

УДК 630\*43:004.9(571.62)

## АЛГОРИТМ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА НА ОСНОВЕ ГЛОБАЛЬНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

В.А. Глаголев

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

*Предложен алгоритм прогноза метеорологической пожарной опасности с заблаговременностью 10 суток на основе глобальной климатической модели Global Forecast System. Выбрана система управления массивами данных и специализированное программное обеспечение загрузки данных National Centers for Environmental Prediction для реализации алгоритма в информационной системе прогноза возникновения и распространения пожаров растительности на примере территории Дальнего Востока.*

**Ключевые слова:** климатическая модель, показатель пожарной опасности, алгоритм, пожары растительности.

### Введение

Погодные условия являются одним из основных факторов, влияющих на возникновение и скорость распространения пожаров растительности. В настоящее время густота сети гидрометеостанций (ГМС) на территории Дальнего Востока России (ДВР) не позволяет в полной мере проводить мониторинг пожароопасной обстановки, поскольку расчет показателей по условиям погоды осуществляется, в основном, по данным единичной ГМС, зона репрезентативности которой представлена окружностью с радиусом 30–40 км [16]. За пределами зон репрезентативности, т.е. в зонах ответственности ГМС, необходимо восстанавливать метеорологические показатели (индексы) пожарной опасности или исходные метеозлементы с применением данных климатических моделей, учитывающих региональные особенности территории.

Целью работы является создание и реализация алгоритма прогноза метеорологической пожарной опасности растительности с использованием глобальной климатической модели Global Forecast System (GFS).

В работе были поставлены следующие задачи: выделить основные метеорологические параметры модели GFS; спроектировать алгоритм прогноза метеорологического показателя пожарной опасности и выбрать соответствующее программное обеспечение для его реализации.

### Восстановление метеорологического показателя пожарной опасности

Первые методики прогноза показателей пожарной опасности по условиям погоды основаны на использовании метеоданных прогнозов общего назначения [7]. Такие прогнозы содержат метеорологические поля, а также максимальную и минимальную температуру воздуха, синоптические термины интенсивности осадков, скорость и направление ветра, относительную влажность, объем осадков и вероятность их выпадения [3, 5, 6, 8, 14, 16]. Краткосрочные прогнозы метеорологического показателя пожарной опасности имеют практическую ценность, так как достигается высокая оправдываемость прогнозов в течение 1–3 суток, особенно в зоне репрезентативности ГМС (72–96%), однако вне этих зон необходимо применять различные способы восстановления: детерминистические и геостатистические методы интерполяции с географической привязкой данных [4]; метеоданные дистанционного мониторинга Земли [11]; результаты расчетов климатических моделей [17].

Использование интерполяционных методов для восстановления метеорологического индекса пожарной опасности по данным смежных ГМС впервые показано Н.П. Курбатским [9]. На примере метеорологического показателя В.Г. Нестерова [10] использован полином Лагранжа, в дальнейшем в работах П.А. Егармина [4] выявлено,

что функция данной комплексной переменной достаточно верно отражает распределение метеоданных для расчета показателя. В зарубежных работах большое внимание уделяется эффективности интерполирования индексов различными методами. Например, проанализировано восстановление индекса пожарной опасности Forest Fire Weather (FWI) на примере территории Онтарио (Канада) с помощью трех методов (обратно-взвешенных расстояний, локальная полиномиальная интерполяция второй степени, полиномиальная регрессия) и показано, что данные методы удовлетворительно осуществляют восстановление и оптимальным оказался метод «полиномиальная регрессия» [18].

Применение данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для мониторинга пожаров растительности активно осуществляется с начала 1990-х гг. Появляются работы, в которых на основе спутниковых снимков серии NOAA [11] создаются оценочные и прогнозны карты распределения показателя В.Г. Нестерова [10] с заблаговременностью 7 суток, при этом температура точки росы интерполируется по данным радиометра TOVS, а температура воздуха – по пятому каналу радиометра AVHRR.

