовано программное обеспечение ArcGIS [28], включающее широкий набор системных инструментов геообработки данных, а также позволяющее пользователям создавать собственные инструменты.

Для количественной оценки вероятности лесной пожарной опасности по данным наземной таксации написан пользовательский модуль «MapFiredanger» на встроенном в ArcGIS языке Python.

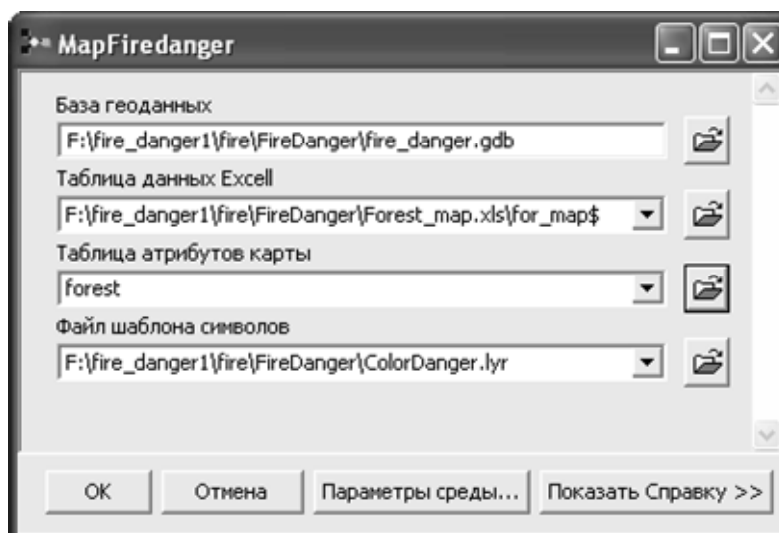


Рис. 4

Модуль «MapFiredanger» реализует следующие функции:

- импорт данных из таблицы Excel в автономную таблицу базы геоданных;
- определение пожарной опасности выдела;
- оценка вероятности пожарной опасности лесного квартала;
- соединение атрибутивной и автономной таблиц;
- вынос информации на карту.

Входные данные:

- текущий проект ArcMap, содержащий фрейм, представленный слоями, каждый из которых базируется на базе геоданных либо на Shape-файле;
- база геоданных;
- атрибутивное изображение класса пространственных объектов:

OBJECT	SHAPE	NAME_FORES	NOMER_KVAR
	полигон		

- файл шаблона слоя с сохраненными условными обозначениями;
- изображение с исходными данными в формате MSEXcel структура:

UCHASTOK	KVART	VYDEL	AREA	SOSTAV	AGE
----------	-------	-------	------	--------	-----

Выходные данные:

- автономная таблица с оценкой вероятности пожарной опасности лесного квартала;
- база геоданных;
- текущий проект ArcMap, содержащий фрейм, оформленный в соответствии с содержанием легенды.

Операционные действия при работе с системой:

- 1) запустить программу и создать новый документ в ArcMap.
- 2) добавить слой, содержащий информацию о лесных кварталах.
- 3) добавить в ArcToolbox инструмент MapFiredanger.
- 4) активизировать инструмент MapFiredanger и задать входные данные (см. рис. 4).

В процессе выполнения инструмента будут созданы таблицы и карта.

1. Таблица с данными по каждому выделу (рис. 5), в которую добавлено поле FireDanger, характеризующее пожароопасность выдела по лесорастительным условиям, имеющее следующие значения:

Да — выдел относится к пожароопасным.

Нет — соответственно выдел не пожароопасный.

