

Система пространственного прогноза возникновения пожаров по погодным и лесорастительным условиям

Р.М. Коган, заведующая лабораторией региональной геоэкологии, канд. хим. наук, доцент

В.А. Глаголев, младший научный сотрудник

Институт комплексного анализа региональных проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук

e-mail: koganrm@mail.ru

Ключевые слова:

растительность,
пожары,
прогноз,
детерминированно-вероятностная модель.

Разработана система пространственного прогноза возникновения пожаров с учетом погодных и пирологических характеристик растительности на основе вероятностно-детерминированной модели, высокая достоверность которой подтверждена на территории юга Дальнего Востока России.

1. Введение

Пожары растительности относятся к процессам, которые происходят на значительных территориях на протяжении многих лет и оказывают большое влияние на эколого-экономическое состояние регионов, расположенных в разных странах и континентах. Поэтому проблему предупреждения, ликвидации и минимизации последствий пожаров следует отнести к мировым. Для ее решения исследуются много аспекты закономерности горения растительности, разрабатываются эмпирические (статистические) полуэмпирические (физико-статистические) и вероятностные методы прогноза их возникновения, которые различаются набором исходных данных, принципами, схемами и моделями расчета, заблаговременностью и эффективностью прогнозов [1, 2, 3, 4].

Наиболее известные схемы реализованы в Европе, Америке и Австралии. Например, канадская CFFDRS [5,6,7], американская NFDRS [8,9], французская Numerical Risk [10], австралийская FDRS [11], испанская DER [12], итальянские IMPI и IREPI INDEX [13], португальская PORT [14], финская FFMI [15] и др. Содержащиеся в них блоки прогноза пожаров основаны на регрессионных, логических регрессионных и вероятностных моделях [16, 17] и предполагают использование большого комплекса метеорологических данных, сведений о типах, запасах, влажности различных слоев живых и мертвых растительных горючих материалов (РГМ) и почвы.

В России разрабатываются детерминированно-вероятностные методы, в которых рассчитываются

три составляющие: вероятность возникновения пожаров по метеоусловиям, по природным (молнии) и антропогенным источникам различного происхождения [3,18]. Вероятностные члены оцениваются через частоту событий по статистическим данным за базовый период, детерминированные основаны на физических моделях низкотемпературной сушки [4].

Основная проблема состоит в расчете первой составляющей, поскольку для этого нужно использовать переменные во времени данные о физическом состоянии слоев РГМ (плотности, теплоемкости, объемной доли сухого органического вещества), которые трудно определить и прогнозировать даже на небольших территориях вследствие их сложного состава и неоднородности пирологических свойств. Поэтому примеры применения данной методики приведены для гипотетических лесных участков [18] или для реальных территорий, но при выделении одного типа проводника горения [3]. Интересный подход к устранению этой проблемы предпринят в [2], где определено среднее значение метеорологического показателя пожарной опасности, при котором возникли пожары. Однако в нем не учтено изменение пирологических свойства растительности в течение пожароопасного сезона, что уменьшило достоверность прогноза. Поэтому целью работы является разработка системы пространственного прогноза возникновения пожаров растительности с учетом погодных условий и внутрисезонных изменений пирологических характеристик растительности для оптимизации противопожарного мониторинга.

2. Материалы и методики

Исходные данные представлены двумя информационными потоками:

- ежедневные метеоданные и синоптические прогнозы, включающие сведения, необходимые для расчета показателей пожарной опасности по условиям погоды, реестр которых зависит от используемой методики;
- сведения о пожарах растительности за текущий и базовый периоды.

Расчет ежедневных показателей фактической пожарной опасности производится по методу В. Нестерова [19], который применяется в системе «ИСДМ – Рослесхоз» [20], или его модификаций, предложенных для некоторых регионов [21, 22, 23] на основе уравнений (1)-(2):

$$L_i = f(t, \tau, d, E_p, E_r, K_v, K(x_i)), \quad (1)$$

$$P_i = L_i + P_{i-1} \times K(x_i), \quad (2)$$

где L_p , P_i – лесопожарный и комплексный показатели; t – дневная температура воздуха, °С; τ – дневная температура точки росы, °С; d – дефицит влажности, Па; E_p , E_r – упругость насыщенных паров при разных температурах, Па; K_v – коэффициент, зависящий от скорости ветра, $K(x_i)$ – коэффициент, зависящий от суточного объема осадков x_i – суточный объем осадков, мм/сут.

Расчет прогнозного значения лесопожарного показателя L_{i+n} на $i+n$ -й день в зоне репрезентативности гидрометеостанций (ГМС) проводится по корреляционным уравнениям между значениями L_i в особо опасные «сухие» дни и дневной температурой воздуха t °С для каждого месяца пожароопасного сезона на основании ежедневных метеоданных за базовый период 30–50 лет [24]. К «сухим» отнесены дни, в которых не отмечался дождь или количество осадков не превышало 3 мм/сут., которым предшествовали и за которыми следовали сутки без дождя или с осадками в этом объеме. Выбор уравнений основан на статистических критериях: коэффициенте корреляции (r), стандартной ошибке коэффициента парной корреляции (σ_r), остаточной дисперсии парной корреляции (D), аппроксимации ошибки парной корреляции при выполнении условий, обязательных для гидрометеорологических прогнозов: фактический критерий Фишера (F) должен быть больше критического значения и $r \geq 0,7$ и $|r|/\sigma_r \geq 2$.

