

ПРОГНОЗ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТРАВЯНЫХ ПОЖАРОВ НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ ЕВРЕЙСКОЙ АВТОНОМНОЙ ОБЛАСТИ

В.А. Глаголев

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,
ул. Шолом-Алейхема 4, г. Биробиджан, 679016,
e-mail: glagolev-jar@yandex.ru

Предложен разработанный метод прогноза возникновения и распространения травяных пожаров, особенно сельскохозяйственных палов, основанный на авторской вероятностной модели прогноза возникновения и австралийской модели прогноза распространения нелесных пожаров МакАртура, и проведена ее верификация на территории Еврейской автономной области. Показано, что предложенный метод имеет практическую значимость и может быть дополнительно использован для разработки противопожарных мероприятий на территории регионов Дальнего Востока России.

Ключевые слова: пожарная опасность растительности, травяные пожары, метод, прогноз.

Введение

В последнее время актуальны проблемы прогноза и контролирования травяных пожаров для нелесных территорий, граничащих с территорией лесного фонда. Трудоемкость мониторинга данной территории, особенно предупреждение и ликвидация действующих сельскохозяйственных 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 они наносят значительный ущерб растительным экосистемам [18], нередко становятся причинами возникновения лесных и торфяных пожаров.

Отечественные и зарубежные системы прогноза возникновения и распространения пожаров основаны на использовании математических моделей аналитического типа и на экспериментально-статистических. В России представлены в основном модели для прогнозирования скорости распространения лесных пожаров, их периметра и площади, например [5, 6, 12, 14]. Наиболее известная модель распространения нелесных пожаров на лугах и пастбищах предложена МакАртуром на основе специальных таблиц природных условий юго-восточной Австралии [16]. Министерство природных ресурсов Канады использует систему моделирования и картографии пожаров Fire M3, которая предназначена для поиска активных пожаров растительности, оценки их площади и передачи данных в систему CWFIS [7]. Разработка и апробация систем прогноза распространения нелесных пожаров, которые являются причиной

перехода огня на лесной фонд, на территории РФ не проводилась, и в силу этого приобретает особую актуальность. Поэтому целью данного исследования является разработка метода прогноза вероятности возникновения травяных пожаров и их распространения на примере муссонного климата средних широт (южная часть Дальневосточного федерального округа) на территории Еврейской автономной области.

Метод расчета вероятности возникновения и распространения травяных пожаров

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

Сезон травяных палов определяется по фактическим среднегодовым данным либо по периодам вегетации (предвегетационный, вегетационный и поствегетационный), которые совпадают с датами устойчивого перехода через пороговые температуры воздуха: 0, +5, +10, +15 °С.

Для определения степени высыхания растительности в начале пред- и в конце поствегетационного периодов применяется допущение о том,

что вся трава находится в состоянии ветоши, и в сухие дни (суточное количество осадков в предыдущий, текущий и последующий дни лежит в интервале 0 – менее 3 мм) количество сухого углерода увеличивается. При этом максимальное содержание сухой травы (c) на участках нелесного фонда (100%) достигается в период устойчивого перехода температуры воздуха от 0 до +5 °C [4]. В другие периоды содержание сухой травы на участках определяется по значениям вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), который рассчитывается по данным дистанционного зондирования:

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

где NIR , RED – интенсивность отражения света в определенной точке изображения (пикселя) в ближней инфракрасной и красной областях спектра [9, 19]. Благодаря особенностям отражения в областях спектра природные объекты, не связанные с растительностью, имеют фиксированные значения индекса: -0,5 – искусственные материалы (бетон, асфальт); -0,25 – вода; -0,05 – снег и лед; 0 – облака; 0,025 – открытая почва; от 0,5 до 0,7 – разряженная растительность; от 0,7 до 1 – густая растительность. В случае, если участок нелесного фонда содержит пиксели со значениями от 0,5 до 0,7, то c равно 50%; от 0,7 до 1 – 0%.

Для расчета фактического ежедневного комплексного метеорологического показателя (P_i) используется методика В.Г. Нестерова [8], в которой учитываются основные факторы погоды, влияющие на степень высыхания растительности (формула № 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 [10]:

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

где t_i , τ_i – температура воздуха и точки росы в 13–15 ч местного времени, °C; x_i – суточное количество осадков с 9 ч предыдущего дня до 9 ч текущего дня, мм/сут.; $L_i(t_i, \tau_i)$ – лесопожарный показатель засухи, $i, i-1$ – индекс текущего и пре-

дыдущего дня.

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 [11, 13].

