

Применение метода оценки вероятности возникновения лесных пожаров в ИСДМ-Рослесхоз

А.С. Подольская, Д.В. Ершов, П.П. Шуляк

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН,
117997 Москва, Профсоюзная ул., 84/32
e-mail: alexandra@ifi.rssi.ru

Работа является продолжением научных исследований по развитию методов оценки вероятности возникновения лесных пожаров в ИСДМ-Рослесхоз, предварительные результаты которых докладывались на предыдущих конференциях ИКИ РАН.

В качестве тестовой модели оценки вероятности возникновения пожара использовался детерминированно-вероятностный подход Томского государственного университета. Согласно методике априорные вероятности таких показателей как антропогенная нагрузка, возникновение пожара вследствие антропогенной нагрузки, наличие сухих гроз и возникновение лесного пожара от молниевого разряда определяются через частоту событий. Для расчета априорных вероятностей исходными данными по антропогенным и природным пожарам служили многолетние архивные данные авиационной службы охраны лесов от пожаров на активно охраняемой авиацией территории. Ввиду сложности настройки физико-математической модели, описывающей время сушки лесных горючих материалов для всех лесорастительных условий России на федеральном уровне, оценка вероятности пожара по метеоусловиям выполнялась также с использованием статистического подхода. В зоне действия каждой метеостанции для трех периодов пожароопасного сезона по региональным шкалам, определялось критическое значение индекса пожарной опасности, при котором по статистике был зарегистрирован лесной пожар наземными или авиационными службами. Для расчета индекса использовались многолетние данные по пожарам и ежедневные данные пожарной опасности по методике В.Г.Нестерова.

Найденные количественные значения антропогенной и природной составляющих модели могут использоваться для предварительной оценки причины возникновения пожаров в зоне ответственности метеостанции. Это актуально для пожаров, детектированных по спутниковым данным.

В рамках работы проводился сравнительный анализ прогнозных оценок вероятности возникновения пожаров с фактически зарегистрированными очагами пожаров в течение пожароопасного сезона.

Ключевые слова: вероятность возникновения пожара, ГИС-технологии в мониторинге лесных пожаров, детерминировано-вероятностный подход.

Введение

Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров (ИСДМ) Рослесхоза позволяет ежедневно получать, обрабатывать и интерпретировать информацию о лесопожарной обстановке на всей территории лесного фонда России (Котельников и др., 2009). Оценка и прогноз лесной пожарной опасности в ИСДМ-Рослесхоз базируется на комплексном метеорологическом показателе В.Г. Нестерова (Нестеров, 1961; Волокитина, Софонов, 2002), отражающем эмпирическую зависимость влагосодержания напочвенного покрова от температуры и относительной влажности воздуха, количества суточных осадков. Этот показатель характеризует возможность воспламенения лесных горючих материалов, являющихся проводником горения при низовых лесных пожарах. Он служит основой для регламентации работы авиационной и наземной лесопожарных служб (Правила пожарной безопасности в лесах РФ, 1993; Рекомендации по обнаружению и тушению лесных пожаров, 1997; Рекомендации по противопожарной профилактике в лесах и регламентации работы лесопожарных служб, 1997). Отсутствие других компонент и индексов пожарной опасности, а также наличие в ИСДМ необходимой для их расчета информации о погодных и лесорастительных условиях на всей территории страны (Беляев и др., 2006) обуславливает необходимость и целесообразность совершенствования системы.

В последние годы интенсивно развивается детерминированно-вероятностный подход к прогнозированию лесной пожарной опасности, базирующийся на положениях теории вероятностей и физико-математических моделях сушки и зажигания лесных горючих материалов (Гришин, Фильков, 2005; Кузнецов, Барановский, 2009).

Настоящая статья посвящена описанию модифицированной модели оценки вероятности возникновения пожаров и предварительных результатов ее применения. После проведения тестирования модифицированная модель будет использована для создания технологии ежедневного построения карт вероятности возникновения пожаров на федеральном уровне.