Вне зоны репрезентативности ГМС производится интерполяция значений L_i . Метод интерполяции выбирается из группы детерминистических или геостатистических данных с географической привязкой по минимальному значению среднеквадратической

ошибки $RMSE_m$ [25] (4) и наибольшей величине коэффициента эффективности E_m (5) при выполнении условия $0,5 \leq E_m \leq 1$ [26]:

$$RMSE_m = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (L_i - L_m)^2} \quad (3)$$

$$E_m = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (L_i - L_m)^2}{\sum_{i=1}^N (L_i - \bar{L})^2}, \quad (4)$$

где N – количество ежедневных расчетов; L_{in} – ежедневные значения интерполяционного лесопожарного показателя засухи; \bar{L} – среднее значение фактического лесопожарного показателя засухи.

Расчет прогнозируемых значений комплексного показателя L_{i+n} производится аналогично методу В.Нестерова [19] по уравнениям (3) и (4).

Комплексный показатель P_{i+n} на $i+n$ -й день прогнозируется на основе разработанных нами кодов синоптических терминов интенсивности осадков (int) и системы уравнений, аналогичных уравнению В. Нестерова для расчета фактических значений P_i . Принцип их использования показан в табл. 1 на примере трехдневного прогноза. Класс метеорологической пожарной опасности определяется по общероссийским или региональным шкалам [27].

Метеоданные для прогноза используются по следующей схеме: для прогноза на $i+n$ период последовательно выбираются данные каждого $i+n$ дня (t_{i+n} , int_{i+n}) и рассчитываются значения показателей L_{i+n} и P_{i+n} . По мере поступления фактических метеоданных производится перерасчет показателей с заменой прогностических метеозаказов на фактические; при этом получается скользящий ежедневный автоматизированный выпуск прогнозов в течение всего пожароопасного сезона [28]. Операционные территориальные единицы (ОТЕ) представляют регулярные сети заданного масштаба или нерегулярную квартальную сеть участков лесничеств.

Расчет вероятности пожара растительности на каждый i -й день пожароопасного сезона производится по модифицированной детерминированно-вероятностной методике [29], в которую введена дифференциация антропогенных источников возгорания в зависимости от их расстояния от ОТЕ. Учтена степень пирологической опасности участков растительности по лесорастительным условиям, введено понятие «критическое расстояние», которое характеризует минимальное расстояние от источников, после которого резко уменьшается количество пожаров:

$$F_{i,j}(B) = \begin{cases} F_{i,j}(C) \left[(F_{i,j}(N)F_{i,j}(B/N) + F_{i,j}(M)F_{i,j}(B/M)) \right], \\ \text{если } R_N \leq Rcr \text{ (50)} \\ F_{i,j}(C) \left[(F_{i,j}(D)F_{i,j}(B/D) + F_{i,j}(M)F_{i,j}(B/M)) \right], \\ \text{если } R_N > Rcr \text{ (52)} \end{cases}$$

где $F_{i,j}(B)$ – вероятность пожаров растительности (событие В); $F_{i,j}(C)$ – вероятность возгорания растительности при определенном значении комплексного показателя (событие С), которая определяется степенью пирологической опасности участков растительности по лесорастительным условиям; $F_{i,j}(N)$, $F_{i,j}(D)$ – вероятность появления антропогенного источника огня в ОТЕ от ближайших населенных пунктов (событие N) или железных и автомобильных дорог (событие D); $F_{i,j}(B/N)$, $F_{i,j}(B/D)$ – вероятность возгорания вследствие появления антропогенного источника огня; $F_{i,j}(M)$ – вероятность появления природного источника (молний) (событие М); $F_{i,j}(B/M)$ – вероятность возгорания вследствие появления природного источника огня, молний; R_N – расстояние от j -й ОТЕ до населенного пункта; Rcr –

минимальное расстояние от населенного пункта до ОТЕ, после которого значительно уменьшается количество пожаров.

Вероятность $F_{i,j}(C)$ пожара в j -ом ОТЕ по погодным и лесорастительным условиям в i -й день (событие С) равна 1, если ежедневный показатель P_i превышает или равен $P_{кр}$, либо вычисляется по формуле (6):

$$F_{i,j}(C) = \frac{P_i}{P_{кр}}, \quad (6)$$

где $P_{кр}$ – минимальное значение показателя, при котором возможны пожары на данном участке в зависимости от степени природной пирологической пожарной опасности растительности в j -й ОТЕ в определенный период пожароопасного сезона. Показатель $P_{кр}$ необходимо определять для каждого участка растительности в каждом климатическом районе или физико-географической области по статистическим сведениям о лесных пожарах и погодных условиях, при которых они возникли.

Расчет вероятности появления природных ($F_{i,j}(M)$) и антропогенных источников огня ($F_{i,j}(N)$, $F_{i,j}(D)$) и возникновения от них пожаров $F_{i,j}(B/M)$, $F_{i,j}(B/N)$,

Таблица 1.

Уравнения для трехдневного прогноза комплексного показателя P'_{i+n} в зависимости от интенсивности и продолжительности выпадения осадков

