

МЕТОД ПРОГНОЗА ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТРАВЯНЫХ ПОЖАРОВ

Разработан метод прогноза возникновения и распространения травяных пожаров в весенне-осенний период проведения сельскохозяйственных палов. Показана возможность использования метода на примере территории Еврейской автономной области РФ.

Ключевые слова: лесная пожарная опасность.

V.A. Glagolev

METHOD OF PREDICT THE EMERGENCE AND SPREAD OF GRASS FIRES

For the prediction of emergence and spread of grass fires in the spring and autumn period of carrying out agricultural palov developed a method. possibility of using the method by example of the Jewish Autonomous region of Russia was shown.

Key words: forest fire danger.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 5 мая 2017 г.

Проблемы прогноза и контролирования распространения **пожаров растительности** актуальны как для лесных, например, для бореальной зоны, так и для нелесных территорий, в первую очередь – для степей и лесостепей. В России возгорание нелесной растительности может происходить не только в степной и лесостепной зонах, но и в лесной, и лимитрофной (расположенных между ними) зонах вследствие не только природных, но и антропогенных факторов, связанных, в основном, с контролируемыми и неконтролируемыми выжиганиями сухой травы – так называемыми **сельскохозяйственными палами**, в осенний и весенний периоды. Трудность мониторинга нелесного фонда и ликвидации действующих палов связана с тем, что эти территории не закреплены за федеральными противопожарными организациями и тушение пожаров перекладывается на муниципальные и частные структуры, несмотря на то, что палы наносят значительный ущерб растительным экосистемам. Они нередко становятся причинами возникновения лесных и торфяных пожаров и наносят материальный ущерб предприятиям и населению.

В странах со значительной лесистостью создаются национальные и региональные системы оценки фактической и прогнозируемой пожарной опасности для лесных горючих материалов. Отечественные и зарубежные системы прогноза лесных пожаров основаны на двух подходах, во-первых, на использовании математических моделей аналитического типа, во-вторых, на экспериментально-статистических математических моделях [5]. В России, в основном, разрабатываются модели для прогноза скорости распространения лесных пожаров, их периметра и площади [3, 4, 6, 7]. Анализ закономерностей возникновения

и распространения травяных пожаров является предметом многолетних исследований в Австралии, где они подвергаются одному из основных природно-антропогенных эколого-экономических рисков [9]. Наиболее известная модель распространения нелесных пожаров на лугах и пастбищах предложена МакАртуром. Министерство природных ресурсов Канады использует систему моделирования и картография пожаров (Fire M3), которая предназначена для поиска активных пожаров растительности, оценки их площади и передачи данных в систему CWFIS [5]. Разработка системы прогноза возникновения и распространения нелесных пожаров на территории России не проводилась, и, в силу исторически сложившейся во многих регионах практики весенне-осеннего выжигания сухой травы, приобретает особую актуальность. Поэтому автором проведено исследование с целью создания системы прогноза возникновения травяных пожаров вследствие сельхозпалов и её использования для мониторинга, предупреждения и минимизации последствий пожаров травы (на примере территории южной части Дальневосточного Федерального округа России).

Горючесть материалов на основе травяной растительности, так называемых *степных горючих материалов (СГМ)*, отличается от горючести лесных материалов главным образом тем, что их готовность к горению зависит, в первую очередь, от фенологической фазы развития растений, а только затем от запасов, плотности, энергоемкости и погодных условий.

Горючесть определяется как свойствами самой травы (однолетняя, многолетняя, период вегетации, плотность проводников горения, степень высыхания, соотношение мёртвой и вегетирующей травы), так и условиями погоды, в определенные периоды играющими решающую роль в иницировании и пространственно-временном развитии пожаров.

Травяные растения проходят следующие фенологические фазы: всходы, весеннее отрастание, кущение, образование укороченных побегов и розеток, ветвление, выход в трубку, колошение, бутонизация, цветение, плодоношение и отмирание побегов.