Математическая модель определения вероятности возникновения лесных пожаров

Для оценки вероятности возникновения пожара использовалась детерминированно-вероятностная методика, учитывающая помимо погодных условий влияние человеческого фактора на возможность возгораний в лесу и вероятность воспламенения лесных горючих материалов вследствие природных явлений (прежде всего, молниевых разрядов). Методика разработана Томским государственным университетом. Апробация методики проводилась на локальном уровне (Барановский, 2007).

Согласно методике вероятность возникновения пожара определяют три составляющие – антропогенная, природная и вероятность по метеоусловиям (Барановский и др., 2003). Антропогенная и природная составляющие вычисляются как произведение соответствующих априорных вероятностей (1).

$$P_j = \sum [P_{ij}(A) * P_{ij}(FF/A) + P_{ij}(M) * P_{ij}(FF/M)] * P_{ij}(C) \quad (1)$$

где $P(A)$ – вероятность антропогенной нагрузки; $P(FF/A)$ – вероятность возникновения пожара от антропогенной нагрузки; $P(M)$ – вероятность молниевого разряда; $P(FF/M)$ – вероятность возникновения пожара от молниевого разряда.

Априорные вероятности таких показателей как антропогенная нагрузка, возникновение пожара вследствие антропогенной нагрузки, вероятность молниевого разряда и возникновение лесного пожара от молниевого разряда в соответствии с методикой определяются через частоту событий (2).

$$\begin{aligned} P_{ij}(A) &= N_a / N_{nc} & P_{ij}(M) &= N_m / N_{nc} \\ P_{ij}(FF/A) &= N_{pa} / N_{kp} & P_{ij}(FF/M) &= N_{pm} / N_{kp} \end{aligned} \quad (2)$$

где N_a – число дней в периоде с антропогенной нагрузкой; N_{pa} – число пожаров от антропогенной нагрузки; N_m – число дней с молниевыми разрядами; N_{pm} – число пожаров от молниевых разрядов; N_{nc} – общее число дней в периоде пожароопасного сезона (ПС); N_{kp} – общее число пожаров в периоде.

Для нахождения вероятности пожара по метеоусловиям вместо физико-математической модели, описывающей время сушки лесных горючих материалов, использовалась статистическая оценка предельных значений индексов пожарной опасности (ИПО), при которых начинают возникать лесные пожары. Этот подход выбран ввиду отсутствия на федеральном

уровне фактических данных, позволяющих настроить параметры физико-математической модели для различных лесорастительных условий России. Оценку вероятности возникновения пожара по метеоусловиям предлагается проводить следующим образом:

$$P(C) \approx \text{ИПО}_{\text{текущий}} / \text{ИПО}_{\text{критический}} \quad (3)$$

где ИПО_{текущий} – значения индекса пожарной опасности в каждый день пожароопасного сезона; ИПО_{критический} – значение ИПО, начиная с которого возможно возникновение пожара. $P(C)=1$, если $\text{ИПО}_{\text{текущий}} \geq \text{ИПО}_{\text{критический}}$. В расчетах используются значения индексов пожарной опасности, рассчитанные по методике В.Г. Нестерова.

Исходные данные

Метод оценки вероятности возникновения лесных пожаров предусматривает использование двух потоков исходных данных:

1. Данные метеонаблюдений – ежедневные (во время пожароопасного сезона) значения индекса пожарной опасности, с помощью которых выражается связь погодных условий и вероятности возникновения пожара в лесу (Нестеров, 1961; Курбатский, 1954; Вонский, Жданко, 1976; Софонов, 1985). Ежедневная метеорологическая информация с наземных метеорологических станций по всей России доступна благодаря системе сбора и распространения информации о синоптической обстановке Гидрометеоцентра. База данных метеонаблюдений в ИСДМ-Рослесхоз содержит информацию, накопленную за последние 5 лет с 2006 по 2010 гг.