Термин	Код (int)	Уравнения для расчета, P'_{i+n}	Изменение комплексного показателя
Без осадков, сухая погода	1	$P'_{i+n} = L'_{i+n} + P_{i+n-1}$ (№ 1)	Возрастает по сравнению с предыдущим днем
Небольшой дождь, слабый дождь, небольшие осадки	2		
Морось, морозящие осадки, морозящий дождь, дождливая погода	3	$P'_{i+n} = L'_{i+n} + P_{i+n-1}$ (№ 1) $P'_{i+n} = ((L'_{i+n} + P_{i+n-1}) + L'_{i+n}) / 2$ (№ 2)	В первый день возрастает по сравнению с предыдущим днем. Во второй и третий дни равен среднему из двух показателей, рассчитанных с учетом $x_{i+n} \leq 3$ мм/сут. и $x_{i+n} \geq 3$ мм/сут.
Дождь, осадки, дождливая погода	4	$P'_{i+n} = ((L'_{i+n} + P_{i+n-1}) + L'_{i+n}) / 2$ (№ 2)	Равен среднему из двух показателей, рассчитанных с учетом $x_{i+n} \leq 3$ мм/сут. и $x_{i+n} \geq 3$ мм/сут.
Местами дождь, кратковременный дождь, кратковременные дожди	5	$P'_{i+1} = L'_{i+1} + P_{i+n-1}$ (№ 1) $P'_{i+2} = L'_{i+2} + P'_{i+1}$ (№ 1) $P'_{i+2} = L'_{i+2}$ (№ 3) $P'_{i+3} = L'_{i+3} + P'_{i+2}$ (№ 1) $P'_{i+3} = L'_{i+3}$ (№ 3)	В первый день возрастает по сравнению с предыдущим днем Во второй и третий день величина зависит от количества осадков
Значительный дождь, сильный дождь, очень сильный дождь, очень сильные осадки, ливневый дождь	6	$P'_{i+n} = L'_{i+n}$ (№ 3)	В первый день уменьшается по сравнению с предыдущим, в остальные дни нарастает в зависимости от температуры
Без осадков, сухая погода.	1	$P'_{i+n} = L'_{i+n} + P_{i+n-1}$ (№ 1)	Возрастает по сравнению с предыдущим днем
Дождь, осадки, дождливая погода	4	$P'_{i+n} = ((L'_{i+n} + P_{i+n-1}) + L'_{i+n}) / 2$ (№ 2)	Равен среднему из двух показателей, рассчитанных с учетом $x_{i+n} \leq 3$ мм/сут. и $x_{i+n} \geq 3$ мм/сут.

$F_{i,j}(B/D)$ в j -й ОТЕ вычисляется по частотным характеристикам:

$$F_{i,j}(M) = \frac{QM_{i,j}}{Q},$$

где $QM_{i,j}$ – количество пожароопасных сезонов, в которых наблюдались молниевые разряды в j -й ОТЕ, Q – количество пожароопасных сезонов за базовый период.

$$F_{i,j}(N) = \frac{QN_R}{Q}, \quad F_{i,j}(D) = \frac{QD_R}{Q},$$

где QN_R , QD_R – количество пожароопасных сезонов, в которых были зафиксированы пожары, возникшие в пожароопасной зоне в радиусе R (км) от населенного пункта или дорожной сети соответственно.

3. Результаты и обсуждение

Разработана система пространственного прогноза возникновения пожаров растительности, состоящего из трех последовательных этапов.

Первый этап.

1. Определение ОТЕ, лежащих в зонах репрезентативности (R 30 км) и в зонах ответственности m -й ГМС.
2. Расчет лесопожарного комплексного показателя L_i в i -й день и его прогноз на последующие n суток $L'_{i+1}, \dots, L'_{i+n}$ по данным каждой m -й ГМС.
3. Формирование m -ых узлов интерполяции с координатами местоположения m -ых ГМС (x, y) и значениями показателей (L_p, L'_{i+n}).
4. Восстановление фактических L_p, L'_{i+n} и прогнозных L'_{i+n} значений лесопожарного показателя в центре j -ых ОТЕ в зонах ответственности m -ых ГМС.
5. Расчет фактических P_i и прогнозных P'_{i+n} значений комплексных показателей.
6. Визуализация электронных карт распределения фактического (1 карта) и прогнозного (n карт) комплексных показателей с заблаговременностью n суток и вероятности возникновения пожаров.

Второй этап.

1. Расчет вероятности пожара в j -ых ОТЕ на каждый $i+n$ -й день пожароопасного сезона по погодным и лесорастительным условиям по уравнению (6).
2. Расчет достоверности прогноза [30].

Третий этап. Построение электронных карт на $i+n$ -й день прогноза по методике, описанной в [31].

Верификация схемы проведена на территории Среднего Приамурья, лесной фонд которого отличается высокой пожарной опасностью: наблюдается самая большая на Дальнем Востоке плотность пожаров

и значительные площади горельников [32]. Пирологические характеристики климата [33] определяют большую продолжительность сезона (апрель-октябрь, иногда до начала ноября), наличие трех периодов различной горимости (весеннего, летнего и осеннего) и неравномерность распределения пожаров [34]. Территория относится к зоне ответственности ОГБУ «Авиалесоохрана ЕАО» и ОГБУ «Лесничество ЕАО».

Сформированы две базы ежедневных данных. Первая содержит фактические (ГМС) и прогнозные с сайтов ГУ Гидрометцентра России [<http://meteoinfo.ru>] и ИКИ РАН [<http://meteo.infospace.ru>] метеоданные за 1970–2012 гг.: дневную температуру воздуха и точки росы в 13–15 часов местного времени, суточный объем осадков с 9 часов утра предыдущего дня до 9 часов утра текущего дня. Во второй представлены сведения о пожарах растительности по материалам КГУ «ДВ авиабаза» (1970–2009 гг.), ОГБУ «Лесничество ЕАО» (1997–2009 гг.) и космическим снимкам с сайтов NASA [<http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov>] и ФАЛХ «Авиалесоохрана» [<http://aviales.ru>], которые содержат даты обнаружения и ликвидации пожара, номера кварталов лесничеств или ОТЕ, тип пожара (лесной, не лесной).

В качестве ОТЕ использована нерегулярная сеть 3977 кварталов ОГБУ «Лесничество ЕАО» с однозначно идентифицируемыми параметрами: порядковый номер, номер филиала, участкового лесничества или квартала, регулярная сеть не лесного фонда из 2623 ячеек размером 2,5×2,5 км, которые характеризуются координатами центра.

В территории репрезентативности ГМС включены 30-километровые зоны [35]; зоны ответственности определены по полигонам Тиссена [36] (рис. 1).

