*УДК 614.841.42:630*

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ**

**ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

*курсант Н.А. Дрожжин*

*ст. преподаватель, к.т.н. Р.Л. Белоусов*

*ФГБОУ ВПО «Академия гражданской защиты МЧС России»*

В статье рассмотрен один из возможных подходов прогнозирования количества лесных пожаров, который основан на анализе временных рядов и создании нечеткой продукционной системы.

Ключевые слова: временные ряды, аппроксимация, алгоритм Левенберга-Марквардта, нечеткие множества, нечеткая продукционная система, нечеткий логический вывод.

*kadet N. Drozhzhin*

*senior Lecturer, Ph.D. R.Belousov*

*Civil Defence Academy EMERCOM of Russia*

The article describes one of the possible approaches of forecasting the number of forest fires, which is based on the analysis of time series and the creation of fuzzy production system.

Keywords: time series, approximation, the Levenberg-Marquardt algorithm, fuzzy sets, fuzzy production system, fuzzy inference.

**Введение**

Лесные пожары относятся к числу природных явлений, оказывающих негативное влияние на население, его хозяйственную деятельность, а также на окружающую среду. Согласно официальным данным за период с 1998 по 2008 годы в стране ежегодно регистрировалось до 40 тыс. лесных пожаров, охватывающих около 40 тыс. га лесов. Ежегодный ущерб, причиненный пожарами исчислялся в миллиардах рублей [3].

Учитывая масштабы и последствия природных пожаров на территории России можно сделать вывод о том, что прогнозирование количества лесных пожаров является актуальной задачей для МЧС России.

Общая схема прогнозирования количества лесных пожаров сводится к пошаговому решению следующих основных задач:

*Шаг 1.*На первом шаге устанавливаются наиболее значимые пожароопасные факторы, которые оказывают влияние на развитие лесных пожаров, например: влажность воздуха, температура окружающей среды, количество осадков, облачность и т.д.

*Шаг 2.*Далее определяется связь между выявленными факторами (на 1-ом шаге) и лесными пожарами. Цель 2-го шага заключается в том, чтобы определить условия, от которых зависит количество пожаров и дать им количественную интерпретацию.

*Шаг 3.*На этом шаге необходимо сделать прогноз значений для каждого фактора на заданный интервал времени.

*Шаг 4.*По выявленным закономерностям (на 2-ом шаге) между пожароопасными факторами и лесными пожарами, исходя из того, что получены прогнозные значения каждого фактора в отдельности, прогнозируется количество лесных пожаров на заданный интервал времени.

Рассмотрим одну из возможных реализаций предложенного алгоритма на примере Сковородинского района Амурской области. Для проведения численных экспериментов использовались данные по погодным условиям в районе, полученные с метеостанции Игнашино [5]*,* и данные космического мониторинга, представленные количеством пожаров за каждый день (табл. 1).

Таблица 1

**Данные по погодным условиям и данные космического мониторинга**

**пожаров в Сковородинском районе Амурской области**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Дата | Тмакс, °C | Тмин, °C | Тсредн, °C | Осадки, мм | Облачность, % | Влажность, % | Ветер, м/с | Кол-во пожаров |
| 29.03.2008 | 9,40 | -7,10 | 2,52 | – | 77,86 | 63,33 | 0,43 | 2 |
| 30.03.2008 | 5,20 | -2,00 | 1,13 | – | 25,71 | 54,57 | 1,57 | 11 |
| 31.03.2008 | 9,00 | -8,50 | -0,50 | – | 56,25 | 63,13 | 1,88 | 3 |
| 01.04.2008 | 12,00 | -8,40 | 0,96 | – | 53,13 | 65,38 | 0,75 | 4 |
| 02.04.2008 | 4,30 | -6,20 | -0,06 | – | 53,75 | 65,38 | 2,13 | 4 |
| 03.04.2008 | 5,00 | -4,30 | -0,39 | – | 42,50 | 55,13 | 2,00 | 2 |
| 04.04.2008 | 9,60 | -10,80 | -0,50 | – | 13,13 | 62,00 | 1,63 | 20 |
| 05.04.2008 | 14,80 | -4,50 | 4,38 | – | 68,75 | 62,38 | 1,63 | 3 |
| 06.04.2008 | 11,20 | -6,10 | 2,94 | – | 22,50 | 63,63 | 1,50 | 14 |
| 07.04.2008 | 9,70 | -4,30 | 2,27 | – | 64,29 | 52,86 | 3,86 | 1 |
| 08.04.2008 | 0,00 | -7,20 | -3,05 | – | 64,38 | 53,25 | 1,88 | 2 |
| 09.04.2008 | 2,50 | -13,30 | -5,13 | – | 10,00 | 62,38 | 0,75 | 11 |
| 10.04.2008 | 4,00 | -13,40 | -4,79 | – | 78,13 | 81,00 | 1,88 | 2 |
| 11.04.2008 | 4,50 | -4,50 | -1,06 | – | 52,50 | 59,25 | 3,00 | – |
| 12.04.2008 | 10,30 | -7,80 | 1,77 | – | 57,14 | 43,71 | 2,00 | 1 |