2. Данные о пожарах с 1987 по 2010 гг., поступающие от субъектов РФ в течение пожароопасного сезона (ПС) с периодичностью не реже одного раза в месяц через диспетчерский центр ФГУ «Авиалесоохрана». Организация хранения данных на сервере MySQL аналогична метеоданным – в виде таблиц по годам, содержащих необходимые сведения о каждом пожаре, зарегистрированном на охраняемой региональными службами территории лесного фонда. Каждому пожару присвоен код ближайшей метеостанции, что обеспечивает их согласованность с данными метеонаблюдений.

Из БД извлекается информация о дате обнаружения пожара, принадлежности к той или иной метеостанции и причина возникновения. Благодаря наличию причины возникновения пожаров представляется возможной их классификация на природные и антропогенные (рис. 1). К природным отнесены пожары с причиной возникновения от гроз. Остальные пожары, возникшие по вине местного населения, от сельхозполов, железных дорог МПС, на местах лесозаготовок и т.д., рассматривались как антропогенные.

Нахождение априорных вероятностей возникновения пожара

Поскольку метеоусловия являются ключевым фактором возгорания, элементарной пространственной единицей оценки вероятности возникновения пожара рассматривается зона ответственности метеостанции, представляющая собой полигон Тиссена. Полигон является геометрической конструкцией, центром которой служит пункт расположения метеостанции. Границы полигонов есть отрезки перпендикуляров, восстанавливаемые к линии

ям, соединяющим две ближайшие метеостанции (Цветков, 1998). Нерегулярная сеть полигонов Тиссена отражает характер реального расположения пунктов метеостанций (рис.1).



Рис. 1. Классификация лесных пожаров на природные и антропогенные

1 апреля

31 октября

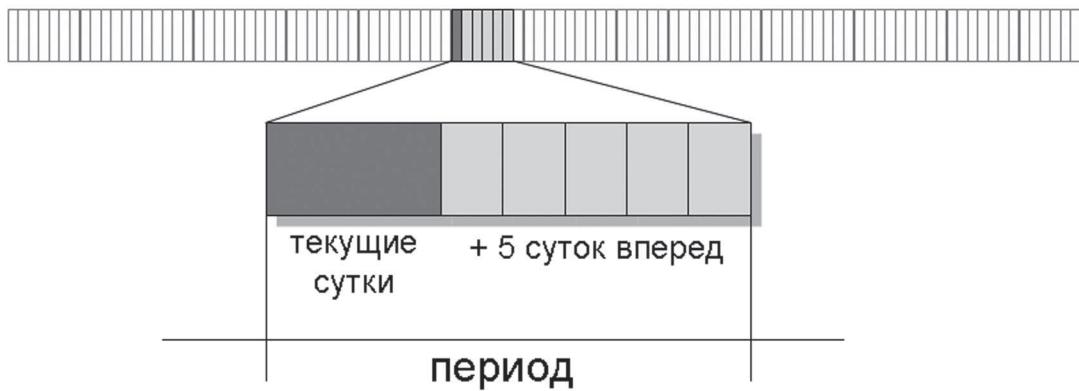


Рис. 2. Определение периода пожароопасного сезона

Расчет количества пожаров и дней для антропогенной и природной составляющих модели вероятности осуществлялся по периодам ПС. Схематично определение периода показано на рис. 2. Весь пожароопасный сезон разбивается на 6-ти дневные интервалы: текущие сутки + 5 суток вперед. Учитываются пожары, произошедшие за рассматриваемый временной интервал. Шестидневный интервал выбран из соображений, что ежедневно поступающие метеоданные содержат показатели текущего дня и прогноз на ближайшие пять дней.

Для каждой метеостанции по всем периодам ПС за исследуемые годы находятся следующие количественные показатели: общее количество пожаров; число пожаров от антропогенного фактора; число пожаров от природного фактора; количество дней с антропогенными пожарами; количество дней с природными пожарами. Согласно формулам (2) по каждому показателю рассчитываются средние многолетние значения вероятности антропогенной и природной составляющих модели.