Оценка фактической пожарной опасности по условиям погоды проводилась по методике В.Нестерова, поскольку ранее была показана предпочтительность ее использования в условиях муссонного климата средних широт [37]. В зоне репрезентативности ГМС прогноз значения лесопожарного показателя L'_{i+n} рассчитаны по корреляционным уравнениям вида $L'_{i+n} = C_0 e^{C_1 t'_{i+n}} + C_2$ ($r \geq 0,7$), где C – коэффициенты, пример приведен в табл. 2. Затем сделан прогноз комплексных показателей P'_{i+n} (по уравнениям табл. 1) и классов пожарной опасности по региональной шкале с достоверностью 0,77–0,96 (табл. 3).

Вне зон репрезентативности ГМС, с использованием каждой из них в качестве контрольной точки, для выбора метода восстановления L_i проведен анализ девяти интерполяционных методов, построен ансамбль из 26 964 карт (пример приведен на рис. 2), рассчитаны среднеквадратическая ошибка и коли-

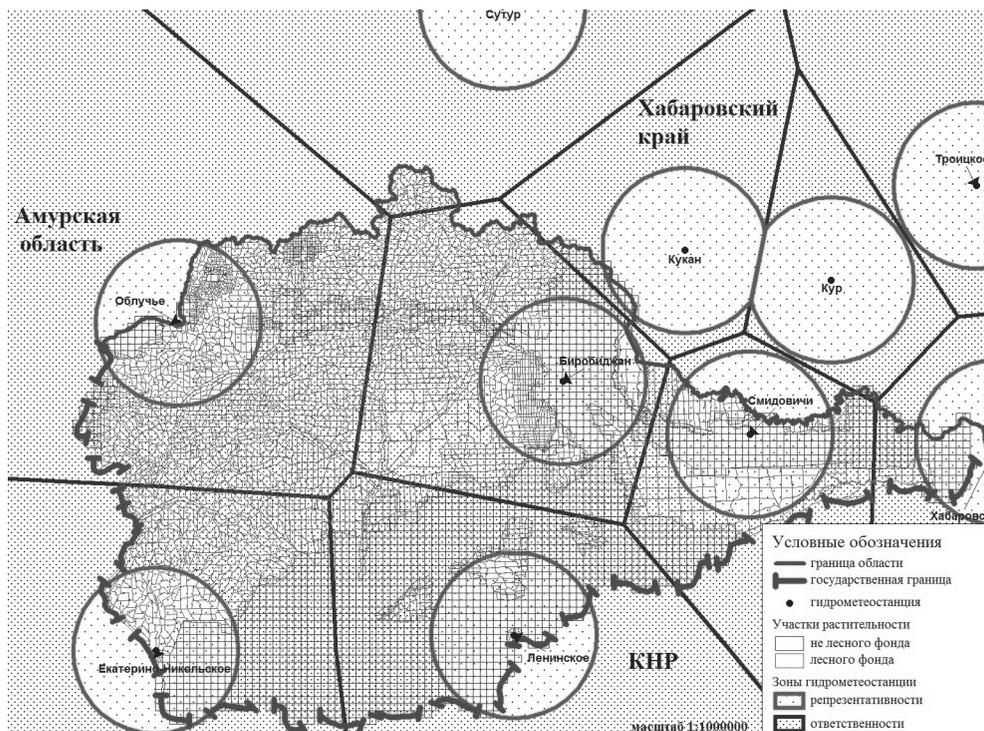


Рис. 1. Сеть операционных территориальных единиц, зоны ответственности и влияния ГМС на территории Среднего Приамурья

Таблица 2

Коэффициенты корреляционных уравнений $L'_{i+n} = C_0 + C_1 e^{C_2 t_{i+n}}$ зависимости лесопожарного показателя от дневной температуры воздуха t , °С (ГМС «Биробиджан»)

Месяц	Коэффициент уравнений			r	r/σ_r	F	A
	C_0	C_1	C_2				
Апрель	-100,36	99,888	0,079	0,90	149,23	4589,54	0,18
Май	0,00	31,714	0,110	0,78	61,68	1712,89	0,44
Июнь	0,00	22,927	0,098	0,67	33,96	857,13	0,36
Июль	0,00	7,533	0,126	0,71	38,31	924,29	0,38
Август	0,00	25,574	0,083	0,52	17,77	399,06	0,37
Сентябрь	-1,00	35,700	0,083	0,51	19,27	478,37	0,54
Октябрь	-104,09	104,239	0,076	0,87	124,81	3959,15	0,20

Таблица 3

Достоверность прогноза классов пожарной опасности на территории Среднего Приамурья в зоне репрезентативности ГМС (фрагмент) (ГМС «Биробиджан», 2010 г.)

Месяц	День прогноза				Месяц	День прогноза			
	1	2	3	4		1	2	3	4
Достоверность (ρ) классов пожарной опасности									
Апрель	0,96	0,95	0,95	0,90	Август	0,88	0,88	0,90	0,88
Май	0,87	0,77	0,77	0,77	Сентябрь	0,90	0,93	0,90	0,90
Июнь	0,92	0,92	0,92	0,92	Октябрь	0,88	0,88	0,89	0,85
Июль	0,80	0,79	0,80	0,80					

Примечание. (ρ) рассчитано по [38].