ОБЪЕКТID *	uchastok	kvart	vydel	area	sostav	age	FireDanger
39004	Киреевский	241	15	2.8	10С	С - 190	Да
39013	Киреевский	241	24	5.9	10С	С - 170	Да
39016	Киреевский	241	27	3	10С	С - 160	Да
39022	Киреевский	241	33	3.7	10С	С - 170	Да
39038	Киреевский	241	49	0.4	ПРОСЕКИ КВАРТАЛЬН	<Null>	Да
39054	Киреевский	242	16	2.3	10С	С - 160	Да
39059	Киреевский	242	21	10.5	10С	С - 160	Да
39090	Киреевский	242	52	3.2	10С	С - 170	Да
39092	Киреевский	242	54	0.4	ПРОСЕКИ КВАРТАЛЬН	<Null>	Да
39104	Киреевский	243	12	1.4	10С	С - 190	Да
39119	Киреевский	243	27	0.3	ПРОСЕКИ КВАРТАЛЬН	<Null>	Да
1	Калтайский	1	1	43.7	СЕНОКОС	<Null>	Нет
2	Калтайский	1	2	2	БОЛОТО	<Null>	Нет
3	Калтайский	1	3	7.6	7Б2Л1С	Б - 75, Л - 120, С	Нет
4	Калтайский	1	4	14.8	7ИВЗБ	ИВ - 30, Б - 35	Нет
5	Калтайский	1	5	19	7ИВЗБ	ИВ - 30, Б - 35	Нет
6	Калтайский	1	6	18.3	8Б2Л	Б - 65, Л - 120	Нет
7	Калтайский	1	7	5.5	7Б2Л1С	Б - 75, Л - 120, С	Нет
8	Калтайский	1	8	5.6	5С2К1Л2Б	С - 140, К - 180,	Нет
9	Калтайский	1	9	5.3	5К2Е1С2Б	К - 180, Е - 140,	Нет
10	Калтайский	1	10	1.2	ОЗЕРО	<Null>	Нет
11	Калтайский	1	11	33.5	7Б2С1Л	Б - 35, С - 60, Л -	Нет
12	Калтайский	1	12	3.8	6Б2К2С	Б - 75, К - 200, С	Нет
13	Калтайский	1	13	8.7	4К2Е1ЛЗБ	К - 160, Е - 120,	Нет
14	Калтайский	1	14	10.5	3Л2С5Б	Л - 65, С - 65, Б -	Нет
15	Калтайский	1	15	16.2	4К2Е1П1С2Б	К - 220, Е - 140,	Нет
16	Калтайский	1	16	4.7	3К2Е1Л4Б	К - 220, Е - 140,	Нет
17	Калтайский	1	17	1.4	ОЗЕРО	<Null>	Нет

Рис. 5

2. Таблица с количественной оценкой вероятности пожарной опасности лесного квартала, обусловленной действием сфокусированного солнечного излучения (рис. 6). Таблица содержит следующую атрибутивную информацию: название лесничества, номер квартала, общее количество выделов, количество пожароопасных выделов, величину вероятности пожарной опасности и уровень пожарной опасности.

3. Карта пожарной опасности лесных кварталов, обусловленной действием сфокусированного солнечного излучения (рис. 7).

Сфера применения представленной системы — анализ уровня опасности возгорания на различных участках лесной территории. В состав разработанной продукции включены программные компоненты, обеспечивающие количественную оценку лесной пожарной опасности в условиях действия сфокусированного солнечного излучения и расчет времени задержки загорания лесного горючего материала.

ГИС-система базируется на физически и математически обоснованной методике оценки лесной пожарной опасности, согласованной с экспериментальными данными и выгодно отличается от экспертных систем, построенных на знаниях.

Согласно предварительному анализу найденных документов и источников научно-технической информации [9–15, 29–31] созданная географическая информационная система превосходит по характеристикам известные аналоги в части учета фактора сфокусированного солнечного излучения и количественной (вероятностной) оценки лесной пожарной опасности на основе данных дистанционного зондирования и наземной таксации лесных массивов. Проверка проводилась

в отношении ведущих в исследуемой технической области стран: РФ, США, страны Европы, Япония, Китай, Корея. Период поиска: 1986–2013 гг. В результате поиска найдено 20 патентов и 7 свидетельств, причем ни одну из этих работ нельзя считать прямым аналогом представленного объекта [32].

Лесничество	№ квартала	Кол-во выделов	Кол-во пожар выделов	Вероятность	Уровень
Тимирязевский	48	6	5	0.8333	чрезвычайный
Богородский	31	34	7	0.2059	умеренный
Богородский	124	30	6	0.2000	умеренный
Жуковский	45	33	7	0.2121	умеренный
Жуковский	46	41	10	0.2439	умеренный
Жуковский	47	39	9	0.2308	умеренный
Жуковский	96	34	7	0.2059	умеренный
Жуковский	118	22	5	0.2273	умеренный
Жуковский	121	19	4	0.2105	умеренный
Жуковский	132	24	5	0.2083	умеренный
Жуковский	164	32	9	0.2813	умеренный
Жуковский	167	23	5	0.2174	умеренный
Калтайский	124	19	5	0.2632	умеренный
Калтайский	139	29	7	0.2414	умеренный
Калтайский	159	34	9	0.2647	умеренный
Калтайский	172	15	4	0.2667	умеренный
Калтайский	173	14	3	0.2143	умеренный
Калтайский	199	10	2	0.2000	умеренный
Калтайский	219	39	10	0.2564	умеренный
Калтайский	256	31	7	0.2258	умеренный
Калтайский	264	24	5	0.2083	умеренный
Калтайский	295	54	12	0.2222	умеренный
Калтайский	333	3	1	0.3333	умеренный
Калтайский	364	30	6	0.2000	умеренный
Киреевский	240	37	8	0.2162	умеренный
Моряковский	62	41	9	0.2195	умеренный
Моряковский	88	30	7	0.2333	умеренный
Моряковский	89	31	7	0.2258	умеренный
Моряковский	96	9	3	0.3333	умеренный
Моряковский	109	36	10	0.2778	умеренный