Нахождение вероятности пожара по метеоусловиям

На территории России есть регионы, характеризующиеся относительно устойчивой корреляцией классифицированного по шкале В.Г. Нестерова (федеральная шкала) индекса пожарной опасности с горимостью лесов на протяжении всего пожароопасного сезона. В тоже время, существуют регионы, для которых указанная зависимость значима в пределах сезонных циклов погодных условий – подсезонов. Эта особенность отражена в таблицах региональных шкал, где по разным станциям число подсезонов колеблется от 1 до 3 с плавающей границей между подсезонами (рис. 3). Временной интервал и, как следствие, количество дней подсезона определяется региональными шкалами.



Рис. 3. Выделение подсезонов на основе региональных шкал

Обработка метеоданных включала учет подсезонов ПС, описывающих сезонность региональных шкал пожарной опасности метеостанций. Для каждой метеостанции известны временные границы подсезонов для весеннего, летнего и осеннеого периодов пожароопасного сезона. По многолетним значениям ИПО для зоны ответственности каждой метеостанции за подсезон найдены ИПОкритические – значения индекса, начиная с которых возможно возникновение пожаров в лесах (Таблица 1).

Таблица 1. Количество значений ИПОкр в зависимости от шкалы, применяемой к метеостанции

№	ИПОкр для метеостанций с:	Количество значений ИПОкр
1	федеральной шкалой	1 значение ИПОкр для всего ПС
2	региональными шкалами	ИПОкр для каждого из 3-х подсезонов

Алгоритм нахождения ИПОкритический состоит из четырех этапов:

- формирование совокупности дней с одним пожаром за рассматриваемый подсезон (или весь ПС);
- определение значения ИПО в эти дни;

- вычисление среднего значения ИПО для совокупности дней с одним пожаром для рассматриваемого подсезона или всего ПС. Полученное значение является ИПОкритическим для рассматриваемого года;
- нахождение среднего многолетнего значения ИПОкритический за весь интервал лет с 2006 по 2009 гг. Вычисленное значение ИПОкритический используется для расчета вероятности по метеоусловиям для текущего года по формуле (3).

Принципиальная схема работы метода и полученные результаты

На рисунке 4 представлена принципиальная схема метода оценки вероятности возникновения лесных пожаров. Схема отражает исходные данные, основные операции над ними и полученные результаты. Как видно из схемы состав баз данных, которыми располагает ИСДМ, расширяется за счет создания БД вероятностей возникновения пожаров, включающей антропогенную, природную составляющую и вероятность по метеоусловиям. В БД содержатся таблицы значений вероятностей для текущего года, которые будут использоваться для расчетов вероятности в следующем году. Таким образом, реализуется ежегодное обновление значений вероятности.