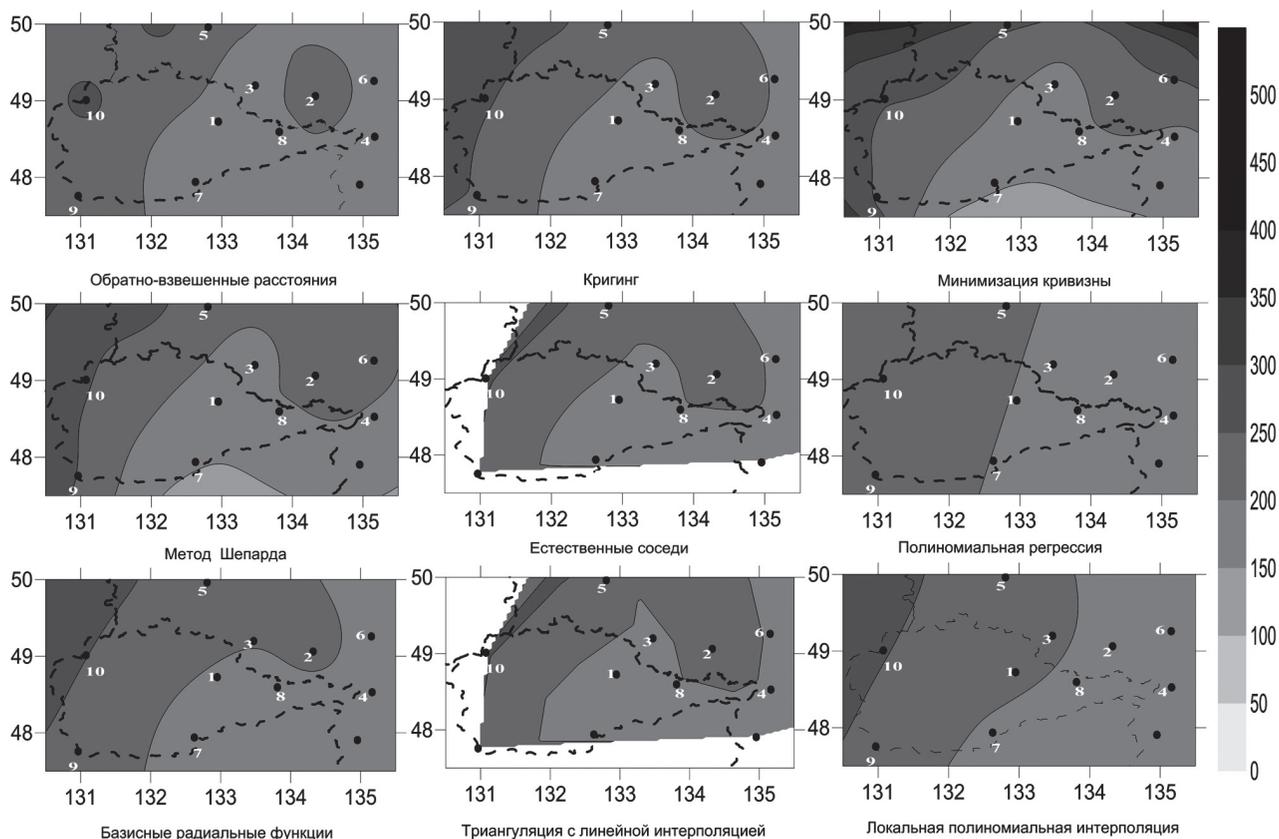


Рис. 2. Электронные карты восстановления значений лесопожарного показателя на 10.05.2012 г.
Примечание: • ГМС; --- административные границы ЕАО; — изолинии

Таблица 4

Среднеквадратическая ошибка методов интерполяции значений лесопожарного показателя L_i в контрольных точках и количество сезонов с эффективностью прогноза более 0,5 в период 1999–2012 гг.

Контрольная точка (ГМС)	Метод интерполяции								
	обратно-взвешенные расстояния	кригинг	минимизация кривизны	Шепарда	естественных соседей	полиномиальная регрессия	базисные радиальные функции	триангуляция с линейной интерполяцией	локальная полиномиальная интерполяция
<i>Среднеквадратическая ошибка интерполяции</i>									
Биробиджан	61,1	63,2	70,3	66,3	63,3	69,7	60,6	66,4	60,5
Победа	87,2	87,0	93,7	93,4	84,9	98,2	84,9	87,3	86,3
Кукан	82,8	83,4	86,6	86,1	83,4	86,6	83,0	86,9	83,6
Хабаровск	66,5	70,2	81,8	72,7	70,0	96,0	67,3	70,0	68,3
Сутур	109,3	106,5	111,9	117,4	109,5	128,2	106,4	109,6	107,7
Троицкое	113,3	136,1	179,3	199,8	120,5	125,9	132,4	121,5	126,0
Ленинское	73,7	69,4	146,4	127,7	76,8	84,1	67,1	77,2	69,2
Смидовичи	73,5	75,2	80,6	72,1	69,5	85,0	70,1	70,0	63,4
Екатерино-Никольское	93,2	98,2	504,3	142,6	-	112,8	94,9	-	106,0
Облучье	85,4	96,7	180,8	137,0	-	107,6	95,4	-	101,3
<i>Среднее значение ошибки интерполяции</i>									
	84,6	88,6	153,6	111,5	84,7	99,4	86,2	86,1	87,2
<i>Количество сезонов ($E_m \geq 0,5$ %)</i>									
	85,0	81,4	48,6	52,1	68,6	76,4	82,1	67,9	81,4

чество пожароопасных сезонов с эффективностью прогноза $E_m > 0,5$. Показано, что приемлемы обратно взвешенные расстояния, локальная полиномиальная интерполяция и базовые радиальные функции (табл. 4).

Для интерполяции L_i использован метод обратно-взвешенные расстояния.

Вероятность пожаров растительности рассчитана по формуле (6) по данным сезона 2010 г. с ис-

пользованием критических значений комплексного показателя $P_{кр}$ по шкале Т.В. Костыриной (табл. 5).

Составлено 214 пространственных прогнозов на каждый день пожароопасного сезона. Пример приведен на рис. 3. Показано, что большая часть пожаров (89%) может возникнуть в ОТЕ с растительностью I–III степени пирологической пожарной опасности (табл. 6 строка 1).

Таблица 5.