Представленные выше работы были актуальны с 1960-х гг., однако с ростом информационно-технологического прогресса во всем мире приобретают значимость высокопроизводительные вычисления прогнозных климатических параметров на основе данных ГМС и ДЗЗ, учитывающих циркуляцию атмосферы, рельеф и т.д. На территории Российской Федерации (РФ) использование климатических моделей при определении метеорологической пожароопасной обстановки на длительный период времени показано только на основе гидродинамических прогнозов температуры воздуха и осадков по глобальной конечно-разностной модели общей циркуляции атмосферы [17]. Работы по краткосрочным прогнозам метеорологического индекса пожарной опасности приведены в основном в зарубежных статьях [19]. Поэтому в данной публикации показана возможность прикладного применения современных климатических моделей для краткосрочного прогноза метеорологической пожарной опасности на территории РФ.

#### **Алгоритм краткосрочного прогноза метеорологической пожарной опасности**

Авторский алгоритм прогноза метеорологического показателя (индекса) пожарной опасности основан на результатах расчета глобальной клима-

тической модели GFS, которая реализована американским государственным агентством National Centers for Environmental Prediction (NCEP) и насчитывает 365 параметров, выставляемых с заблаговременностью от 1 до 10 суток (каждые 3 часа с 00 до 24 по UTC) в узлах градусной сетки  $0,5^\circ$  (приблизительно 50 км) проекции «долгота–широта». GRIB-файлы, хранящие прогнозны метеоданные, находятся в общем доступе в файловых каталогах по адресу <ftp://ftp.ncep.noaa.gov/pub/>.

В силу того, что на территории РФ для определения высыхания лесных горючих материалов используют дневную температуру воздуха и точки росы, измеренные в 13–15 часов местного времени, а также их увлажнения – суточный объем осадков с 9 часов предыдущего дня до 9 часов текущего дня, то в данной климатической модели воспользуемся следующими параметрами модели GFS: Temperature (TMP) – температура воздуха на высоте 2 м ( $^\circ\text{F}$ ); Relative humidity (RH) – относительная влажность воздуха (%); Total precipitation (APCP) – общее количество осадков ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ).

Для получения значения температуры точки росы  $\tau$  произведем конвертацию температуры и относительной влажности воздуха по формулам, приведенным в Руководстве Гидрометцентра СССР [13], действующем в настоящее время и успешно применяемом на практике [15]:

$$\tau = \frac{b f(t, R H)}{a - f(t, R H)},$$

$$f(t, R H) = \frac{a t}{b + t} + \ln\left(\frac{R H}{100}\right)$$

$$t = \frac{5}{9}(TMP - 32)$$

где TMP, RH – приземная температура и относительная влажность воздуха, рассчитанные в 13 ч местного времени с учетом часового пояса (для Хабаровского края и Еврейской автономной области UTC + 10 часов); а и b – константы, равные соответственно 17.27 и 237.7.

Степень увлажнения лесных горючих материалов с временным ограничением модели GFS определяем как общее количество осадков за сутки с 10 часов местного времени предыдущего дня до 10 часов текущего дня, также принимаем, что объем осадков  $1 \text{ кг}/\text{м}^2$  составляет 1 мм/сут.

Восстановление метеоданных в удаленных точках (центры участков растительности, местоположения ГМС) от заданных узлов градусной сетки климатической модели осуществляется

интерполяционными методами с географической привязкой данных.

Блок-схема алгоритма прогноза метеорологического показателя (индекса) пожарной опасности на основе климатической модели представлена на рис. 1.

Полученный алгоритм состоит из 4 последовательных этапов:

Получение метеоданных по прикладным протоколам передачи гипертекста НТТР и файлов FTP, опубликованных на веб-порталах Гидрометеоцентра (<http://meteoinfo.ru>), научно-производственного центра «Мэп Мейкер» (<http://gismeteo.ru>), Института космических исследований РАН (<http://meteo.infospace.ru>), агентства NCEP (<http://ncep.noaa.gov>).

Восстановление метеорологических элементов в центре участков растительности или ГМС интерполированием значений параметров смежных узлов модели методом билинейной интерполяции.