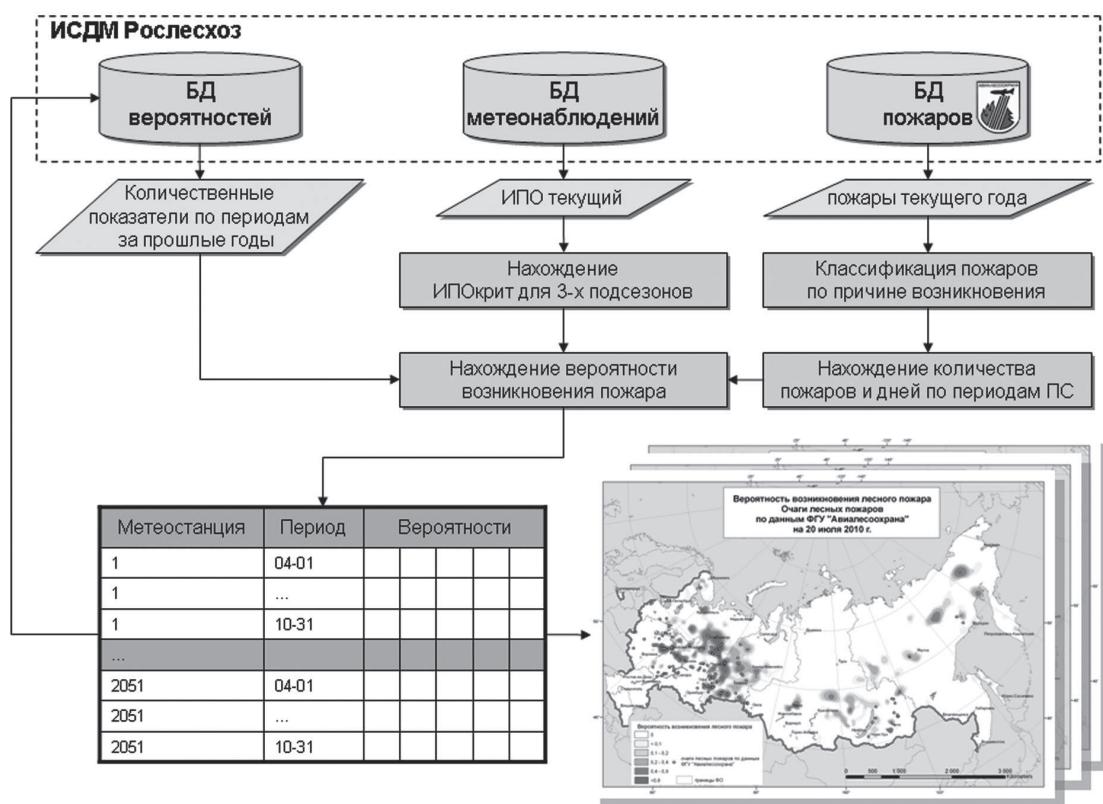


Рис. 4. Принципиальная схема метода оценки вероятности возникновения пожаров

Предварительная оценка полученных значений вероятности возникновения пожаров проводилась методом построения гистограммы распределения количества зарегистрированных пожаров по вероятностям за пожароопасный сезон 2010 г. (рис. 5). Оценка показала, что 48.2% пожаров зарегистрированы в дни с вероятностью возникновения пожара более 0.8. По мере убывания вероятности пожара получены следующие соотношения: 12.2%

пожаров – в интервале от 0.4 до 0.8; 6.5% – от 0.2 до 0.4; 3.4% – от 0.1 до 0.2; 3.2% – менее 0.1, но не равной нулю. Доля пожаров, зарегистрированных при нулевой вероятности, составила 26.5%.



Рис. 5. Распределение пожаров по вероятностям за пожароопасный сезон 2010 г.

Значения вероятностей, рассматриваемые в качестве результата работы метода, помимо табличной формы представления отображаются пространственно, для чего используется интерполяция методом сплайна. В результате интерполяции строится растровое изображение, которое оформляется в виде карты (рис. 6). Описанные операции будут проводиться ежедневно в течение ПС в автоматическом режиме. Доступ к картам будет осуществляться посредством информационного сервера ИСДМ (www.pushkino.aviales.ru).