Наиболее пожароуязвимыми являются фазы отмирания и переход растительности в состояние ветоши, которое заканчивается к началу зимнего периода, и период от отмирания побегов до появления всходов и весеннего отрастания. Остановимся на особенностях горения травяных материалов именно в эти периоды: по способности к воспламенению их можно отнести к проводникам горения, легковоспламеняющимся и быстрогорящим. При этом возрастает влияние погодных условий на степень высушивания вегетирующих растений, а также ветоши. Горение СГМ отличается от других природных пожаров скоростью распространения, большими размерами горельников, способностью изменять направление и преодолевать такие препятствия, как дороги, водотоки и противопожарные минерализованные полосы. Трава как проводник горения быстрее, чем другая растительность, реагирует на изменение климатических, сезонных и ежедневных погодных условий; как особый вид топлива она более подвержена возгоранию, чем горючие материалы, характерные для лесной, кустарниковой или смешанных типов растительности. Травяная растительность

быстро реагирует на изменение влажности воздуха в течение суток: очень сухая трава может поглощать влагу из воздуха в течение ночи и быстро терять её рано утром в сухую и ветреную погоду, то есть может находиться в состоянии "пожарной зрелости" в течение всего дневного периода суток с максимумом в период самой высокой дневной температуры. Наряду с традиционно учитываемыми для всех видов растительных горючих материалов погодными факторами (температура и влажность воздуха, количество осадков, их интенсивность), влияние скорости ветра многократно увеличивается. Ветер, и особенно его порывы, могут изменять степень высыхания травы, скорость и направление пожара, а также переход его из низового в верховой. Идеальные условия для пожаров травы, наряду с сухой погодой, возникают на сухой почве, что определяет пролонгированность её пожароуязвимого сезона, по сравнению с другими видами растительности.

Перечисленные особенности травяных горючих материалов учтены при разработке методики оценки вероятности возникновения и распространения сельскохозяйственных палов на лесные территории в условиях муссонного климата средних широт.

Материалами проведённого исследования были метеорологические элементы, включающие ежесуточные измерения направления и скорости ветра, дневной температуры воздуха и точки росы в 13-15 часов местного времени, суточного объёма осадков с 9 часов предыдущего дня до 9 часов текущего дня, а также прогнозы погоды общего пользования до 3 суток. Метеорологические данные предоставляют отечественные и зарубежные Интернет-службы: ГУ Гидрометцентра России (<http://meteoinfo.ru>); ИКИ РАН (<http://meteo.infospace.ru>); Научно-производственный центр "Мэп-Мейкер" (<http://gismeteo.ru>), Национальное агентство по воздухоплаванию и исследованию космического пространства NASA (<http://www.emc.ncep.noaa.gov>).

Информация о ежедневном местоположении травяных пожаров, а также плотности СГМ на участках нелесного фонда может быть получена по спутниковым снимкам с космического аппарата TERRA, передающего MODIS информацию в 36 спектральных каналах с разрешением 250 м на пиксель. Распознанные снимки находятся в общем доступе на сайте NASA (<http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov>) и ИСДМ-Рослесхоз "Авиалесоохрана" (<http://aviales.ru>). Для распознавания пожаров на снимках MODIS используется алгоритм MOD14 (Thermal Anomalies – Fires and Biomass Burning).

Спутниковые снимки спектрометра MODIS, полученные в красном (620-670 нм) и ближнем инфракрасном (841-876 нм) каналах (продукт MOD09), позволяют рассчитать вегетационный индекс NDVI, базирующийся на двух наиболее стабильных участках спектральной кривой отражения сосудистых растений. Для корректировки значений данного индекса, в случае фиксации территорий, покрытых облаками и тенями от облаков, предлагается использовать спутниковую информацию 1-6 каналов данного аппарата. С использованием ГИС ENVI 4.8 и GRASS 6.0 производится конвертация многоканальных снимков из иерархического формата данных HDF в формат GeoTIFF и последующий расчёт вегетационного индекса.

Сведения об антропогенных объектах содержат данные о местоположении населенных пунктов, количестве проживающих жителей в них по последней переписи населения России, размещении автомобильных, железнодорожных, охотничьих и туристических маршрутов, которые можно получить, используя статистические сборники и федеральные отчеты транспортной доступности субъектов РФ.

Метод расчёта возникновения и распространения травяных пожаров включает следующие этапы: определение временных периодов проведения сельскохозяйственных палов; ежедневное определение степени высыхания травяных горючих материалов в периоды проведения сельскохозяйственных палов; расчёт ежедневной пожарной опасности по условиям погоды и выделение дней, в которых возможно возникновение пожаров травы по метеорологическим условиям; расчёт вероятности возникновения травяных пожаров по природным и антропогенным факторам; ежедневный расчёт скорости распространения кромки травяных пожаров; расчёт времени вероятного распространения травяного пожара до ближайшего участка леса.