Расчет метеорологического показателя (индекса) пожарной опасности на примере показателя В.Г. Нестерова [10]. Вычисление данного показателя (обозначим  $P_i$ ) на  $i$ -ый текущий день осуществляется в виде рекуррентной функции  $P_i$  при начальном условии  $P_0=0$ . В соответствии с методикой В.Г. Нестерова она может быть представлена в виде системы уравнений:

$$P_i = \begin{cases} (t_i - \tau_i) t_i, & \text{при } x_i > 3 \text{ мм/сут.} \\ (t_i - \tau_i) t_i + P_{i-1}, & \text{при } x_i \leq 3 \text{ мм/сут.} \end{cases}$$

или в виде уравнения  $P_i = (t_i - \tau_i) t_i + P_{i-1} K(x_i)$ , где коэффициент  $K(x_i)$  задается на основе предельного количества осадков, при котором устраняется возможность загорания напочвенного покрова; он может принимать два значения: при количестве осадков ( $x_i$ ) более 3 мм/сут.  $K(x_i)$  равен 0; при  $x_i$  менее 3 мм/сут.  $K(x_i)$  равен 1. Для Дальнего Востока России при нулевых или небольших отрицательных значениях дневной температуры воздуха, которые могут наблюдаться в начале и в конце пожароопасного сезона, в расчетах функции  $P_i$  учитываются следующие рекомендации [2]:

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

где  $i, i-1$  – текущий и предыдущие дни.

Проверка качества алгоритма прогноза метеорологического показателя (индекса) пожарной опасности согласно существующим критериям прогнозирования гидрометеорологических явлений [1, 12]. На каждый день прогноза рассчитываются фактические ( $P_{i+n}$ ) и прогнозные ( $P_{i+n}^p$ ) значения показателя, среднее квадратичное отклонение

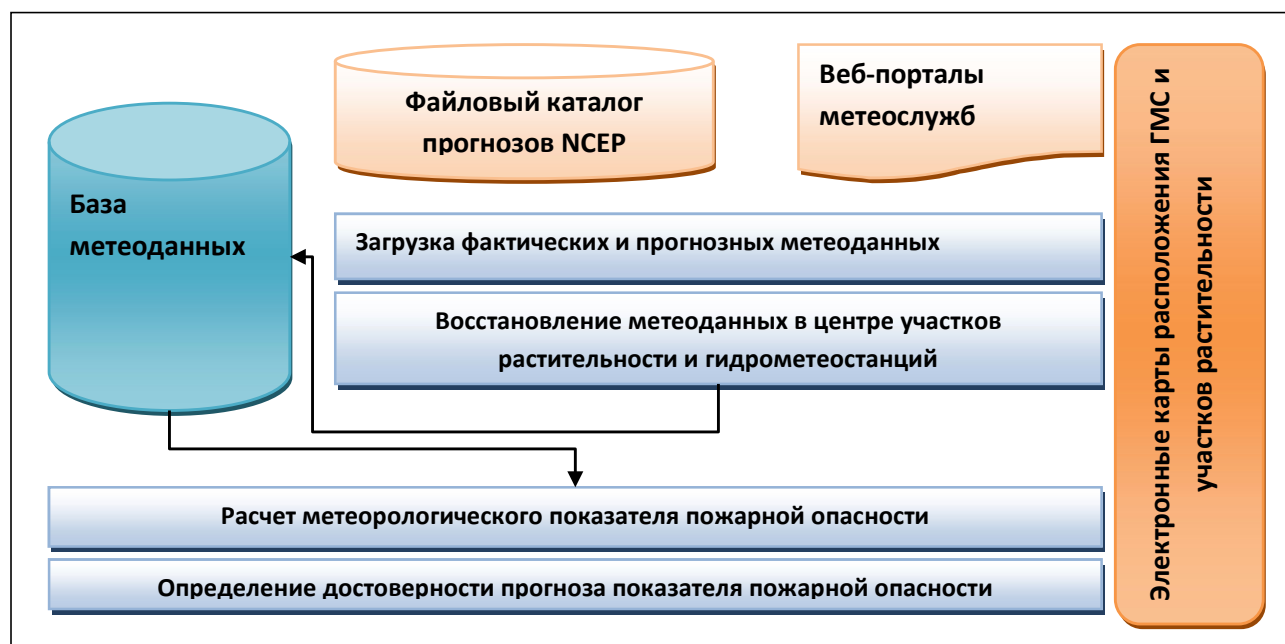


Рис. 1. Алгоритм прогноза метеорологического показателя пожарной опасности

Fig. 1. Forecast algorithm of meteorological fire danger index

$P_{i+n}^r$  за период заблаговременности прогноза ( $\sigma_{\Delta t}$ ), допустимая ( $\delta_{доп.}$ ) и средняя квадратичная погрешности ( $S$ ) проверочных прогнозов и их оправдаемость ( $\rho$ ).