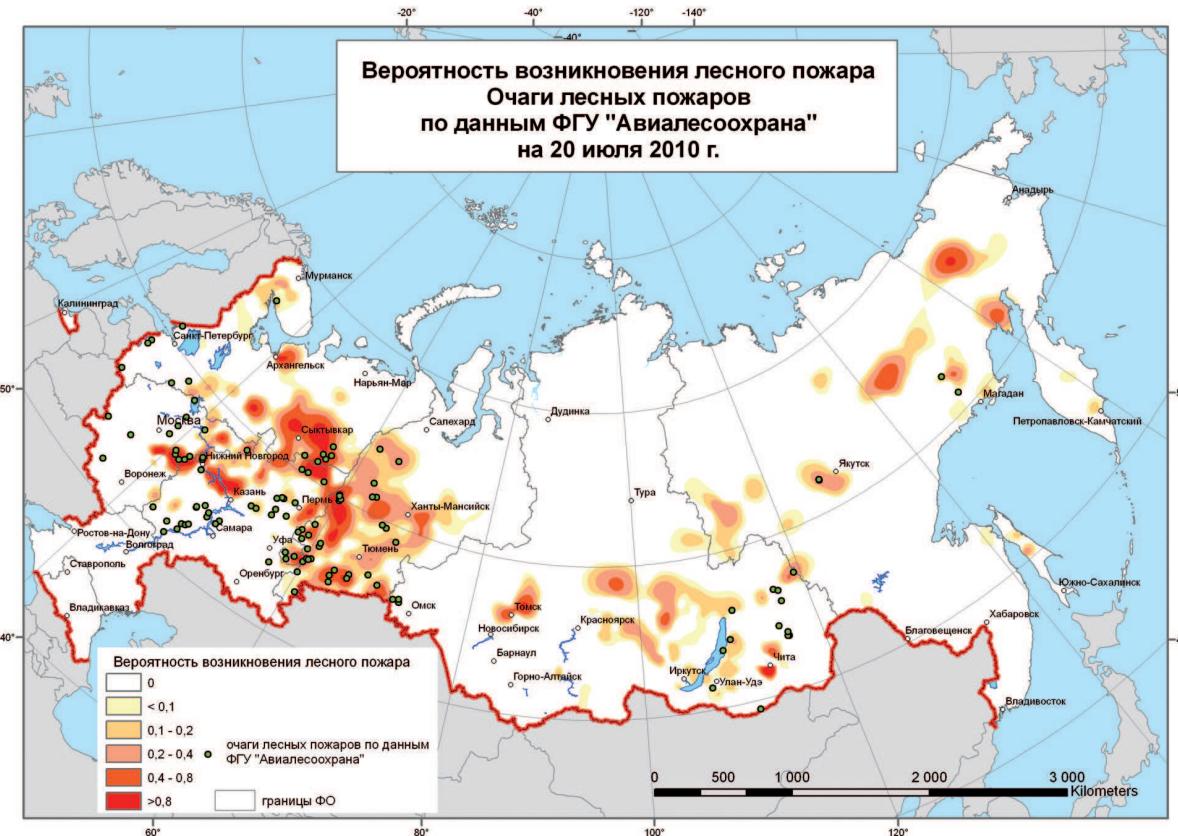


Рис. 6. Карта пространственного распределения вероятности возникновения пожаров на террииторию России по состоянию на 20 июля 2010 г.

На рисунке 6 приводится карта пространственного распределения вероятностей и очагов пожаров на 20 июля 2010 г. Согласно данным региональных служб на охраняемой территории за эти сутки зарегистрировано 124 очага лесных пожаров. Пространственная идентификация очагов пожаров относительно зон ответственности метеостанций показала, что 57.3% пожаров зарегистрированы на территориях с ненулевой вероятностью возникновения пожара. В тоже время, 42.7% пожаров возникли при нулевой вероятности. Большинство пожаров из этой совокупности не было спрогнозировано из-за отсутствия данных о пожарах за предыдущий многолетний период наблюдений. Эта ситуация корректируется на момент обновления базы данных вероятностей при подготовке к следующему пожароопасному сезону. Был проведен анализ значений вероятности в предыдущие 5 дней, который показал, что 59% этих пожаров было спрогнозировано в предыдущие дни.

Заключение

Полученные предварительные оценки сравнения горимости лесов в 2010 году с вероятностью возникновения пожаров показывает, что 73.5% (14302 очагов) пожаров спрогнозировано с различной степенью вероятности. Из них 48.2% (9382) соответствовало вероятности более 0,8. Однако в отдельные дни пожароопасного сезона количество пожаров, для которых не была дана оценка вероятности их возникновения, может достигать 40%. Это связано в основном с отсутствием данных по пожарам за предыдущий многолетний период наблюдения.

Совершенствование метода в рамках ИСДМ-Рослесхоз целесообразно осуществлять по следующим направлениям:

1. использование спутниковых данных для расчета ИПОкритического, позволяющие существенно расширить территорию прогнозирования возникновения пожаров;
2. привлечение данных грозопеленгации с целью их использования при нахождении количества дней с молниевыми разрядами;
3. расчет критических значений индексов пожарной опасности по методикам ПВ-1 и ПВ-2.
4. прогнозирование причины возникновения пожаров, детектированных по спутниковым данным в зоне ответственности метеостанции, в зависимости от значений антропогенной и природной составляющих вероятности.