Сезон травяных палов может быть определен по фактическим среднегодовым данным либо по периодам вегетации. Автором предложено использовать предвегетационный, вегетационный и поствегетационный периоды, которые совпадают с датами устойчивого перехода через пороговые температуры: 0, +5, +10, +15 °C.

Для определения степени высыхания растительности в начале пред- и в конце поствегетационного периодов делается допущение о том, что вся трава находится в состоянии ветоши, и в сухие дни (суточное количество осадков в предыдущий, текущий и последующий день лежит в интервале 0 – менее 3 мм) количество сухого углерода приближается к 100 %. В остальное время для ежедневного определения состояния вегетации травы и степени её высыхания предлагается использовать вегетационный индекс **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)** – нормализованный относительный индекс растительности, который вычисляется по формуле (1):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

где *NIR* – отражение в ближней инфракрасной области спектра;

RED – отражение в красной области спектра.

Соответственно, плотность растительности (индекс *NDVI*) в определённой точке изображения равна разнице интенсивностей отражённого света в красном и инфракрасном диапазоне, деленной на сумму их интенсивностей [10].

Для расчёта фактических ежедневных показателей климатической пожарной опасности используется методика В.Г. Нестерова [1], в которой учитываются основные факторы погоды, влияющие на степень высыхания растительности: температура воздуха и точки росы, количество осадков.

Расчёт комплексного метеорологического показателя (P_i) проводится по формуле (2), при этом для Дальнего Востока России учитываются нулевые или небольшие отрицательные значения температуры воздуха, которые могут наблюдаться в начале и в конце пожароопасного сезона [1]:

$$P_i = \begin{cases} 0, & \text{при } t_i < 5^\circ\text{C} \text{ и } x_i > 3 \text{ мм/сут.}; \\ L_1(t_i, \tau_i), & \text{при } t_i \geq 5^\circ\text{C} \text{ и } x_i > 3 \text{ мм/сут.}; \\ 50 + P_{i-1}, & \text{при } t_i < 5^\circ\text{C} \text{ и } x_i \leq 3 \text{ мм/сут.}; \\ L_1(t_i, \tau_i) + P_{i-1}, & \text{при } t_i \geq 5^\circ\text{C} \text{ и } x_i \leq 3 \text{ мм/сут.}, \end{cases} \quad (2)$$

где t_i, τ_i – температура воздуха и точки росы в 13-15 ч. местного времени, $^\circ\text{C}$;
 x_i – суточное количество осадков с 9 часов предыдущего дня до 9 часов текущего дня, мм/сут.;

$L_1(t_i, \tau_i)$ – лесопожарный показатель засухи;

$i, i-1$ – индекс текущего и предыдущего дней.

Низший метеорологический порог возникновения пожаров растительности на каждой территории определяется эмпирическим путем. Например, для муссонных областей Дальнего Востока России он равен (или превышает) 300 единицам метеорологического показателя, поскольку при этих условиях возможно воспламенение растительности, относящейся к I классу пирологической опасности.

Алгоритм определения пожарной опасности нелесных участков основан на модифицированных детерминированно-вероятностных моделях прогноза возникновения пожаров растительности А.И. Филькова и Н.В. Барановского [5, 8]:

$$F_{i,j}(B) = \begin{cases} F_{i,j}(C)[(F_{i,j}(N)F_{i,j}(B/N) + F_{i,j}(M)F_{i,j}(B/M))] & \text{при } R_N \leq R_{кр}; \\ F_{i,j}(C)[(F_{i,j}(D)F_{i,j}(B/D) + F_{i,j}(M)F_{i,j}(B/M))] & \text{при } R_N > R_{кр}, \end{cases} \quad (3)$$

где i – день прогноза;

j – номер *операционно-территориальной единицы (ОТЕ)*;

$F_{i,j}(B)$ – вероятность возникновения пожара растительности;

$F_{i,j}(C)$ – вероятность возгорания растительности при определённом значении комплексного метеорологического показателя, которая определяется степенью пирологической опасности участков растительности по лесорастительным условиям;

$F_{i,j}(N), F_{i,j}(D)$ – вероятность появления антропогенного источника огня (от населения из ближайших населённых пунктов или прибывших по железным и автомобильным дорогам);

$F_{i,j}(B/N), F_{i,j}(B/D)$ – вероятность возгорания вследствие появления антропогенного источника огня;

$F_{i,j}(M)$ – вероятность появления природного источника огня (молний);

$F_{i,j}(B/M)$ – вероятность возгорания вследствие молний;

R_N – расстояние от ОТЕ до ближайшего населённого пункта.