Прогноз вероятности возникновения травяных пожаров проводится по модифицированным детерминированно-вероятностным моделям А.И. Филькова и Н.В. Барановского [1, 2, 15]:

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

где i – день прогноза; j – номер операционно-территориальной единицы (ОТЕ), представляющей собой точку изображения ДЗЗ (пиксель); $F_{i,j}(B)$ – вероятность возникновения пожаров растительности; $F_{i,j}(C)$ – вероятность возгорания растительности при определенном 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 ближайших населенных пунктов или железных и автомобильных дорог; $F_{i,j}(B/N)$, $F_{i,j}(B/D)$ – вероятность возгорания вследствие появления антропогенного источника огня; $F_{i,j}(M)$ – вероятность появления природного источника (молний); $F_{i,j}(B/M)$ – вероятность возгорания вследствие появления природного источника огня, молний; R_N – расстояние от ОТЕ до ближайшего населенного пункта. События N , D и M образуют полную группу несовместных событий, которые рассчитываются по частотным характеристикам [3].

Вероятность $F_{i,j}(C)$ горимости растительности в j -ом участке по погодным и лесорастительным условиям в i -ый день (событие C) равна единице, если показатель P_i равен или превышает $P_{кр}$, либо вычисляется по формуле:

$$F_{i,j}(C) = \begin{cases} \frac{P_i}{P_{кр}}, & \text{нпу } P_i < P_{кр} \\ 1, & \text{нпу } P_i \geq P_{кр} \end{cases}, \quad (4)$$

где P_i – значение комплексного показателя в i -ый день, $P_{кр}$ – минимальное значение комплексного показателя, при котором возможно появление пожаров на данном участке.

Для расчета скорости распространения травяного пожара (w , м/с) использован метод Макарура (mk4) для луговых территорий [18]:

$$w = 0.26e^{5.01 \lg(c+0.001) - 2.6 + 0.028t - 0.226\sqrt{h} + 0.633\sqrt{v}} \quad (5)$$

где rh (*relative humidity*), % – относительная влажность воздуха; c , % – содержание сухой травы, v – скорость ветра, м/с.

Относительная влажность воздуха rh (%) рассчитывается при положительной температуре воздуха t и точки росы τ :

$$rh_i = 100 \frac{P_s(\tau)}{P_s(t)} \quad (6)$$

где P_s – давление насыщенного пара для соответствующей температуры, которое может быть вычислено по формуле Ардена Бака [17]:

$$P_s = 6.1121e^{\frac{(18.678 - t / 234.5)t}{257.14 + t}}$$

Для отрицательных температур воздуха используется другая формула Ардена Бака:

$$P_s = 6.1115e^{\frac{(23.036 - t / 333.7)t}{279.82 + t}}$$

Расчет времени «добегания» травяного пожара до ближайшей лесной территории определяется исходя из скорости распространения горения и расстояния до кромки леса.

Результаты и обсуждения

Апробация предложенной системы 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 по 2014 гг. Для выполнения расчетов созданы электронные карты лесного и нелесного фонда территории ЕАО (рис. 1). На территорию нелесного фонда наложена равномерная сеть ОТЕ в виде ячеек размером 2,5x2,5 км, общее количество ячеек – 2623, размер ячейки выбирается таким образом, чтобы она содержала 100 пикселей спутникового снимка MODIS с разрешением 250 м.

