

## ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 630\*43:004.9(571.6)

### РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОГНОЗА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПО ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫМ УСЛОВИЯМ

В.А. Глаголев

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

*Целью данного исследования является разработка базы данных региональной системы краткосрочного прогноза метеорологической пожарной опасности с учетом пирологических данных квартальной сети пожароопасных субъектов, гидрометеостанций и пожаров растительности за многолетний период. Для выполнения прогноза предложена детерминированно-вероятностная модель прогноза возникновения пожаров растительности, база данных системы и проведена ее верификация на примере пожароопасного сезона 2016 г. на территории федеральных субъектов Дальнего Востока России.*

**Ключевые слова:** *пожарная опасность растительности, погодные условия, пожар, модель, регион, Дальний Восток России.*

#### Введение

Характер растительности, огромные запасы лесных горючих материалов и в первую очередь погодно-климатические факторы предопределяют особые условия Дальнего Востока России (ДВР), способствующие повышенной пожарной опасности. Так, для территории Хабаровского края и Еврейской автономной области (ЕАО) характерны высокая горимость лесов, характеризующаяся большим количеством пожаров и значительной величиной пройденной огнем площади за пожароопасный сезон [5]. Величина экономического и экологического ущерба, наносимого природным экосистемам и лесному хозяйству, требует разработки системы регионального вероятностного прогноза пожарной опасности, построенной на основе современных средств накопления и многомерной обработки данных о природно-антропогенных условиях.

В традиционной системе лесопожарного мониторинга пожарная опасность оценивается опосредованно по измерениям метеорологических параметров прилегающего слоя воздуха в отдельных точках, в основном на метеостанциях. Однако сеть метеостанций во многих районах РФ не позволяет дать оценку и прогнозирование ди-

намики пожарной опасности на всей территории. Поэтому целью данной работы является создание и реализация базы данных регионального прогноза возникновения пожаров растительности с использованием данных сети гидрометеостанций (ГМС) и региональных лесоохранных служб за многолетний период. В работе были поставлены следующие задачи: разработать модель прогноза возникновения пожаров растительности; спроектировать базу данных и провести ее верификацию на территории субъектов ДВР.

#### Метод регионального прогноза пожарной опасности по природно-антропогенным условиям

Для определения пожароопасных участков растительности в *i*-ый день предложена детерминированно-вероятностная модель прогноза возникновения пожаров растительности по природно-антропогенным условиям:

$$F_{i,j}(B) = \begin{cases} F_{i,j}(C)[(F_{i,j}(N)F_{i,j}(B/N) + \\ F_{i,j}(M)F_{i,j}(B/M) ] \text{ при } R_N \leq R_{cr} \\ F_{i,j}(C)[(F_{i,j}(D)F_{i,j}(B/D) + \\ F_{i,j}(M)F_{i,j}(B/M) ] \text{ при } R_N > R_{cr} \end{cases} \quad (1)$$

где  $i$  – день расчета;  $j$  – номер операционно-территориальной единицы (ОТЕ);  $F_{ij}(B)$  – вероятность возникновения пожаров растительности (событие  $B$ );  $F_{ij}(C)$  – вероятность возгорания растительности при определенном значении метеорологического показателя пожарной опасности по условиям погоды (событие  $C$ );  $F_{ij}(N)$ ,  $F_{ij}(D)$  – вероятность появления антропогенного источника огня в ОТЕ от ближайших населенных пунктов или железных и автомобильных дорог (события  $N$  и  $D$ );  $F_{ij}(B/N)$ ,  $F_{ij}(B/D)$  – вероятность возгорания вследствие появления антропогенных источников огня;  $F_{ij}(M)$ ,  $F_{ij}(B/M)$  – вероятность появления природного источника (событие  $M$ ) и возгорания вследствие его появления;  $R_N$  – расстояние от ОТЕ до ближайшего населенного пункта.

Вероятность возгорания растительности по погодным условиям  $F_{ij}(C)$  в  $j$ -ой ОТЕ рассчитывается по формуле:

$$F_{ij}(C) = \frac{P_i}{P_{cr1}} \frac{S_1}{S} + \frac{P_i}{P_{cr2}} \frac{S_2}{S} + \frac{P_i}{P_{cr3}} \frac{S_3}{S} + \frac{P_i}{P_{cr4}} \frac{S_4}{S} + \frac{P_i}{P_{cr5}} \frac{S_5}{S}, \quad (2)$$

где  $P_{cr1}$ ,  $P_{cr2}$ ,  $P_{cr3}$ ,  $P_{cr4}$ ,  $P_{cr5}$  – минимальное значение метеорологического показателя пожарной опасности, при котором возможно появление пожаров в зависимости от степени природной пирологической пожарной опасности растительности на территории лесничества, содержащего  $j$ -ую ОТЕ;  $S$ ,  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$ ,  $S_5$  – общая площадь лесничества, содержащего  $j$ -ую ОТЕ, и территории (га) лесничества с определенной степенью пирологической пожарной опасности (от 1 до 5);  $S$  – общая площадь лесничества (га).