Для восстановления комплексного метеорологического показателя в центре участков растительности используется массив ежедневных метеоданных и синоптических прогнозов гидрометеостанций: сведения о дневной температуре воздуха t , °C и точки росы τ , °C, направлении и скорости ветра v , м/с, суточном объёме осадков x , мм/сут., и их интенсивности int .

Для регламентации лесоохранных мероприятий для федеральных, муниципальных и частных организаций реализуются противопожарные рекомендации в виде электронных отчетов (документы, таблицы, карты): определение нелесных участков с вероятностью возникновения травяных пожаров – от 0,5 до 1; выявление дат с высокой пожарной опасностью, во время которых в определенных ОТЕ наблюдается наибольшая вероятность возникновения нелесных пожаров (свыше 0,6); определение времени вероятного распространения травяного пожара до границ лесного фонда и мест создания защитных полос вдоль лесного фонда.

Апробация предложенного метода проведена в течение пожароопасного сезона 2015 г. на примере территории **Еврейской автономной области (ЕАО)**. Площадь земель нелесного фонда территории области составляет 1382 тыс. га (38 %). Базовый период выбран с 2010 г. по 2014 г. Для выполнения расчётов созданы электронные карты лесного и нелесного фондов территории ЕАО. На первой карте представлена нерегулярная сеть из 3977 кварталов, которая соответствует плану лесоустройства "Лесничество ЕАО". На второй карте на территорию нелесного фонда наложена равномерная сеть ОТЕ в виде ячеек размером 2,5×2,5 км, общее количество ячеек – 2623. Размер ячейки выбирается таким образом, чтобы она содержала 100 пикселей спутникового снимка MODIS с разрешением 250 м. Комплексная электронная карта ОТЕ на территории ЕАО представлена на рис. 1.

Мониторинг погодных условий выполнялся по гидрометеостанциям области ("Биробиджан", "Екатерино-Никольское", "Ленинское", "Облучье" и "Смидович") и смежными в южной части Хабаровского края ("Бичевая", "Кур", "Сутур", "Троицкое", "Урми" и "Хабаровск").

При выполнении пространственных прогнозов возникновения травяных пожаров и расчёта скорости их распространения использовались данные ДЗЗ о нелесных пожарах, зафиксированные в период с 2010 г. по 2014 г. (рис. 2), а также сведения о значениях индекса NDVI в предвегетационный периоды с 23 апреля по 13 мая и с 24 сентября по 10 октября 2015 г. (рис. 3).

В весенний и осенний периоды значение индекса NDVI попиксельно рассчитано для 12 дней из 30, в большинстве снимков облачность покрывала 90 % территории. В каждой ОТЕ нелесного фонда путем выборки из таблицы "NDVI" БДПР соответствующих значений вложенных пикселей спутникового снимка определялось среднее значение вегетационного индекса (рис. 3).