Литература

1. *Барановский Н.В., Гришин А.М., Лоскутникова Т.П.* Информационно-прогностическая система определения вероятности возникновения лесных пожаров // Вычислительные технологии, 2003, № 2. С. 16-26.
2. *Барановский Н.В.* Математическое моделирование наиболее вероятных сценариев и условий возникновения лесных пожаров // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Томск, 2007. 20 с.
3. *Беляев А.И., Коровин Г.Н., Лупян Е.А.* Состояние и перспективы развития Российской системы дистанционного мониторинга лесных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2006. Т. 1. С. 341-350.
4. *Волокитина А.В., Софронов М.А.* Классификация и картографирование растительных горючих материалов // Новосибирск, из-во СО РАН, 2002 г., 306 с.

5. Гришин А.М., Фильков А.И. Прогноз возникновения и распространения лесных пожаров: Монография. – Кемерово: Изд-во Практика, 2005. – 202 с.
6. Котельников Р.В., Сементин В.Л., Щетинский В.Е., Барталев С.А., Галеев А.А., Ефремов В.Ю., Козочкина А.А., Крашенинникова Ю.С., Луяня Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Толтин В.А., Флитман Е.В., Ершов Д.В. Применение информационной системы дистанционного мониторинга «ИСДМ-Рослесхоз» для определения пожарной опасности в лесах Российской Федерации: Учебное пособие. г. Пушкино (МО): ФГУ «Авиалесоохрана», 2009-2010. – 140 с.
7. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 301 с.
8. Нестеров В.Г. Вопросы современного лесоводства. М.: Сельхозгиз, 1961.
9. Правила пожарной безопасности в лесах Российской Федерации (утв. постановлением Совета Министров – Правительства РФ от 9 сентября 1993 г. № 886) (с изменениями от 27 декабря 1994 г.)
10. Рекомендации по обнаружению и тушению лесных пожаров (утв. Рослесхозом 17 декабря 1997 г.)
11. Рекомендации по противопожарной профилактике в лесах и регламентации работы лесопожарных служб (утв. Рослесхозом 17 ноября 1997 г.)
12. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. М.: Финансы и статистика, 1998. 288 с.

Forest fire occurrence probability assessment: method and approach in Russian remote monitoring information system (ISDM-Rosleskhoz)

A. Podolskaya, D. Ershov, P. Shuliak

*Center for forest ecology and productivity RAS,
117997 Moscow, 84/32 Profsoyuznaya str.
e-mail: alexandra@ifi.rssi.ru*

The paper is sequential research of fire occurrence probability assessment method developing for the Remote Monitoring Information System (ISDM-Rosleskhoz). Some preliminary results were reported at the previous conferences of Space Research Institute RAS.

Deterministic-probability approach of prediction of the wildfire developed in Tomsk State University (Grishin et. al., 2003) is used as a test model to evaluate the probability of forest fire's occurrence. According to the model the probabilities a priori of such indicators as the anthropogenic load, the occurrence of fire due to anthropogenic load, the presence of dry thunderstorms and the forest fire appearance from a lightning discharge are determined by the events frequency. The a priori probabilities of anthropogenic and natural fires based on the long-term data of ground and air observations of forest fire service for the forest protected lands were calculated.

The Grishin's deterministic-probability approach uses physical and mathematical models described a time of drying forest fuel layers. Whereas the complexity of the model adjustment at the federal level for different forest vegetation conditions of Russia a time of fuel ignition also assessed via statistical approach. For each weather station a critical weather index was determined for three regional defined periods of fire season (spring, summer, autumn). The daily fire index danger is included in statistical analysis when confirmed by fire availability on that day. The long-term dataset of forest fires and Nesterov's fire danger indices have been used to calculate the critical weather index.

The quantitative values of anthropogenic and natural components of the model can be used also for the preliminary assessment of fires origins near weather stations. It is very important for the fires detected by satellite data. The forecast estimates of fires based on our approach and fires registered de facto during last fire period was compared in framework of present paper.

Keywords: forest fires probability, GIS technology, deterministic-probability approach.