Вычисление метеорологического показателя пожарной опасности  $P$  на территории Россий-

ской Федерации (РФ) выполняется по уравнению В.Г. Нестерова [3, 9] или его модификациям. При краткосрочном прогнозировании показателя метеорологической пожарной опасности учитываются его многолетние значения в засушливый период и формализованные синоптические градации осадков [1, 4] либо данные глобальных климатических моделей [8]. В данной работе значения показателя  $P_i$  в  $j$ -ой ОТЕ рассчитываются по данным ГМС в 30-км зоне либо восстановлением показателя по данным близлежащих ГМС с использованием средневзвешенного метода интерполирования [7].

Межрегиональное взаимодействие лесоохранных служб регламентируется по значениям вероятности появления антропогенных источников огня  $F_{ij}(N)$  и  $F_{ij}(D)$  и сезонной частоте появления пожаров в ОТЕ на лесных и нелесных участках. Даты ограничения доступа населения на опасные участки и появление об этом информации в СМИ определяются по пятидневным периодам пожароопасного сезона, во время которых в определенных ОТЕ существует наибольшая вероятность появления пожаров на основе 10-летних наблюдений.

#### Проектирование базы данных

Блок-схема алгоритма пространственного прогноза метеорологической пожарной опасности состоит из 4 блоков: формирование регулярной сети ОТЕ, выполнение расчетов по вероятностной модели прогноза возникновения пожаров, ежедневный прогноз возникновения пожаров и выделение пожароопасных ОТЕ, составление рекомендаций для лесоохранных служб (рис. 1).

Для реализации алгоритма спроектирована реляционная база данных, преимуществом которой является интеграция многолетних данных пожаров растительности по сведениям наземного



Рис. 1. Алгоритм регионального прогноза пожарной опасности по условиям погоды

Fig. 1. Algorithm of regional forecast of fire risk by weather conditions

и дистанционного мониторинга. Идентификация местоположения пожара производится по указанию координат центра лесных и нелесных пожаров в проекции «долгота/широта» и по номеру ячейки операционно-территориальной сети, наложенной на территорию субъекта РФ.

В базе данных для хранения атрибутивных данных используется реляционная система управления базами данных и векторные слои инструментальной ГИС. Атрибутивная база данных состоит из 9 таблиц, в центре логической структуры находится таблица «Пожары растительности». Местоположение пожара растительности указывается с помощью атрибутов *longitude* и *latitude* либо атрибута *id\_квартал*, который может принимать одно или более значения, разделенные запятой (рис. 2).

### Результаты и обсуждения

Для верификации базы данных выбрана территория пожароопасных субъектов Дальнего Востока России: Амурская область, Еврейская автономная область, Хабаровский край, Приморский

край. Проверку модели планируется осуществить на примере пожароопасного сезона 2016 г. По данным наземного и дистанционного мониторинга в данный пожароопасный сезон зафиксировано 2513 возгораний, общая площадь возгораний 16,2 тыс. га, в том числе 3,2 тыс. га – на лесных землях.

Источниками метеорологической информации базы данных являются фактические данные 177 ГМС (рис. 3а, табл. 1), так, наибольшее количество ГМС сосредоточено в Хабаровском крае (78 шт.), однако с учетом репрезентативности данных вблизи гидрометеостанций (30 км) наибольший охват мониторинга территории достигается в Приморском крае (53,7%).