Рис. 6

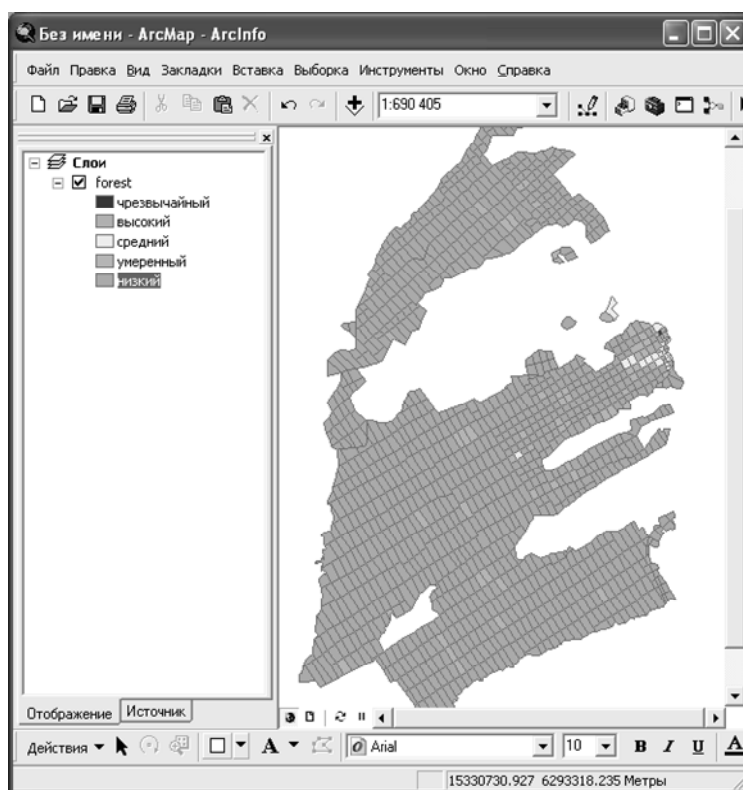


Рис. 7

В работе [33] представлены экспериментальные исследования производительности геоинформационной системы количественной оценки лесной пожарной опасности, обусловленной действием сфокусированного солнечного излучения. Показано, что быстродействие обработки информации в автоматизированном режиме на несколько порядков превосходит производительность ручного труда оператора. Результаты анализа производительности геоинформационной системы получены на вычислительной системе со следующими параметрами:

Windows XP SP3×32, Intel ® Core™ 2 DUO CPU P8400 2,26 GHz, 2,26 ГГц; 2,99 ГБ ОЗУ; NVIDIA GeForce 9200 M, 512 МБ, 1280×800×32.

На инициализацию программы требуется следующее время: на запуск приложения ArcMap — 16 с, на запуск программы MapFiredanger с заданием всех параметров — 45,1 с. Время работы программы изменяется от 1 до 29 с в зависимости от сценария и объема исходных обрабатываемых данных. Необходимо отметить, что по сравнению с ручным трудом оператора автоматизированная обработка дает преимущество по времени процесса на несколько порядков (примерно в 3000 раз быстрее). Можно ожидать ощутимый экономический эффект от внедрения этой геоинформационной системы в практику охраны лесов от пожаров.

Заключение

В настоящей статье описана географическая информационная система оценки лесной пожарной опасности, обусловленная действием сфокусированного солнечного излучения. Представлены результаты количественной и качественной оценки пожарной обстановки на территории Тимирязевского участкового лесничества Томской области.

В настоящей системе использованы данные дистанционного зондирования поверхности нашей планеты с помощью искусственных спутников Земли (данные и космоснимки прибора MODIS с платформы Тетта). Настоящая статья открывает цикл публикаций по использованию космических технологий в области оценки лесной пожарной опасности на основе физически обоснованных методов прогностического моделирования.