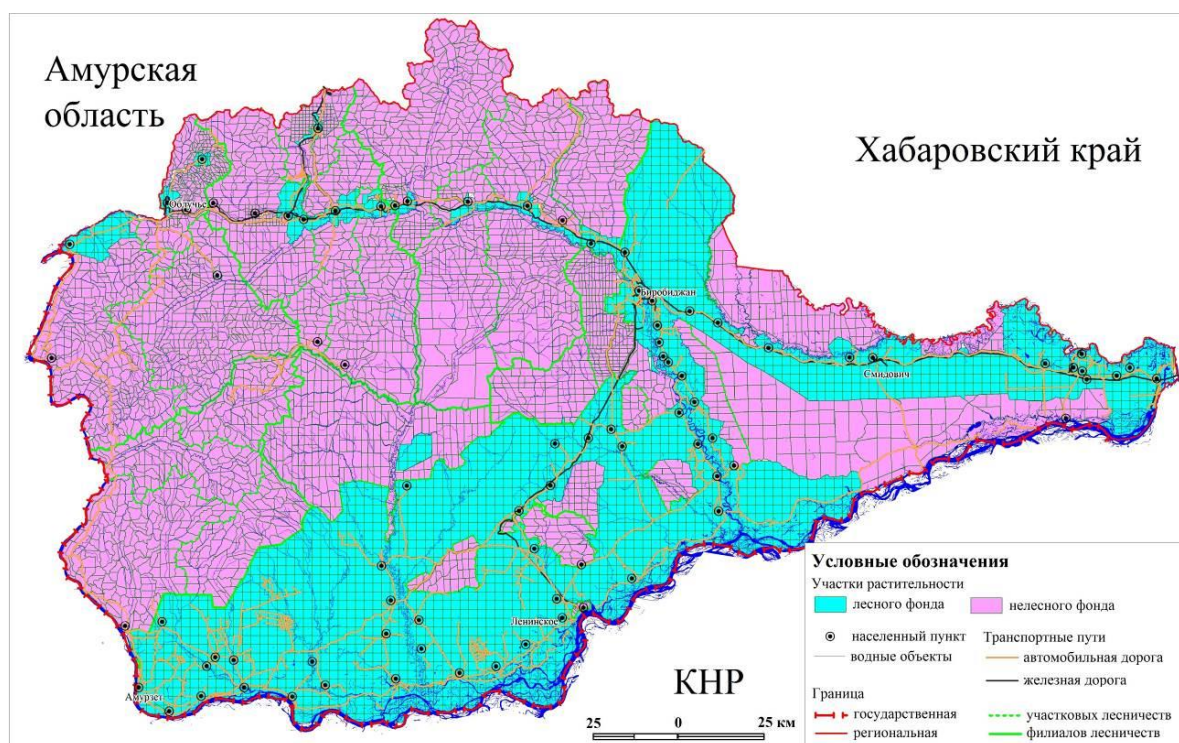


Рис. 1. Электронная карта операционно-территориальных единиц на территории Еврейской автономной области

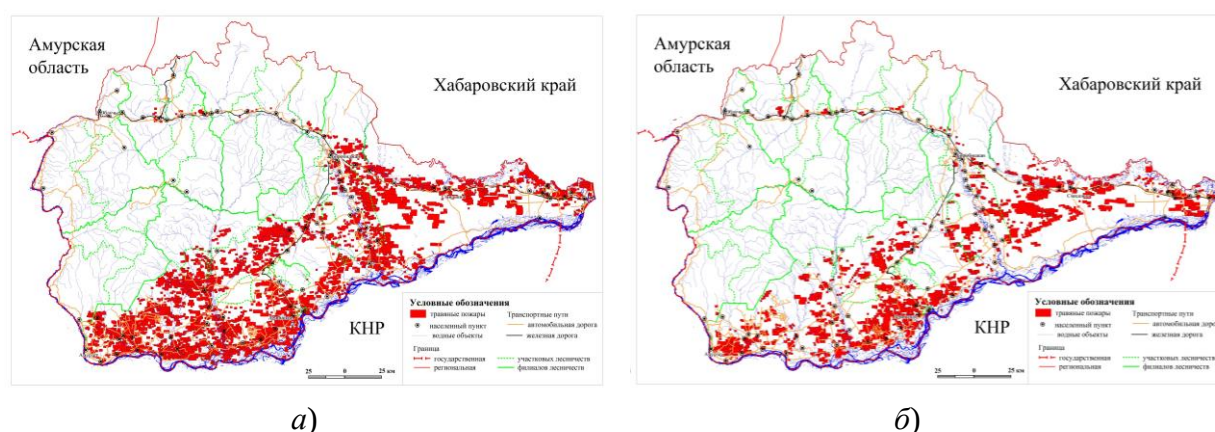


Рис. 2. Травяные пожары на территории ЕАО с 2010 г. по 2014 г.:
а – весенний, б – осенний периоды

Вероятность появления антропогенного источника огня от ближайших населенных пунктов или железных и автомобильных дорог определялась за базовый период, при этом наибольшее количество травяных пожаров наблюдается на расстоянии 3 км от дорожной сети (2714 случаев) и 3-6 км от населённого пункта (918 случаев).

На рис. 4 приведён пример прогноза возникновения травяных пожаров 22 апреля 2015 г., на нём показаны участки нелесного фонда с высокой вероятностью возникновения пожаров (более 0,6).