Сведения о пожарах растительности в 70 лесничествах фиксируются по данным отдела охраны лесов ФБУ «Авиалесоохрана» и государственного контроля и надзора в управлении лесами правительств субъектов Российской Федерации (рис. 3б). Квартальная сеть лесничеств получена наложением регулярной сети ОТЕ размером 0,125° (6х6 км). Степень пироэкологической

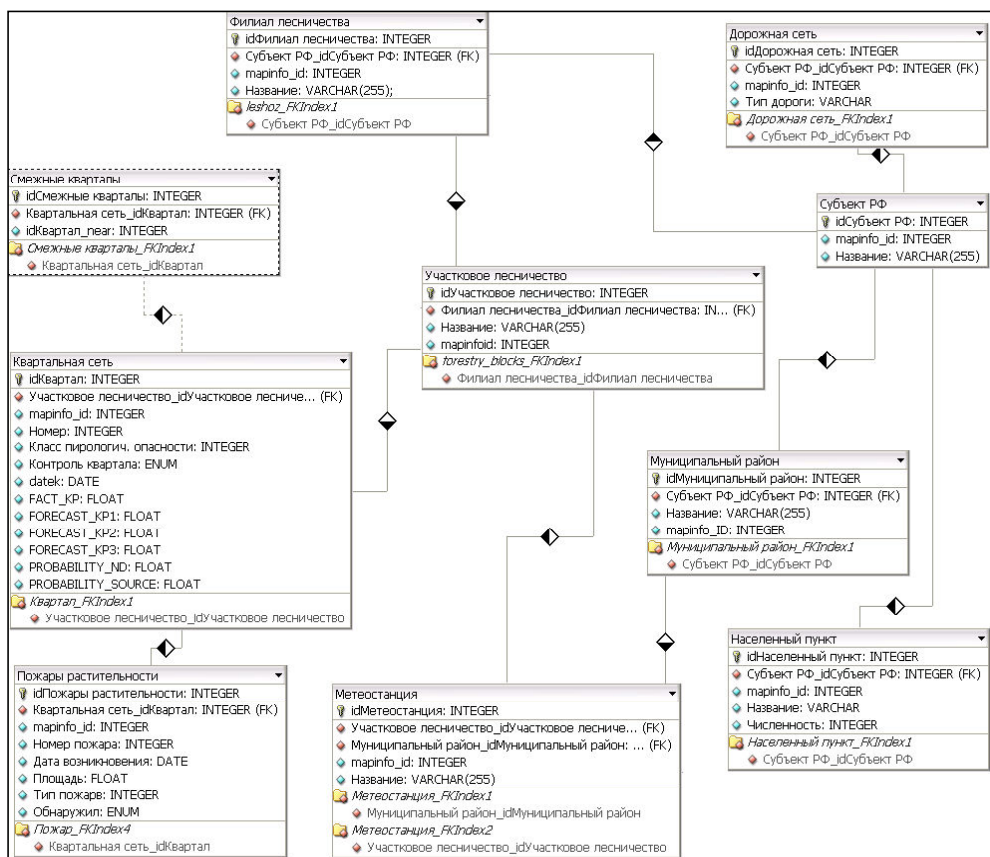
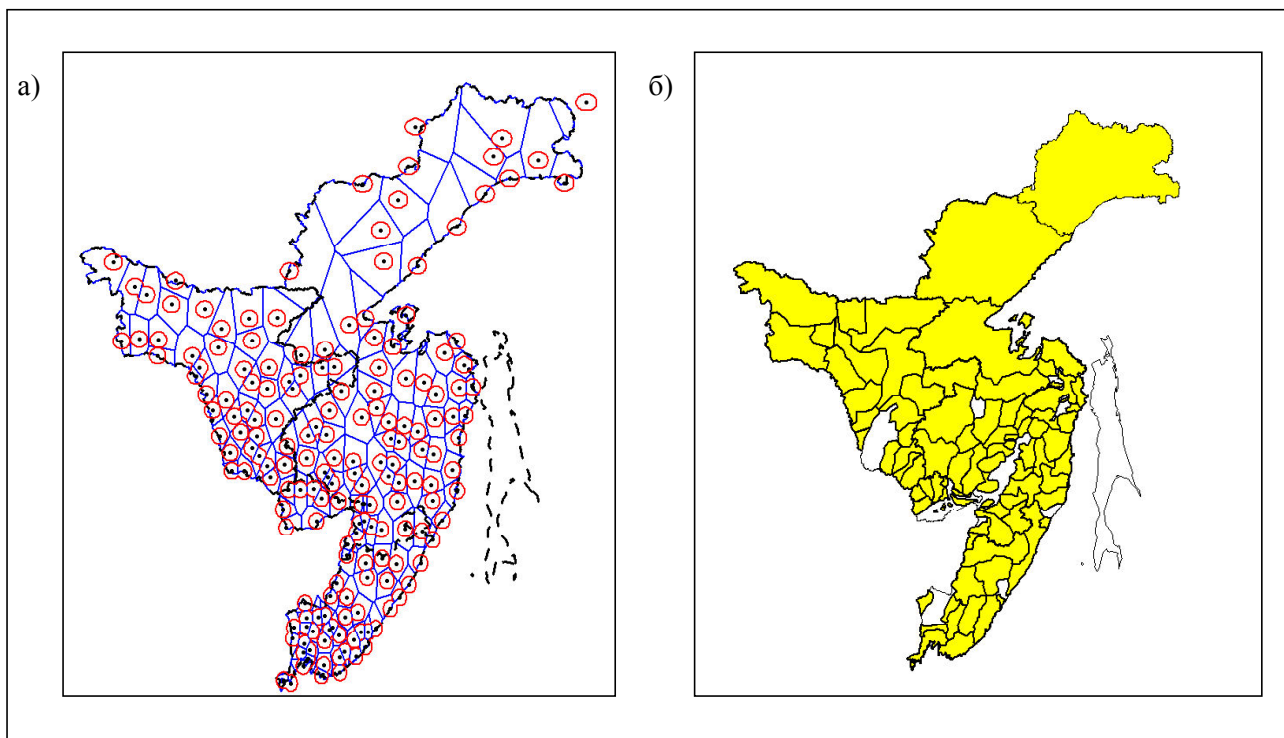