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

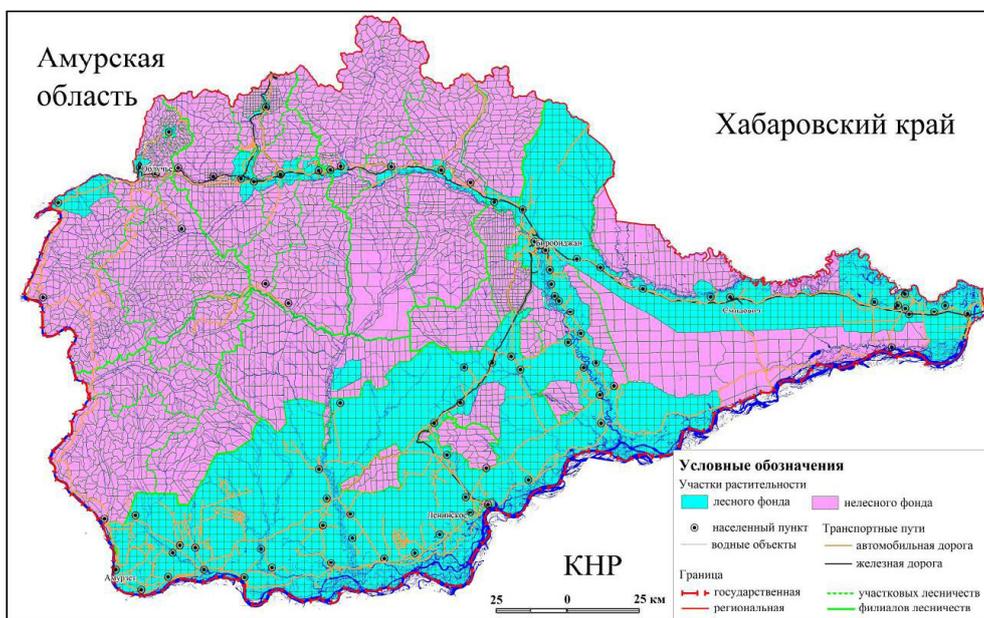


Рис. 1. Электронная карта операционно-территориальных единиц на территории Еврейской автономной области

Fig. 1. Electronic map of operational and territorial units in the Jewish Autonomous Region

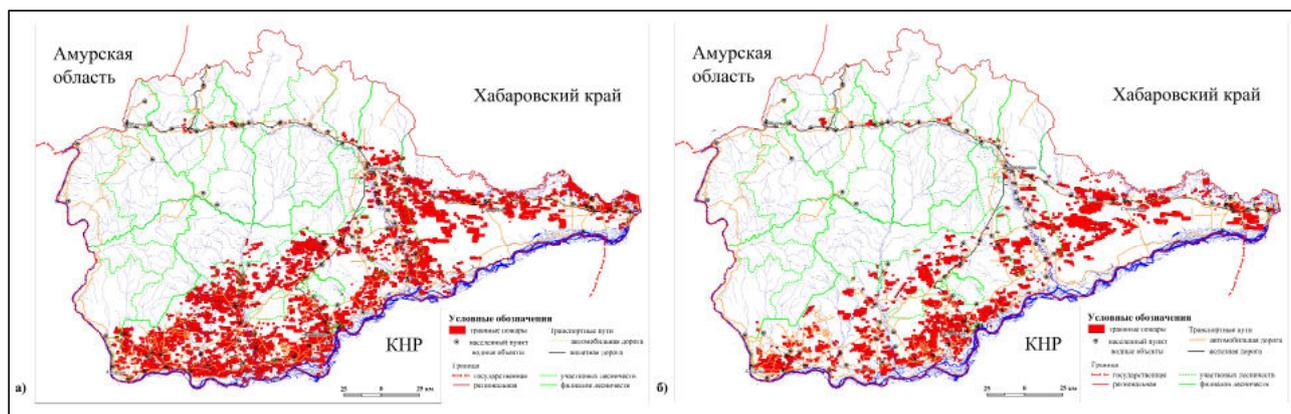


Рис. 2. Травяные пожары на территории Еврейской автономной области с 2010 по 2014 гг. (а – весенний, б – осенний периоды)

Fig. 2. Grass fires in the Jewish Autonomous Region from 2010 to 2014 (a – spring, b – autumn)

При выполнении расчетов использовались сведения о травяных пожарах, обнаруженных в период с 2010 по 2014 гг. по данным ДЗЗ с космического аппарата TERRA, передающего MODIS информацию в 36 спектральных каналах с разрешением 250, 500, 1000 м на пиксель. Снимки находятся в общем доступе на сайте NASA <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov>. (рис. 2). В силу того, что нелесные пожары фиксируются только по данным ДЗЗ, для их отнесения к нелесной территории можно воспользоваться соотношением площади нелесной и лесной частей горельника, при этом нелесная площадь должна преобладать над лесной в пределах 70–100%.

Данные снимков ДЗЗ, полученные в крас-

ном (620–670 нм) и ближнем инфракрасном (841–876 нм) каналах (продукт MOD09GQK), позволили рассчитать вегетационный индекс NDVI в весенний и осенний периоды с 23 апреля по 13 мая и с 24 сентября по 10 октября 2015 г. Ниже на рис. 3 представлены сведения о значениях индекса NDVI на 27 апреля, в данное время выявлено 3 возгорания, а 28 апреля наблюдается тенденция движения в сторону лесного фонда и переход на его территорию.