**Альтернативная реализация алгоритма прогнозирования пожаров**

**Первый шаг.** Статистический материал по погодным условиям из табл. 1 представляет собой набор временных рядов. Перед тем как проводить анализ этих временных рядов, необходимо провести нормировку значений каждого ряда, т.е. привести их на отрезок [0,1] или [-1,1]. Это позволит сравнивать различные факторы между собой и их влияние на развитие лесных пожаров. Также целесообразным представляется временные ряды представить средними значениями по неделям. Для выявления наиболее пожароопасных факторов был проведен многофакторный дисперсионный анализ, результаты которого свидетельствуют о том, что *температура окружающей среды, влажность воздуха и скорость ветра* являются определяющими при исследовании пожароопасной обстановки. Остальные факторы имеют более слабое влияние на развитие лесных пожаров.

На рис. 1 представлены графики температуры окружающей среды, влажности воздуха и количества пожаров. Из анализа построенных графиков можно сделать следующие выводы:

* температура и влажность имеют явно выраженную периодичность;
* пожароопасный период характеризуется повышением температуры и понижением влажности, причем пожары начинаются, когда разница между нормированными значениями достигает 0.8, а их «пик» при 0.6.



*Рис. 1. Временные ряды температуры и влажности*

**Второй шаг.** Связи и закономерности между пожароопасными факторами и развитием лесных пожаров устанавливаются экспертным анализом данных по погодным условиям и по количеству пожаров. Степень субъективности этих закономерностей зависит от квалификации экспертов и выбранного метода анализа. Типичная структура таких закономерностей представляется логическим высказыванием *если A, то B* в форме импликации *AB,* например:

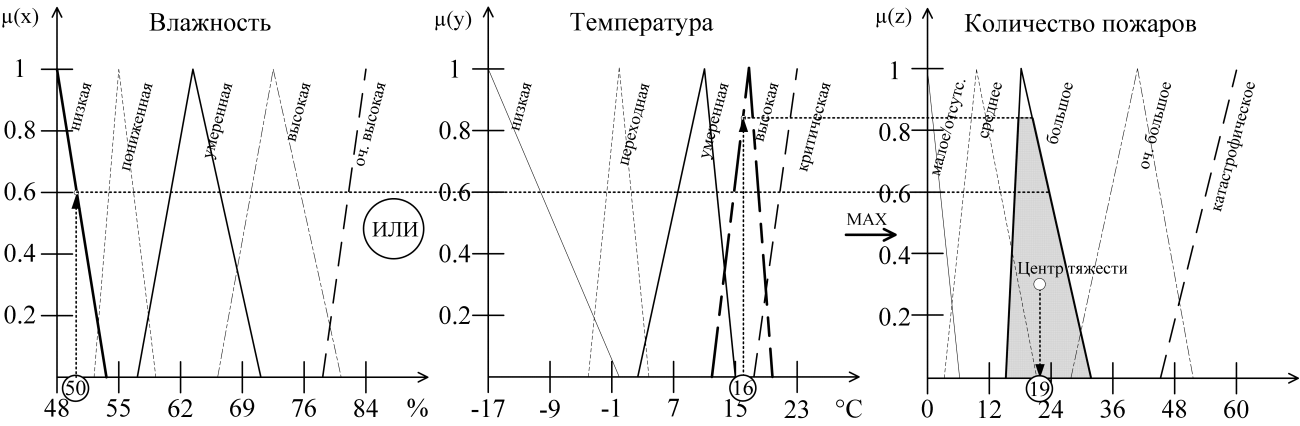
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *ЕСЛИ «влажность низкая» ИЛИ «температура высокая»,*  *ТО «количество пожаров большое»* | (1) |

Множество таких закономерностей составляет базу правил, которую в общем виде можно представить следующим образом:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *ПРАВИЛО\_1: ЕСЛИ «Условие\_1», ТО «Заключение\_1»*  *ПРАВИЛО\_2: ЕСЛИ «Условие\_2», ТО «Заключение\_2»*  *…*  *ПРАВИЛО\_n: ЕСЛИ «Условие\_n», ТО «Заключение\_n»* | (2) |

Поскольку в базе правил (2) условия и заключения формулируются в виде нечетких высказываний, например, выражение *«температура очень высокая»* не имеет однозначного численного эквивалента в градусах, то для получения вывода о количестве пожаров используется нечеткая продукционная система (НПС) [1]. В архитектуре НПС условия и заключения формулируются в форме нечетких лингвистических высказываний вида: «*β есть α»* с помощью связок «И», «ИЛИ», «ЕСЛИ, ТО»*,* где *β –* наименование лингвистической переменной, *α –* ее значение, которому соответствует отдельный лингвистический терм. Например, в рамках высказывания (1) лингвистическая переменная *«влажность»* принимает значение *«низкая»,* переменная *«температура» –* значение *«высокая».* В НПС значения входных переменных преобразуются в выходные переменные на основе использования нечетких правил продукций (2).