Рис. 2. Физическая структура атрибутивной базы данных

Fig. 2. Physical structure of the attribute database



**Рис. 3. Карта мест расположения гидрометеостанций и зон покрытия информацией (а) и участковых лесничеств (б) на территории Дальнего Востока России**

**Fig. 3. Map of locations of hydrometeorological stations, information coverage area (a) and local forestry (b) in the Russian Far East**

пожарной опасности ячеек регулярной сети определяется по их вложенности в лесничество субъекта РФ (табл. 2). Каждой ОТЕ присваивается порядковый номер, координаты центров и степень пирологической устойчивости растительности, преобладающей в каждой ОТЕ (по А.М. Стародумову [6]).

Для прогноза вероятности возникновения пожаров растительности по условиям погоды ( $F_{i,j}(C)$ ) используются расчетные ежедневные значе-

ния показателя  $P_p$ , при этом на территории ДВР учитываются поправки на отрицательные дневные температуры воздуха, которые могут наблюдаться в начале и в конце пожароопасного сезона [2], критические значения показателя  $P_{cr}$  определяются для каждой преобладающей формации в каждой ОТЕ (по шкале Т.В. Костыриной [6]).

В качестве базового периода для расчета  $F_{i,j}(N)$  и  $F_{i,j}(D)$  выбран период 2004–2013 гг., имеющий минимальные суммы среднеквадратических

Таблица 1

Сведения о количестве участковых лесничеств и гидрометеостанций на исследуемой территории

Table 1

Information on the number of local forestry and hydrometeorological stations in the study area

№	Субъект	Площадь субъекта	Количество лесничеств	Количество метеостанций / Зоны покрытия, км <sup>2</sup>	Процент охвата метеостанций территории ответственности
1	Амурская область	361 400	13	44/ 113 600	31,4
2	Хабаровский край	781 900	40	78 / 183 400	23,4
3	Еврейская автономная область	36 110	6	8 / 16 960	33,1
4	Приморский край	164 400	11	47/ 88 360	53,7

Таблица 2

Сведения о распределении лесного фонда Еврейской автономной области по классам природной пожарной опасности (на 01.01.08 г.)

Table 2

Data on distribution of the Jewish Autonomous region forest area according to fire risk classes (on 01.01.08)

№	Лесничество	Лесной фонд, тыс. га					
		всего	Классы природной пожарной опасности (по А.М. Стародумову [6])				
			I	II	III	IV	V
1	Биробиджанское	465,9	17,2	232,8	192,7	22,2	1,0
2	Бирское	528,6	0	4,0	266,6	257,5	0,5
3	Кульдурское	312,3	0,2	11,2	107,5	179,8	13,6
4	Ленинское	203,3	119,4	43,9	40,0	0	0
5	Облученское	317,6	59,6	20,3	204,9	32,8	0
6	Октябрьское	313,8	0	1,9	137,7	156,6	17,6

Источник: материалы ОГАУ «База авиационной охраны лесов по ЕАО»

отклонений относительных частот от других периодов за 1999–2016 гг.

Для выбора базового периода  $Q$  обработан массив данных с 1999 по 2017 гг., разделенный на 11 периодов продолжительностью 10 лет: 1999–2008 гг. ... 2007–2016 гг., в каждом из которых рассчитаны ежедневные относительные частоты  $F_{ij}(N)$  и  $F_{ij}(D)$  (формула № 3) появления

антропогенных источников огня в каждой из трехкилометровых зон вокруг населенных пунктов и дорожной сети. Затем вычислены их среднеквадратические отклонения попарно для каждого периода и получена их сумма (табл. 3).