Шкала пирологической пожарной опасности участков основных растительных формаций и возможность их возгорания при заданных погодных условиях на территории ЕАО и южной части Хабаровского края [39]

Степень Формулировка	Наименование участков (по А.М. Стародубову)	Значение комплексного показателя	
		весна и осень	лето
I Очень высокая	Не покрытые лесом площади, редины, вырубки с травяным покровом или ягелем	300*	750*
	Лиственничники травяные и лишайниковые	350	1000
	Дубняки южных склонов	350	1200
II Высокая	Кедровники южных и западных склонов, мертвопокровные кедровники на склонах всех экспозиций	400*	1400*
	Белоберезники и желтоберезники	420	1500
	Широколиственно-дубовые леса восточных и западных склонов	450	1500
	Широколиственные кустарниковые леса на склонах	480	1600
III Средняя	Кедровники предгорные	580*	1800*
	Ельники-зеленомошники	650	2000
	Ельники травяно-кустарниковые	700	2500
IV Умеренная	Лиственничники багульниковые и мертвопокровные	750	2800
	Осинники и смешанные леса на северных склонах	750	3000
V Низкая	Долинные кедровники	1800*	3500*
	Пойменные лиственничные леса	2000	4000
	Лиственничники осоко-сфагновые, ельники сфагновые заболоченные, болота сфагновые, постоянно увлажненные	5000*	7000*

Примечание: * – минимальное значение комплексного показателя, при котором возможны пожары на территории с данной степенью пирологической пожарной опасности.

Таблица 6

Достоверность прогноза возникновения пожаров в различных растительных формациях на территории Среднего Приамурья (сезон 2010 г.)

Степень пирологической пожароопасности растительных формаций	I	II	III	IV	I-IV
Количество пожаров:					
фактическое	343	597	682	159	1788
прогнозируемое	316	542	567	68	1493
День прогноза:	Достоверность прогноза (вероятность 0,95)				
текущий	0,88±0,14	0,83±0,12	0,94±0,7	0,71±0,26	0,86±0,60
первый	0,88±0,14	0,85±0,11	0,85±0,10	0,57±0,29	0,82±0,07
второй	0,88±0,14	0,88±0,11	0,77±0,12	0,57±0,29	0,79±0,07
третий	0,88±0,14	0,85±0,11	0,77±0,12	0,50±0,29	0,78±0,07

Примечание: Достоверность рассчитана по [30]. Пожаров растительности с V классом пожарной опасности растительности не обнаружено; рассчитанная вероятность их возникновения также равна нулю.

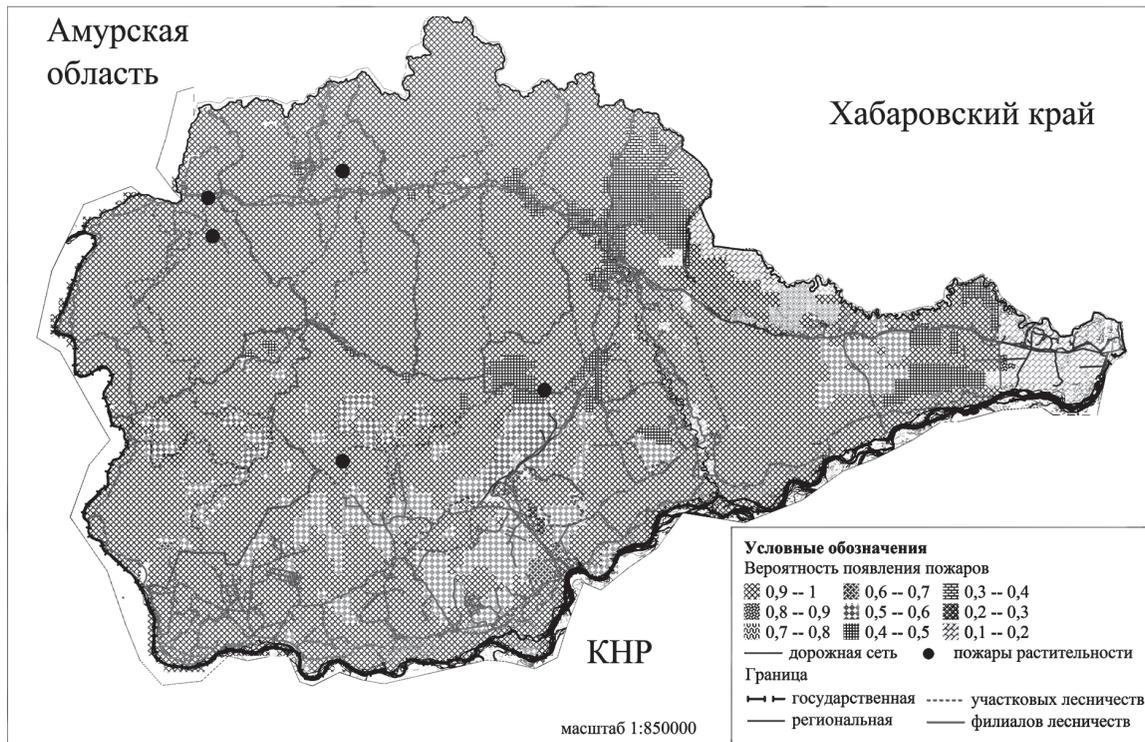


Рис. 3. Вероятность пожаров растительности на территории Среднего Приамурья

Достоверность прогноза при использовании фактических метеоданных равна $0,86 \pm 0,0$ при вероятности 0,95. При краткосрочном прогнозе в зависимости от его заблаговременности достоверность незначительно снижается – от $0,82 \pm 0,07$ до $0,78 \pm 0,07$ (табл. 6), но остается выше, чем в последних разработках ИСДМ – Рослесхоза [2].

3. Заключение

Разработанная методика позволяет с высокой вероятностью прогнозировать возникновение пожаров растительности по погодным и лесорастительным условиям, заблаговременно определять территории, на которых возможны пожары при различном варианте изменения погодных условий, создавать карты, необходимые для проведения профилактических лесоохранных мероприятий для предупреждения возгораний.