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 соответствующих значений

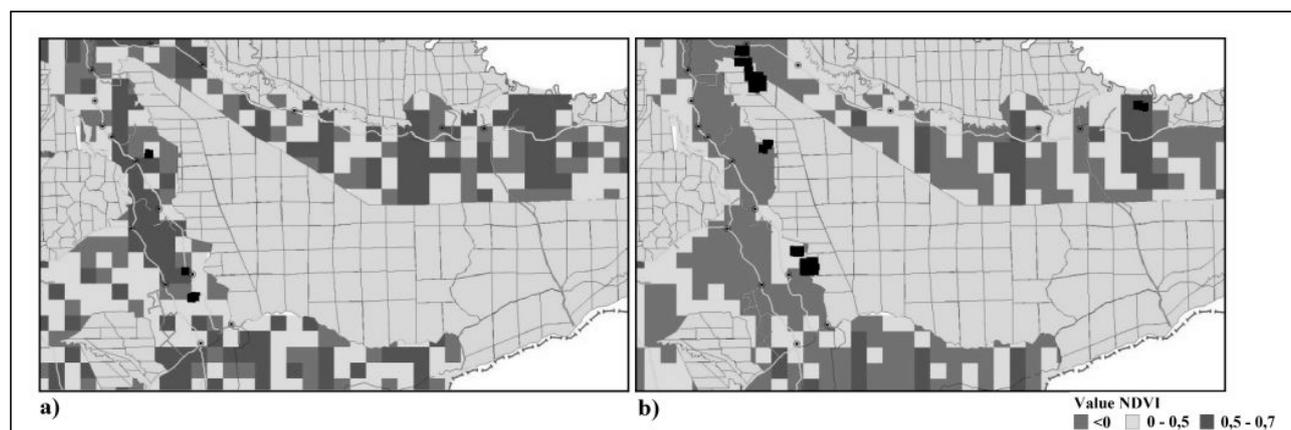


Рис. 3. Распределение значений индекса NDVI и травяных пожаров по данным MODIS на территории Биробиджанского лесхоза Еврейской автономной области (а, б – 27 и 28 апреля 2015 г.) (чёрным цветом выделены термальные аномалии)

Fig. 3. Distribution of the values of NDVI and grass fires according to MODIS in the Birobidzhan forestry of the Jewish Autonomous Region (a – April 27 and b – April 28, 2015) (thermal anomalies are marked in black)

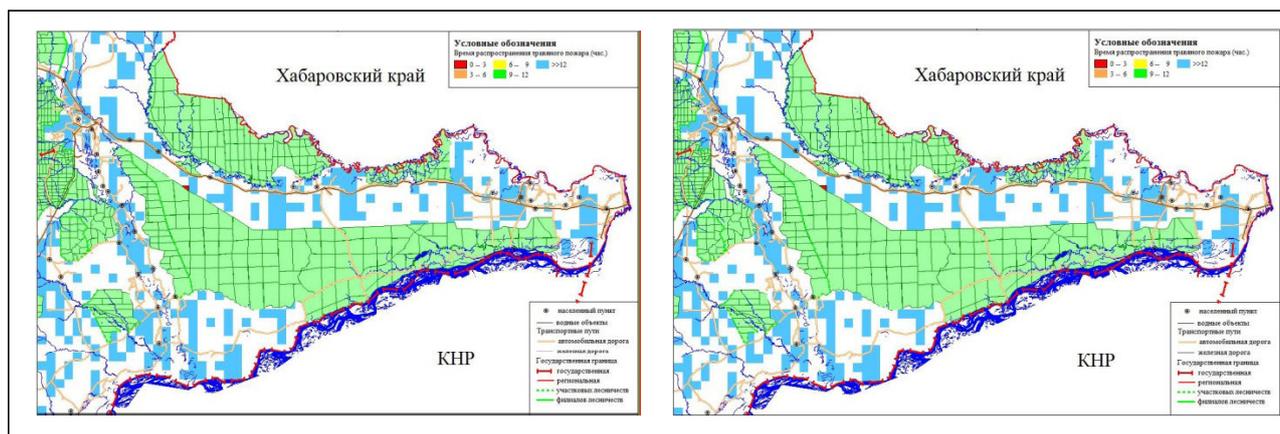


Рис. 4. Прогноз возникновения травяных пожаров и время их достижения лесной территории Биробиджанского лесхоза Еврейской автономной области на 27 апреля 2015 г.

Fig. 4. Forecast of grass fires and the time for them to reach the Birobidzhan forest area in the Jewish Autonomous Region, made for April 27, 2015

вложенных пикселей спутникового снимка определялось среднее значение вегетационного индекса.

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 населенного пункта (918 случаев).

Пространственное совпадение количества ОТЕ фактических и прогнозируемых травяных пожаров в весенний период считается удовлетворительным. Так, в случае, если участки растительности выбираются с порогом вероятности 0,5–0,6, то по критерию Стьюдента, при 5% значимости, можно утверждать, что достоверных различий между фактическими и прогнозными значениями не обнаружено.