### Программное обеспечение для выполнения расчетов

Программная реализация алгоритма планируется с использованием авторской реляционной базы метеорологических данных (БМД), созданной в системе управления базами данных MySQL 5.11 (рис. 2). В данной БМД хранятся фактические и прогнозные метеоданные ГМС, полученные из интернет-служб и климатической модели. Для хранения данных модели GFS на 10 дней в таблице «Прогнозы ГМС» добавлены числовые атрибуты TMP1...TMP10, RH1...RH10, TP1...10.

Сбор фактических данных ГМС будет осу-

ществляться по индексу Всемирной метеорологической станции (ВМО) из xls-отчетов лесоохранных служб (форма 1-МЕТЕО).

Восстановление прогнозных метеорологических параметров климатической модели GFS в указанной контрольной точке (ГМС) с заданными координатами выполняется с помощью системной утилиты degrib, разработанной в агентстве NCEP. Импорт результата восстановления параметров осуществляется с использованием модуля авторской информационной системы оценки и прогноза пожарной опасности растительности.

Таким образом, предложенный алгоритм имеет практическую значимость и может быть применен для оценки и краткосрочного прогноза метеорологической пожарной опасности в удаленных от ГМС участках растительности.

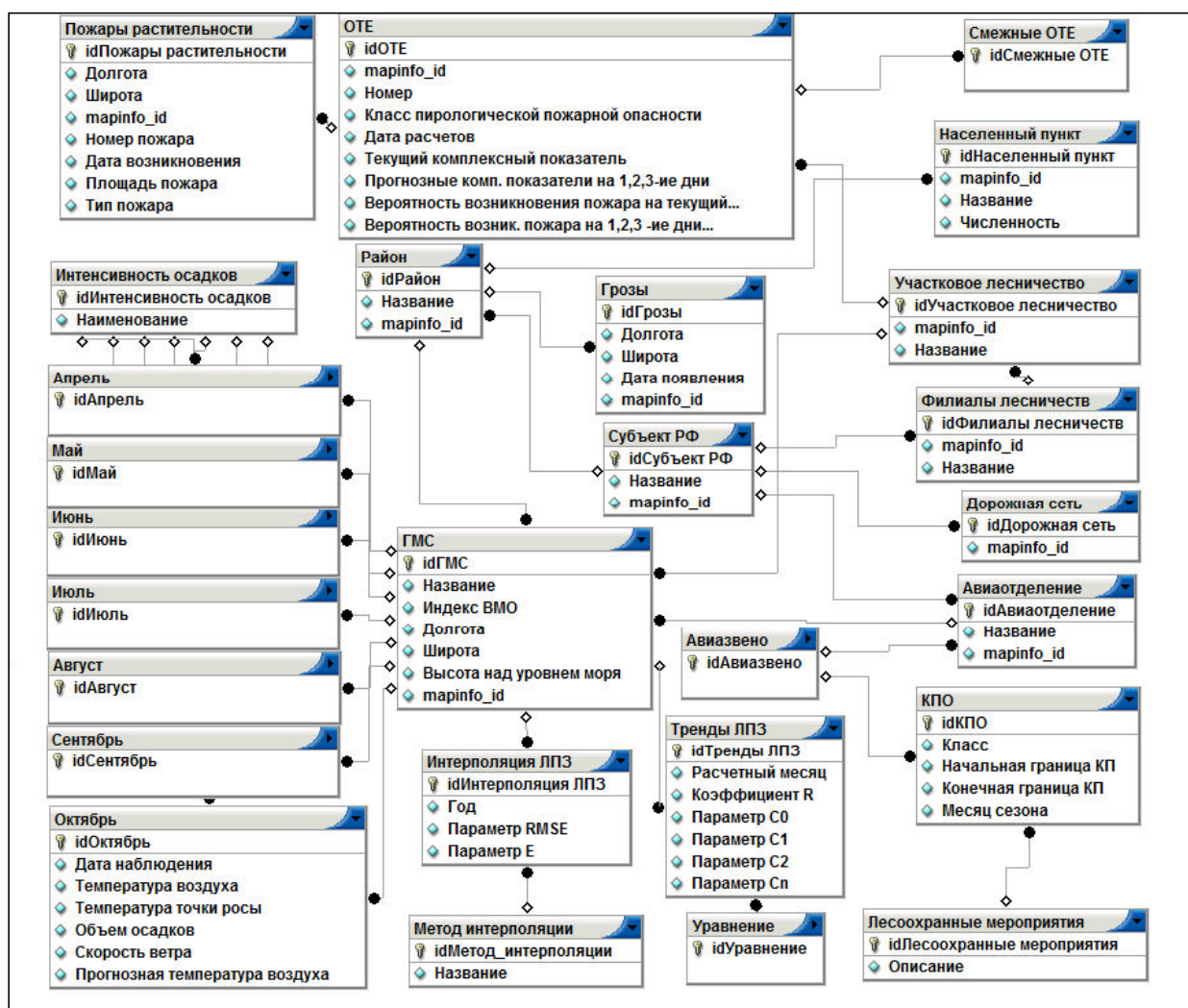


Рис. 2. Логическая схема базы метеорологических данных

Fig. 2. Logical scheme of the meteorological database

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Бефани Н.Ф. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 439 с.
2. Глаголев В.А. Оценка и прогноза пожарной опасности растительности на территории Еврейской автономной области: автореф. дис. ... канд. геогр. наук / ИВЭП ДВО РАН. Хабаровск, 2015. 24 с.
3. Горев Г.В. Оценка климатической предрасположенности территории к возникновению лесных пожаров на примере Томской области: автореф. дис. ... канд. геогр. наук / ТГУ. Томск, 2004. 24 с.
4. Егармин П.А. Система детальной оценки пожарной опасности лесной территории: автореф. дис. ... канд. техн. наук / СибГТУ. Красноярск, 2005. 21 с.
5. Захаров А.И. Динамика влажности лесных горючих материалов и возникновение пожаров от гроз (в условиях Тюменской области): автореф. дис. ... канд. с-х. наук / ЛенНИЛХ. Свердловск, 1983. 18 с.
6. Здерева М.Я., Виноградова М.В. Среднесрочный прогноз пожарной опасности в лесах по метеорологическим условиям // Метеорология и гидрология. 2009. № 1. С. 16–27.