Работа выполнена при поддержке гранта ДВО РАН №12-1-0-09-013 и РФФИ № 12-07-31070.

Обозначения:

- P_i – значение комплексного показателя в i -й день,
 P_{i+n} – комплексный показатель в $i+n$ -й день прогноза,
 $P_{кр.}$ – минимальное значение показателя, при котором возможны пожары растительности,
 Q – количество пожароопасных сезонов в базовый период,

- QD_R – количество пожароопасных сезонов, в которых были зафиксированы пожары, возникшие от дорожной сети в пожароопасной зоне в радиусе R (км),
 QM_{ij} – количество пожароопасных сезонов, в которых наблюдались молниевые разряды,
 QN_R – количество пожароопасных сезонов, в которых были зафиксированы пожары, возникшие в пожароопасной зоне в радиусе R от населенного пункта,
 r – коэффициент корреляции,
 $R_{ср}$ – минимальное расстояние от населенного пункта до ОТЕ,
 $RMSE_m$ – среднеквадратическая ошибка в m -й контрольной точке,
 R – радиус, км,
 R_N – расстояние от j -й ОТЕ до ближайшего населенного пункта, км,
 t'_{i+n} – прогнозная дневная температура воздуха на $i+n$ -й день, °С,
 t_i – дневная температура воздуха на i -й день, °С,
 x_i – суточный объем осадков на i -й день, мм/сут.,
 x'_{i+n} – прогнозируемый суточный объем осадков на $i+n$ -й день, мм/сут.,
 σ_r – стандартная ошибка коэффициента парной корреляции,
 τ_i – дневная температура точки росы, °С.

Индексы:

- i – номер расчетного дня, j – номер ОТЕ, n – день прогноза, m – номер контрольной точки или ГМС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гришин А.М., Фильков А.И. Прогноз возникновения и распространения пожаров растительности. – Кемерово: Практика, 2005. – 202 с.
2. Подольская А.С., Ершов Д.В., Шуляк П.П. Применение метода оценки вероятности возникновения лесных пожаров в ИСДМ – Рослесхоз // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т. 8, № 1. – С. 118–126.
3. Фильков А.И. Детерминированно-вероятностная система прогноза лесной пожарной опасности: дис. на соиск. учен. степ. канд. физ.-мат. наук. – Томск: ТГУ, 2005. – 163 с.
4. Барановский Н.В. Теплофизические аспекты прогнозистического моделирования лесной пожарной опасности: дис. на соиск. учен. степ. д-ра физ.-мат. наук. – Томск, 2012. – 436 с.
5. Information system in support of wildland fire management decision making in Canada / B.S. Lee et al. // Computers and Electronics in Agriculture. – 2002. – V. 37, N 1–2. – P. 185–198.
6. Волокитина А.В., Софронов М.А. Канадская система прогнозирования развития лесных пожаров // Лесное хозяйство. – 2001. – № 1. – С. 46–48.
7. Canadian forest fire danger rating system / B.J. Stocks et al. Ontario: Canadian Forestry Service, 1987. – 500 p.
8. Deeming J.E., Burgan K.E., Cohen J.D. The national fire-danger rating system Ogden. Utah: USDA Forest Service, General Technical Report. Int-39, 1978. – 66 p.
9. Курбатский Н.П., Костырина Т.В. Национальная система расчета пожарной опасности США // Обнаружение и анализ лесных пожаров. – Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1977. – С. 38–90.
10. Comparative study of various methods of fire danger evaluation in southern Europe / D.X. Viegas et al. // Int. J. Wildland Fire. – 1999. – V. 9, N 4. – P. 235–246.
11. Linacre E. Predicting bushfires in Australia. http://www-as.uwo.edu/~geerts/cwx/notes/chap16/oz_bush.html.
12. Prediction of the dially numbers of forest fires / Garcia Dies E.L. et al. // Int. J. Wildland Fire. – 1999. – V. 9, N 3. – P. 207–211.
13. Bovio G., Quaglino A., Nosenzo A. Individuazione di un indice di prevision per il pericolo // Monti e Boschi. – 1984. – N 4(35). – P. 39–44.
14. Goncalves Z.J., Lourenco L. Meteorological index of forest fire risk in the Portuguese mainland territory // Proceedings of the international conference on forest fire research. – Coimbra, 1990. – V. 7. – P. 1.
15. Heikinheimo M. Renewing the system for forest fire risk assessment at the Finnish Meteorological Institute // International Forest Fire News. – 1998. – N 18. – P. 65–67.
16. Anderson K. A model to predict lightning-caused fire occurrences // Int. J. Wildland Fire. – 2002. – V. 11, N 3–4. – P. 163–172.
17. Probability based models for estimation of wildfire risk / N.K. Preysler et al. // Int. J. Wildland Fire. – 2004. – V. 13, N 2. – P. 133–142.
18. Барановский Н.В., Гришин А.М., Локутникова Т.П. Информационно-прогностическая система определения вероятности возникновения лесных пожаров // Вычислительные технологии. – 2003. – Т. 8, № 2. – С. 16–26.
19. Кац А.Л., Гусев В.Л., Шабунина Т.А. Методические указания по прогнозированию пожарной опасности в лесах по условиям погоды. – М.: Гидрометеиздат, 1975. – 16 с.
20. Российская система спутникового мониторинга лесных пожаров / Д.В. Ершов и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений: сб. науч. ст. – М.: ООО Полиграфсервис, 2004. – Вып. 1, Т. 1. – С. 47–57.
21. Вонский С.М., Жданко В.А. Методические указания по оценке степени засушливости пожароопасных сезонов и расчету вероятности их поступления. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1967. – 21 с.
22. Софронов М.А., Софронова Т.М., Волокитина А.В. Оценка пожарной опасности по условиям погоды с использованием метеопрогнозов // Лесное хозяйство. – 2004. – № 6. – С. 31–32.
23. Сверлова Л.И. Метод оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды. – Хабаровск: Кн. изд-во, 1998. – 31 с.
24. Соколова В. А., Коган Р.М., Глаголев В.А. Методика автоматизированного прогноза пожарной опасности Приамурья и оценка ее эффективности // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 12. – С. 45–53.
25. Flannigan M.D., Wotton B.M. A study of the interpolation methods for forest fire danger rating in Canada // Canadian Journal of Forest Research. – 1989. – № 19(8). – P. 1059–1066.
26. Nash J.E., Sutcliffe J.V. River flow forecasting through conceptual models: A discussion of principles // Journal of Hydrology. – 1970. – V. 10, № 3. – P. 282–290.
27. Соколова Г.В., Коган Р.М., Глаголев В.А. Пожарная опасность территории Среднего Приамурья: оценка, прогноз, параметры мониторинга. – Хабаровск: ДВО РАН, 2009. – 265 с.
28. Соколова Г.В., Коган Р.М., Глаголев В.А. Методика автоматизированного прогноза пожарной опасности Приамурья и оценка ее эффективности // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 12. – С. 45–53.
29. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. Детерминированно-вероятностный прогноз лесопожарных возгораний // Пожаровзрывобезопасность. – 2006. – Т. 15, № 5. – С. 56–59.
30. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов. – 7-е изд. – М.: Высшая школа, 2001. – 479 с.