На рис. 4 показана вероятность возникновения пожаров на участках растительности нелесного фонда 27 апреля и скорость добегания этих предполагаемых пожаров до участков лесного фонда. В большинстве случаев время добегания составляет более 12 часов с учетом скорости ветра и погодных условий. Так как 27 апреля некоторые участки были перекрыты облачностью, а также за предыдущие дни вегетационного периода значение NDVI на этих участках не фиксировалось, на карте эти места отражены белым цветом.

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

Таким образом, предложенный метод про-

гноза 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. Барановский Н.В. Математическое моделирование наиболее вероятностных сценариев и условий возникновения лесных пожаров: автореф. дис.... канд. физ.-мат. наук. Томск, 2007. 19 с.
2. Глаголев В.А. Создание баз данных для оценки и прогноза пожарной опасности растительности по природно-антропогенным условиям // Региональные проблемы. 2014. Т. 17, № 2. С. 78–83.
3. Глаголев В.А., Коган Р.М. Система пожарного мониторинга лесных участков Еврейской автономной области // Технологии техносферной безопасности: научный интернет – журнал, 2015. Вып. 5 (63). С. 1–9. URL: <http://ipb.mos.ru/ttb/2015-5/2015-5.html> (дата обращения: 11.04.2018).
4. Григорьева Е.А. Фенологические исследования в заповеднике «Бастак» // Проблемы региональной геоэкологии. 2009. № 6. С. 184–189.
5. Гришин А.М. Физика лесных пожаров. Томск: Томский ун-т, 1994. 218 с.
6. Доррер Г.А. Динамика лесных пожаров. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 404 с.
7. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. Новосибирск: СО РАН, 2009. 301 с.

8. Нестеров В.Г., Гриценко М.В., Шабунина Т.А. Использование температуры точки росы при расчете показателя горимости леса // Гидрология и метеорология. 1968. № 9. С. 102–104.
9. Пугачева И.Ю., Шевырногов А.П. Изучение динамики NDVI посевов сельскохозяйственных культур на территории Красноярского края и республики Хакасия // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: сб. тез. конф. Пятая юбилейная открытая всерос. конф. М.: ИКИ РАН, 2007. С. 347–351.
10. Рекомендации по охране лесов от пожаров в районах Дальнего Востока / сост. Г.П. Телицын, Т.В. Костырина, А.М. Стародумов, М.А. Шешуков. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1978. 34 с.
11. Современное состояние лесов российского Дальнего Востока и перспективы их использования. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2009. 470 с.
12. Софронов М.А., Волокитина А.В., Софронова Т.М. Пожароуправление: учеб. пособ. для студентов специальности 260400 всех форм обучения. Красноярск: СибГТУ, 2005. 144 с.
13. Стародумов А.М. Шкала пожарной опасности погоды для условий Хабаровского края, Приморья и Амурской области // Сборник трудов ДальНИИЛХ. 1964. № 6. С. 176–185.
14. 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: междунар. практич. конф. г. Хабаровск, 27–29 марта 2002 г. Хабаровск, 2002. С. 151–153.
15. Фильков А.И. Детерминированно-вероятностная система прогноза лесной пожарной опасности: автореф. дис.... канд. физ.-мат. наук. Томск, 2005. 24 с.
16. Ходаков В.Е., Жарикова М.В. Лесные пожары: методы исследования. Херсон: Гринь Д.С., 2011. 410 с.
17. Buck A.L. New equations for computing vapor pressure and enhancement factor // Journal of Applied Meteorology and Climatology. 1981. N 20. P.1527–1532.
18. McArthur A.G. Weather and grassland fire behavior // Leaflet 100. Forestry and Timber Bureau. Commonwealth of Australia, 1966.
19. Verhulst N., Govaerts B. The normalized difference vegetation index (NDVI) GreenSeeker™ handheld sensor: Toward the integrated evaluation of crop management. Part A: Concepts and case studies. Mexico, D.F.; CIMMYT. 2010. 14 p.

PREDICTING THE EMERGENCE AND SPREAD OF GRASS FIRES – ON THE EXAMPLE OF JEWISH AUTONOMOUS REGION

V.A. Glagolev

The author offers the developed method of the occurrence and distribution of grass fires forecast, especially of agricultural fires. The method is based on the author's probabilistic model of the occurrence forecast, and on the Australian MacArthur's model of the spread forecast of non-forest fire and verified in the territory of the Jewish Autonomous region. The proposed method proves to be of practical importance and good for the development of fire-fighting measures in the Far East of Russia.

Keywords: fire danger of vegetation, grass fires, method, forecast.