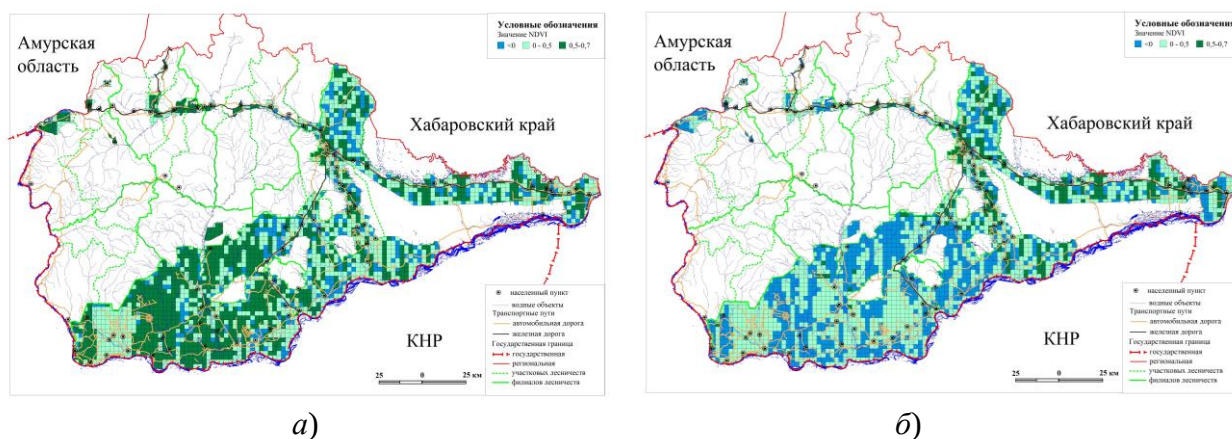


Рис. 3. Распределение индекса NDVI в весенний период на территории Еврейской автономной области:
а, б – 27, 28 апреля 2015 г.

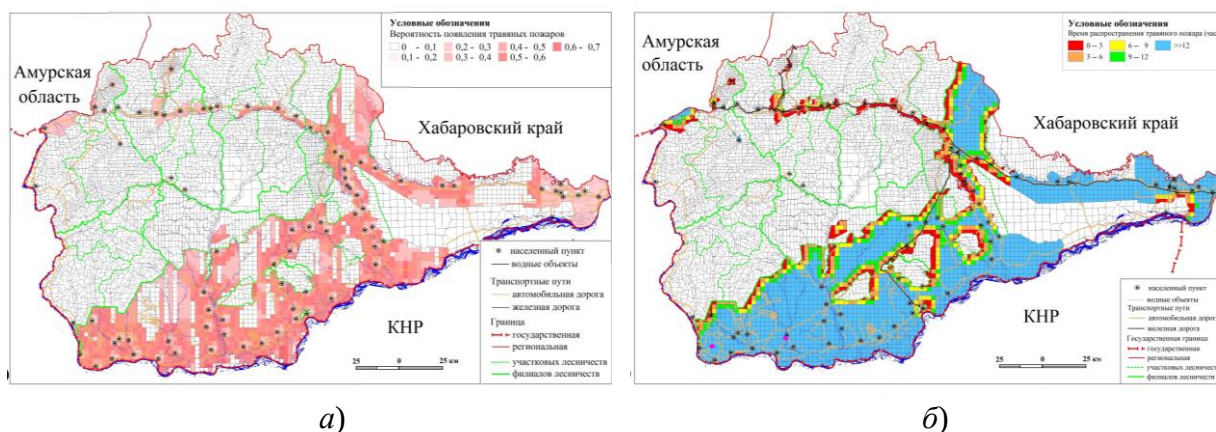


Рис. 4. Прогноз возникновения и время достижения травяных пожаров лесной территории на 22 апреля 2015 г.

Достоверность прогноза в весенний предвегетационный период составляет 55 %. В осенний период в связи с незначительным числом пожаров (8) проверка прогнозов не проводилась.

Таким образом, предложенный метод прогноза возникновения и распространения травяных пожаров имеет практическую значимость и может быть дополнительно использован для разработки противопожарных рекомендаций и мероприятий на территории субъектов РФ.