7. 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.
8. 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.
9. Курбатский Н.П. Прогнозирование лесных пожаров с помощью ЭВМ // Лесное хозяйство. 1976. № 7. С. 51–55.
10. 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.
11. Пономарев Е.И., Сухинин А.И. Методика картирования и среднесрочного прогнозирования пожарной опасности лесов по условиям погоды // География и природные ресурсы. 2002. № 4. С. 112–114.
12. Руководство по гидрологическим прогнозам: вып. 3. Прогнозы ледовых явлений на реках и водохранилищах. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 290 с.
13. Савич В.А. Психрометрические таблицы. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1963. 350 с.
14. Соколова Г.В. Применение расчетных методов для краткосрочных прогнозов вероятного суточного числа лесных пожаров // Метеорология и гидрология. 1994. № 3. С. 63–67.
15. Соколова Г.В., Макогонов С.В. Разработка методики лесопирологического прогноза (на примере Дальнего Востока) // Метеорология и гидрология. 2013. № 4. С. 12–18.
16. Софронов М.А., Волокитина А.В. Пирологическое районирование в таежной зоне. Новосибирск: Наука, 1990. 204 с.
17. Хан В.М. Долгосрочное прогнозирование пожарной опасности лесов на основе ансамблевых сезонных прогнозов по модели ПЛАВ // Метеорология и гидрология. 2012. № 8. С. 5–17.
18. 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. Vol. 19, N 8. P. 1059–1066.
19. Roads J., Tripp P., Juang H., Wang J., Fujioka F., Chen S. NCEP–ECPC monthly to seasonal US fire danger forecasts // International Journal of Wildland Fire. 2010. Vol. 19. P. 399–414.

#### ALGORITHM OF SHORT-TERM FORECAST OF METEOROLOGICAL FIRE DANGER IN THE FAR EAST ON BASIS OF GLOBAL CLIMATE MODELS

V.A. Glagolev

*It is proposed the algorithm of meteorological fire danger forecast with a lead time of 10 days, based on the Global Forecast System climate model. The author has selected the system of control over the data and software for download of the data - National Centers for Environmental Prediction. The system is used to implement the algorithm in the information system of forecasting the occurrence and spread of vegetation fires in the Far East.*

**Keywords:** climate, fire danger, algorithm, vegetation fires.