На рис. 2 показан нечеткий логический вывод в НПС по правилу (1). На вход поступает значение влажности 50% и температуры 16 °C, которым ставятся в соответствие значение терма *«низкая»* для влажности, терма *«высокая»* для температуры. Тем самым образуется два уровня отсечения. С использованием операции максимум выбирается тот уровень, линия которого лежит выше. Выбранная линия приводит к получению итогового нечеткого множества выходной переменной *«количество пожаров»* (фигура ABCD). Для получения количества пожаров находится центр тяжести этой фигуры [1]. Абсцисса точки центра тяжести характеризует величину количества пожаров. Нечеткий логический вывод в случае более сложных правил описан в [1]*.*



*Рис. 2. Нечеткий логический вывод в НПС*

**Третий шаг.** Данные по температуре окружающей среды и влажности воздуха имеют периодические сезонные колебания. Для их моделирования применяются методы спектрального анализа, в частности аппроксимация рядами Фурье [2]следующего вида:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3) |

Ряд (3) рассматривается как линейная модель множественной регрессии. Коэффициенты этого ряда *a0, a1, b1, a2, b2 … a8, b8* находятся с помощью алгоритма Левенберга-Марквардта [4].

На рис. 3 показана аппроксимация температурных данных по неделям рядом Фурье (3) и прогноз на весну 2008 года.



*Рис. 3. Аппроксимация рядом Фурье температурного ряда*

**Четвертый шаг.** На 2-ом шаге было показано, как НПС по входным значениям температуры и влажности позволяет сделать вывод о количестве пожаров на текущий момент времени. Если в качестве входных параметров НПС будут прогнозные значения температуры и влажности, то вывод о количестве пожаров будет прогнозируемым.

Исходя из этого для Сковородинского района Амурской области был проведен прогноз количества пожаров на весну 2008 года, результаты которого представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Прогноз количества пожаров на весну 2008 года**

**в Сковородинском районе Амурской области**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Неделя | Влажность, % | Влажность прогн., % | Температура, °С | Температура прогн., °С | Пожары | Пожары прогноз |
| 24.03.2008 - 30.03.2008 | 69,75 | 56,46 | -1,35 | -5,34 | 13 | 3 |
| 31.03.2008 - 06.04.2008 | 62,43 | 55,58 | 0,98 | -2,73 | **50** | 22 |
| 07.04.2008 - 13.04.2008 | 55,51 | 55,18 | -0,97 | -0,24 | 20 | 22 |
| 14.04.2008 - 20.04.2008 | 49,26 | 55,28 | 1,87 | 2,14 | 20 | 22 |
| 21.04.2008 - 27.04.2008 | 54,85 | 55,89 | 0,28 | 4,37 | 19 | 11 |
| 28.04.2008 - 04.05.2008 | 60,40 | 56,98 | 5,75 | 6,48 | 10 | 8 |
| 05.05.2008 - 11.05.2008 | 60,63 | 58,48 | 6,76 | 8,44 | 5 | 8 |
| 12.05.2008 - 18.05.2008 | 58,17 | 60,31 | 11,23 | 10,27 | **24** | 3 |
| 19.05.2008 - 25.05.2008 | 66,63 | 62,36 | 11,01 | 11,96 | 5 | 2 |
| 26.05.2008 - 01.06.2008 | 76,91 | 64,51 | 11,01 | 13,50 | 0 | 2 |

Прогноз является достаточно точным и отражает основную динамику изменения числа пожаров в течение пожароопасного периода. Одно из ограничений, не учтенных в предложенной реализации алгоритма, является наличие случайных выбросов (в табл. 2 числа отмечены жирным шрифтом), которые порождаются природными аномалиями и инертностью сложных природных систем.

**Заключение**

В данной статье был предложен алгоритм прогнозирования количества лесных пожаров и его реализация, основанная на нечетком логическом выводе. Анализ численных экспериментов дает основание полагать, что разработанный подход является универсальным и обеспечивает гибкость в прогнозировании за счет возможности корректировки правил вывода и критериев оценки.

Список литературы:

1. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTech. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.: ил.
2. Соколов Ю. Н. Компьютерный анализ и проектирование систем управления. Ч. 4. Статистическая динамика. – Учеб. пособие. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2008. – 300 с.
3. Цаликов Р.Х., Акимов В.А., Козлов К.А., МЧС России. Оценка природной, техногенной и экологической безопасности России – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2009. – 464 стр.
4. Marquardt D. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters // SIAM Journal on Applied Mathematics. – 1963. – Vol. 11, N 2. – P. 431–441.
5. http://rp5.ru/Архив\_погоды\_в\_Игнашино [дата обращения: 03.10.2012].