Литература

1. Глаголев В.А., Коган Р.М. Система пожарного мониторинга лесных участков Еврейской автономной области // Технологии техносферной безопасности. Вып. 5 (63). 2015. С. 104-112. <http://academygps.ru/ttb>.
2. Григорьева Е.А. Фенологические исследования в заповеднике "Бастак" // Проблемы региональной геоэкологии, 2009. № 6. С. 184-189.
3. Гришин А.М. Физика лесных пожаров. Томск: Томский университет, 1994. 218 с.
4. Доррер Г.А. Динамика лесных пожаров. Новосибирск: изд-во СО РАН, 2008. 404 с.
5. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. Новосибирск: СО РАН, 2009. 301 с.
6. Софронов М.А., Волокитина А.В., Софронова Т.М. Пожароуправление: учебное пособие для студентов специальности 260400 всех форм обучения. Красноярск: СибГТУ, 2005. 144 с.
7. Телицын Г.П., Карпов А.И., Попович С.В. Программный комплекс для моделирования процессов распространения и тушения лесных пожаров // Охрана лесов от пожаров в современных условиях: матер. межд. научн.-практ. конф. Хабаровск: изд-во ДальНИИЛХ, 2002. С. 151-153.
8. Фильков А.И. Детерминированно-вероятностная система прогноза лесной пожарной опасности: автореферат дис.... канд. физ.-мат. наук. Томск, 2005. 24 с.
9. McArthur, A.G. Weather and grassland fire behavior // Leaflet 100. Forestry and Timber Bureau. Commonwealth of Australia, 1966.
10. Verhulst, N., Govaerts, B. The normalized difference vegetation index (NDVI) Green-SeekerTM handheld sensor: Toward the integrated evaluation of crop management. Part A: Concepts and case studies. 2010. Mexico, D.F.; CIMMYT. 14 p.

References

1. Glagolev V.A., Kogan R.M. Sistema pozhnogo monitoringa lesnykh uchastkov Evreiskoi avtonomnoi oblasti (System fire monitoring forest areas of the Jewish Autonomous region) // Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti. Vyp. 5 (63). 2015. Pp. 104-112. <http://academygps.ru/ttb>.
2. Grigoreva E.A. Fenologicheskie issledovaniia v zapovednike "Bastak" (Phenological research in the reserve "Bastak") // Problemy regionalnoi geoekologii, 2009. No 6. S. 184-189.
3. Grishin A.M. Fizika lesnykh pozharov (Physics of forest fires). Tomsk: Tomskii universitet, 1994. 218 p.
4. Dorrer G.A. Dinamika lesnykh pozharov (Dynamics of forest fires). Novosibirsk: izd-vo SO RAN, 2008. 404 p.
5. Kuznetsov G.V., Baranovskii N.V. Prognoz vzniknoveniia lesnykh pozharov i ikh ekologicheskikh posledstvi (Forecast of forest fires and their environmental impacts). Novosibirsk: SO RAN, 2009. 301 p.
6. Sofronov M.A., Volokitina A.V., Sofronova T.M. Pozharoupravlenie (Fire management): uchebnoe posobie dlia studentov spetsialnosti 260400 vseh form obucheniia. Krasnoiarsk: SibGTU, 2005. 144 p.
7. Telitsyn G.P., Karpov A.I., Popovich S.V. Programmnyi kompleks dlia modelirovaniia protsessov rasprostraneniia i tusheniia lesnykh pozharov (Software package for the simulation of the propagation and suppression of forest fires) // Okhrana lesov ot pozharov v sovremennykh usloviakh: mater. mezhd. nauchn.-prakt. konf. Khabarovsk: izd-vo DalNIILKh, 2002. Pp. 151-153.
8. Filkov A.I. Determinirovanno-veroiatnostnaia sistema prognoza lesnoi pozharnoi opasnosti: avtoreferat dis.... kand. fiz.-mat. nauk. Tomsk, 2005. 24 p.
9. McArthur, A.G. Weather and grassland fire behavior // Leaflet 100. Forestry and Timber Bureau. Commonwealth of Australia, 1966.
10. Verhulst, N., Govaerts, B. The normalized difference vegetation index (NDVI) Green-SeekerTM handheld sensor: Toward the integrated evaluation of crop management. Part A: Concepts and case studies. 2010. Mexico, D.F.; CIMMYT. 14 p.