Следует отметить, что в настоящее время не существует аналогичных информационно-вычислительных систем, которые учитывали бы такой фактор возникновения лесных пожаров, как действие сфокусированного солнечного излучения. Данная разработка открывает перспективы переоснащения и модернизации существующего программного обеспечения, которое используется в области охраны лесов от пожаров. Настоящая работа также стимулирует развитие космической отрасли в плане создания искусственных спутников Земли, позволяющих проводить мониторинг лесных пожаров с высоким пространственным разрешением и малым периодом обращения вокруг Земли.

М.В. Барановський, О.П. Янкович

ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ЛІСОВОЇ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ НА ОСНОВІ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ПОВЕРХНІ ШТУЧНИМ СУПУТНИКОМ ЗЕМЛІ

Описано геоінформаційний моніторинг лісової пожежної небезпеки. Розроблено геоінформаційну систему оцінки лісової пожежної небезпеки на основі спеціалізованого програмного забезпечення ArcGIS. Система дозволяє використовувати і візуально відображати дані дистанційного зондування поверхні, отримані за допомогою штучних супутників Землі. Використано дані приладу MODIS із супутникової платформи Тетта. Наведено приклад картування лісової пожежної небезпеки для території Тимирязівського лісництва Томської області.

**GEOINFORMATION MONITORING
OF FOREST FIRE DANGER ON THE BASIS
OF THE REMOTE SENSING DATA OF SURFACE
BY THE ARTIFICIAL EARTH SATELLITE**

Paper is devoted to geoinformation monitoring of forest fire danger. The geoinformation system of forest fire danger estimation on the basis of specialized software ArcGIS is developed. System allows to use and visualize the data of remote sensing of surface obtained by means of artificial Earth satellite. The data of MODIS device from satellite platform Terra is used. Example of forest fire danger mapping is presented for territory of the Timiryazevskiy forestry of the Tomsk region.

1. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. — Новосибирск: Изд-во СО РАН. — 2009. — 301 с.
2. Янко И.В. Пирологическая оценка территории Томской области; Дисс. ... канд. геогр. наук. — Томск: Томский государственный педагогический университет, 2005. — 174 с.
3. Барановский Н.В. Концептуальная база российской системы прогноза лесной пожарной опасности // Безопасность в техносфере. — 2010. — № 6. — С. 34–42.
4. Kuznetsov G.V., Baranovsky N.V. Mathematical simulation of heat transfer at coniferous tree ignition by cloud-to-ground lightning discharge (01028) // EPJ Web of Conferences. — 2014. — 76. — P. 1–6.
5. Babrauskas V. Ignition handbook: principles and applications to fire safety engineering, fire investigation, risk management, and forensic science. — Issaquah : Fire Science Publishers, 2003. — 843 p.
6. Барановский Н.В. Математическое моделирование зажигания слоя лесного горючего материала сфокусированным потоком солнечного излучения // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — 20, № 8. — С. 34–37.
7. Барановский Н.В. Экспериментальные исследования зажигания слоя лесных горючих материалов сфокусированным солнечным излучением // Там же. — 2012. — 21, № 9. — С. 23–27.
8. Kuznetsov G.V., Baranovskiy N.V. Focused sun's rays and forest fire danger: new concept // Proceedings of SPIE. — 2013. — 8890. — Paper 889011; doi:10.1117/12.2033929.
9. Подольская А.С., Еришов Д.В., Шуляк П.П. Применение метода оценки вероятности возникновения лесных пожаров в ИСДМ-Рослесхоз // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2011. — 8, № 1. — С. 118–126.
10. Canadian Forest Fire Danger Rating System / B.J. Stocks, M.E. Alexander, R.S. McAlpine et al // Canadian Forestry service, — 1987. — 500 p.
11. Deeming I.E., Lancaster I.W., Fosberg M.A., Furman R.W., Schroeder M.I. The National Fire-Danger Rating System // USDA Forest Service Research. — Paper RM-84 February, 1972. — 165 p.
12. Camia A., Barbosa P., Amatulli G., San-Miguel-Ayanz J. Fire danger rating in the European Forest Fire Information System (EFFIS): Current developments // Forest Ecology and Management. — 2006. — 234, suppl. 1. — P. S20.
13. Гришин А. М., Фильков А. И. Прогноз возникновения и распространения лесных пожаров. — Кемерово : Практика, 2005. — 202 с.
14. Kalabokidis K., Athanasis N., Karayiannis F. et al. Virtual Fire: A web-based GIS platform for forest fire control // Ecological Informatics. — 2013. — 16. — P. 62–69.
15. Rodriguez-Aseretto D., de Rigo D., Di Leo M. et al. A Data-driven model for large wildfire behaviour prediction in Europe // Procedia Computer Science. — 2013. — 18. — P. 1861–1870.
16. Bhatta B. Introduction to remote sensing and research // Research Methods in Remote Sensing. — Heidelberg : Springer Briefs in Earth Sciences. — 2013. — P. 1–20.
17. MODIS Products Table. Land processes distributed active archive center. USGSSite. — http://daac.usgs.gov/products/modis_products_table/ (проверено 15.04.2014 г.)
18. Косарев В.П., Андрущенко Т. Лесная метеорология с основами климатологии. 2-е изд., испр. и доп. / Под ред. Б.В. Бабикова. — СПб. : Лань. — 2007. — 288 с.
19. Магомедов А.М. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. — Махачкала : АОЗТ Юпитер, 1996. — 245 с.