31. Глаголев В.А., Коган Р.М. Геоинформационная система прогноза возникновения пожаров растительности в условиях муссонного климата средних широт // Геоинформатика. – 2009. - № 4. – С. 8–16.
32. Современное состояние лесов российского Дальнего Востока и перспективы их использования / Под ред. А.П. Ковалева. – Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2009. – 470 с.
33. Григорьева Е.А., Коган Р.М. Пирологические характеристики климата на юге Дальнего Востока России // Региональные проблемы. – 2010. – Т. 13, № 2. – С. 78–82.
34. Дорошенко А.М., Коган Р.М. Оценка пирологических характеристик Среднего Приамурья (на примере Еврейской автономной области) // Региональные проблемы. – 2005. – № 6–7. – С. 63–67.
35. Софронов М.А., Волокитина А.В. Пирологическое районирование в таежной зоне. – Новосибирск: Наука, 1990. – 204 с.
36. ДеМерс Майкл Н. Географические информационные системы. Основы. – М.: Дата+, 1999. – 490 с.
37. Глаголев В.А., Коган Р.М. Модификация региональной шкалы классов пожарной опасности для территории Среднего Приамурья (на примере Еврейской автономной области) // Региональные проблемы. – 2011. – Т. 14, № 1. – С. 48–53.
38. Бефани Н.Ф. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 439 с.
39. Костырина Т.В. Прогнозирование пожарной опасности в лесах юга Хабаровского края: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. с.-х. наук. – Красноярск, 1978. – 23 с.

System of Spatial Forecast of Fires Emergence on Weather and Forest Vegetation Conditions

R.M. Kogan, Head of Regional Geo Ecology Chair, Ph.D. of Chemistry, Associate Professor, Institute for Complex Analysis of Regional Problems of the Russian Academy of Sciences, Far Eastern Branch

V.A. Glagolev, Junior Researcher, Institute for Complex Analysis of Regional Problems of the Russian Academy of Sciences, Far Eastern Branch

The system of spatial forecast related to emergence of fires taking into account weather and pyrology characteristics of vegetation has been developed on the basis of probabilistic and determined model. Its high reliability is confirmed in the South of Russia's Far East.

Keywords: vegetation, fires, forecast, determined and probabilistic model.

Параметры и характеристика ветра по шкале Фуджиты					
Баллы Бофорта	Словесное определение силы ветра	Средняя скорость ветра, м/с	Средняя скорость ветра, км/ч	Действие ветра	
				на суше	на море
0	Штиль	0–0,2	< 1	Безветрие. Дым поднимается вертикально, листья деревьев неподвижны	Зеркально гладкое море
1	Тихий	0,3–1,5	1–5	Направление ветра заметно по отношению дыма, но не по флюгеру	Рябь, пены на гребнях волн нет. Высота волн до 0,1 м
2	Лёгкий	1,6–3,3	6–11	Движение ветра ощущается лицом, шелестят листья, приводится в движение флюгер	Короткие волны максимальной высотой до 0,3 м, гребни не опрокидываются и кажутся стекловидными
3	Слабый	3,4–5,4	12–19	Листья и тонкие ветви деревьев всё время колышутся, ветер развеивает лёгкие флаги	Короткие, хорошо выраженные волны. Гребни, опрокидываясь, образуют стекловидную пену. Изредка образуются маленькие барашки. Средняя высота волн 0,6 м
4	Умеренный	5,5–7,9	20–28	Ветер поднимает пыль и мусор, приводит в движение тонкие ветви деревьев	Волны удлинённые, барашки видны во многих местах. Максимальная высота волн до 1,5 м
5	Свежий	8,0–10,7	29–38	Качаются тонкие стволы деревьев, движение ветра ощущается рукой	Хорошо развитые в длину, но не крупные волны, максимальная высота волн 2,5 м, средняя – 2 м. Повсюду видны белые барашки (в отдельных случаях образуются брызги)
6	Сильный	10,8–13,8	39–49	Качаются толстые сучья деревьев, гудят телеграфные провода	Начинают образовываться крупные волны. Белые пенные гребни занимают значительные площади, вероятны брызги. Максимальная высота волн – до 4 м, средняя – 3 м

Окончание см. на с. 24