Таким образом, предложена разработанная база данных для реализации модели прогноза возникновения пожаров растительности по при-

Таблица 3

Сумма среднеквадратических отклонений относительных частот  $F_{ij}(N)$  и  $F_{ij}(D)$  базовых периодов

Table 3

Total of standard deviations of relative frequencies  $F_{i,j}(N)$  and  $F_{i,j}(D)$  in base periods

Базовый период, год	1999–2008	2000–2009	2001–2010	2002–2011	2003–2012	2004–2013	2005–2014	2006–2015	2007–2016	2008–2017
Расстояние от населенных пунктов, км	Сумма среднеквадратических отклонений относительных частот $F_{ij}(N)$									
0–3	1,41	1,36	1,23	<b>1,15</b>	<b>1,14</b>	<b>1,18</b>	1,33	1,38	1,40	1,41
3–6	1,38	1,26	<b>1,17</b>	<b>1,15</b>	<b>1,15</b>	<b>1,17</b>	1,32	1,46	1,33	1,43
6–9	1,18	1,08	1,09	<b>1,07</b>	<b>1,03</b>	<b>1,08</b>	1,14	1,32	1,24	1,37
Расстояние от дорожной сети, км	Сумма среднеквадратических отклонений относительных частот $F_{ij}(D)$									
0–3	1,43	1,39	1,31	1,27	<b>1,22</b>	<b>1,14</b>	<b>1,22</b>	1,33	1,56	1,87
3–6	0,97	0,98	0,91	0,88	0,86	<b>0,81</b>	<b>0,79</b>	<b>0,86</b>	1,00	1,17
6–9	0,65	0,58	0,56	0,50	0,51	<b>0,50</b>	<b>0,49</b>	<b>0,53</b>	0,58	0,63

Примечания: полужирным шрифтом выделены минимальные значения суммы среднеквадратических отклонений

родно-антропогенным условиям на территории ДВР, которая имеет практическую значимость и может быть использована для разработки противопожарных рекомендаций и мероприятий, особенно при авиапатрулировании и дистанционном мониторинге наиболее пожароопасных участков, регламентации доступа населения на территорию лесного фонда в особо напряженные пожароопасные периоды.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. 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.
2. Коган Р.М., Соколова Г.В., Глаголев В.А. Методика автоматизированного прогноза пожарной опасности Приамурья и оценка ее эффективности // Метеорология и гидрология. 2006. № 12. С. 45–53.
3. 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.
4. Рекомендации по охране лесов от пожаров в районах Дальнего Востока / сост. Г.П. Телицын. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1978. 34 с.
5. Современное состояние лесов российского Дальнего Востока и перспективы их использования. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2009. С. 227–237.
6. Телицын Г.П. Лесные пожары их предупреждение и тушение в Хабаровском крае. Хабаровск, 1988. 96 с.
7. Flannigan M.D. A study of the interpolation methods for forest fire danger rating in Canada / M.D. Flannigan, B.M. Wotton // Canadian Journal of Forest Research. 1989. Vol. 19, N 8. P. 1059–1066.
8. Glagolev Vladimir A., Zubareva Anna M. GFS model-based short-term fire weather forecasting [10833-28]. DOI 10.1117/12.2502434 // Proceedings of SPIE 10833, 24rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, (2–5 July 2018); SPIE. 2018. P. 1083373.
9. Goncalves Z.J. Meteorological index of forest fire risk in the Portuguese mainland territory / Z.J. Goncalves, L. Lourenco // Proceedings of the international conference on forest fire research. 1990. Vol. 7. P. 1–14.

## PREDICTION OF GRASS FIRES EMERGENCE AND SPREAD ON THE EXAMPLE OF JEWISH AUTONOMOUS REGION

V.A. Glagolev

*The purpose of this study is to develop a database of the regional system of short-term forecast of meteorological fire danger, taking into account the pyrological data of the quarterly network of flammable objects, hydro-meteorological stations and vegetation fires over a long period. To carry out the forecast, the author proposes a deterministic-probabilistic model of vegetation fires forecast, the database system and its verification on the example of the fire season 2016 in the territory of the Russian Far East Federal subjects.*

**Keywords:** fire danger of vegetation, weather conditions, fire, model, region, Far East of Russia.