20. Система информационной поддержки задач оперативного мониторинга на основе данных дистанционного зондирования / Ю.И. Шокин, Н.Н. Добрецов, В.В. Смирнов, А.А. Лагутин, В.Н. Антонов, А.В. Калашников // Тезисы докладов Восьмой открытой Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса» (Москва, 15–19 ноября 2010 г.). — М. : ИКИ РАН. — 2010. — С. 40–41.
21. Заключение Общественной комиссии по расследованию причин и последствий природных пожаров в России в 2010 году. URL:http://www.yabloko.ru/mneniya_i_publicatsii/2010/09/14 (дата обращения 05.06.2014).
22. Кабанов М.В. Региональный мониторинг атмосферы. Ч. I. Научно-методические основы. / Под общей редакцией В.Е. Зуева. — Томск : Изд-во «Спектр» ИОА СО РАН, 1997. — 211 с.
23. Solar technologies in Uzbekistan: state, priorities, and perspectives of development / A.A. Abdurakhmanov, Kh.K. Zainutdinova, M.A. Mamatkosimov, M.S. Paizullakhanov, G. Saragoza // Applied Solar Energy. — 2012. — 48, N 2. — P. 84–91.
24. Baranovskiy N.V., Yankovich E.P. Estimation and mapping of forest fire danger by action of the focused sunlight in geographical information system // Proceedings of 5th International Conference on Cartography and GIS (Riviera, Bulgaria, 15–20 June 2014). Vol. 2. / Eds. T. Bandrova, M. Konecny. — Sofia : Bulgarian Cartographic Association. — 2014. — P. 756–762.
25. Giglio L. MODIS Collection 5 Active Fire Product User's Guide Version 2.4 // Science Systems and Applications, Inc. University of Maryland, Department of Geography. — 2010. — 61 p.
26. Justice C.O., Giglio L. et al. The MODIS fire products // Remote Sensing of Environment. — 2002. — 83, N 1–2. — P. 244–262.
27. Morisette J.T., Giglio L., Csizsar I., Justice C.O. Validation of the MODIS active fire product over Southern Africa with ASTER data // International Journal of Remote Sensing. — 2005. — 26, N 19. — P. 4239–4264.
28. Harder Ch., Ormsby T., Balstrom Th. Understanding GIS: An ArcGIS Project Workbook, Second Edition. — California, USA, 2013. — 362 p.
29. Ходаков В.Е., Жарикова М.В. Дистанционная диагностика состояния лесных массивов и количественная оценка лесной пожарной опасности, обусловленной действием сфокусированного солнечного излучения // Лесные пожары: методы исследования. — Херсон, 2012. — 456 с.
30. Волокитина А.В., Софронов М.А. Классификация и картографирование растительных горючих материалов. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2002. — 314 с.
31. Джарратано Дж., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование, 4-е изд. / Пер. с англ. — М. : Вильямс, 2007. — 1152 с.
32. Разва А.С., Барановский Н.В., Янкович Е.П. Анализ патентных исследований в области геоинформационного мониторинга лесной пожарной опасности с использованием спутникового зондирования // Авиакосмическое приборостроение. — 2014. — № 3. — С. 43–55.
33. Янкович Е.П., Барановский Н.В. Анализ производительности геоинформационной системы количественной оценки лесной пожарной опасности // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. — 2014. — № 3. — С. 8–12.

*Получено 24.06.2014
После доработки 02.04.2015*