

УДК 681.518:630.431.1(571.62)

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПО УСЛОВИЯМ ПОГОДЫ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ СРЕДНЕГО ПРИАМУРЬЯ)

В.А. Глаголев, Р.М. Коган

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, г. Биробиджан

E-mail: glagolev_jar@mail.ru; koganrm@mail.ru

Создана информационная система оценки и прогноза пожарной опасности растительности, позволяющая выбирать оптимальные функции для расчета показателей пожарной опасности для рассматриваемой территории, а также производить автоматизированные краткосрочные прогнозы с оценкой их достоверности. Разработанные методики, основанные на многолетних метеорологических наблюдениях метеостанций Среднего Приамурья и прогнозах погодных условий общего пользования, предназначены для оперативного осуществления противопожарных мер лесоохранными службами и организациями.

Ключевые слова:

Информационные системы, оценка и прогноз пожарной опасности, метеорологические наблюдения.

Введение

Для районов Среднего Приамурья с большой лесистостью и напряженными пожароопасными сезонами, актуальна проблема оценки и прогнозирования лесопожарной ситуации по метеорологическим данным. В настоящее время для этого используются расчетные методы, которые отличаются наличием метеорологических элементов и их различным сочетанием. Их достоинством является простота расчетов и возможность использования баз метеорологических данных (БМД), но при этом необходима обработка многомерных массивов данных, привязанных ко времени их получения и для этого необходимо использование универсальной информационной системы (ИС), позволяющей оптимальным образом интегрировать атрибутивные и пространственные составляющие БМД с функциональными модулями (ФМ).

Методика 1. Оценка ПО на текущий день

Для оценки пожарной опасности (ПО) на текущий день (i) применяется несколько величин: лесопожарный показатель засухи (ЛПЗ), показатель засухи (ПЗ) и класс засухи (КЗ).

Основой для вычисления ЛПЗ служит оценка факторов, определяющих влагосодержание эталонных видов РГМ. Все виды расчетных ЛПЗ, которые используются в России [1], являются функцией дневной температуры воздуха (t_i , °C) и дневной температуры точки росы (τ_i , °C):

$$ЛПЗ = f(t, \tau). \quad (1)$$

Для расчета ПЗ используется соотношение:

$$ПЗ_i = f(t_i, \tau_i) + K(x_i)ПЗ_{i-1}, \quad (2)$$

где $K(x_i)$ – поправочный коэффициент на суточный объем осадков x_i , мм/сут.

В зависимости от величины ПЗ по шкалам, разработанным для определенных территорий, устанавливается КЗ, определяющий вероятность возникновения и распространения лесных пожаров.

Предложены следующие функции $f(t_i, \tau_i)$ и поправочные коэффициенты K для расчета ПЗ, которые отличаются сочетанием метеоданных (табл. 1).

Таблица 1. Функции f и поправочные коэффициенты K для расчета ПЗ

№	Название показателя	f	K
1	«Комплексный показатель горимости» В.Г. Нестерова (1949) [2].	$d\tau$	
2	«Показатель засухи» М.В. Гриценко (1962) [3]. С.М. Вонский, В.А. Жданко (1967) [4].	d	Если $x \leq 3$ мм/сут., то $K=1$; если $x > 3$ мм/сут., то $K=0$.
3	«Метеорологический показатель горимости леса» В.Г. Нестерова (1975) [5].	$t(t-\tau)$	
4	«Показатель влажности напочвенного покрова» С.М. Вонский, В.А. Жданко (1975) [6].	$t(t-\tau)$	Если $x \leq 0,5$ мм/сут., то $K=1$; если $x > 0,5$ мм/сут., то K эмпирически выведен для разных градаций осадков.
5	«Показатель влажности лесной подстилки» С.М. Вонский, В.А. Жданко (1975) [6].	$t(t-\tau)$	
6	«Показатель влажности с учетом гигроскопичности» М.А. Сафронов, А.В. Волokitина (1990) [2, 8].	$(t+10^\circ)$ $(t-\tau-5^\circ)$	Если $x \leq 3$ мм/сут., то $K=1$. Если $x > 3$ мм/сут., то K определяется по таблице изменения влажности с учетом гигроскопичности.

Примечание: d – дефицит влажности воздуха, мб

Для выбора функции f для расчета показателей ПО для определенного месяца j необходимо:

- создать БД метеоданных t , τ , x ;
- выбрать сухой i -ый день на основе предлагаемых нами ограничений (1):

$$x_{i-1} \leq 3 \text{ мм/сут.}, \quad x_i \leq 3 \text{ мм/сут.}, \quad x_{i+1} \leq 3 \text{ мм/сут.}$$

где $i-1$, i , $i+1$ – индексы предыдущего, текущего и следующего дней.

- рассчитать ЛПЗ «сухих» дней по функциям и коэффициентам, приведенным в табл. 1.
- вывести прогностическую зависимость показателей ПО «сухих» дней j -го месяца от дневной температуры:

$$ЛПЗ = z_j(t); \quad (3)$$

- выбрать функцию $f(t, \tau)$ для расчета ЛПЗ на основании наибольшего коэффициента детерминации ур. (3);
- рассчитать ПЗ, ур. (2);
- выбрать КЗ, согласно местным шкалам [9].

Методика 2. Краткосрочный прогноз ПО

Для осуществления краткосрочного прогноза на $i+1, i+2, i+3$ день необходимо:

1. Создать запись БД фактических метеоданных t_i, τ_i, x_i на текущий день.
2. Выбрать функцию $f(t, \tau)$ по методике 1.
3. Рассчитать ПЗ на текущий день, ур. (2).
4. Создать записи БД синоптических прогнозов: усредненная температура воздуха t_{cp} и интенсивность осадков int на каждый день прогноза.
5. Вывести ур. (3) по методике 1 для расчета ЛПЗ и отобрать их на основе коэффициентов детерминации.
6. Рассчитать ЛПЗ по ур. (3) на каждый день прогноза

$$ЛПЗ'_{i+1} = z_j(t'_{i+1}),$$

$$ЛПЗ'_{i+2} = z_j(t'_{i+2}),$$

$$ЛПЗ'_{i+3} = z_j(t'_{i+3}),$$

Таблица 2. Расчет ПЗ в зависимости от интенсивности выпадения осадков

Синоптический термин интенсивности осадков	Формализация интенсивности осадков, int	Уравнение расчета ПЗ в зависимости от int
Без осадков, сухая погода	1	$ПЗ_j = ПЗ_{j-1} + ЛПЗ'_j$
Преимущественно без осадков, небольшие дожди, небольшой кратковременный дождь	2	$ПЗ_j = ПЗ_{j-1} + ЛПЗ'_j$
Дождь, осадки, морозящий дождь, дождливая погода	3	$ПЗ_j = ПЗ_{j-1} + ЛПЗ'_j / 2$
Местами дожди, кратковременные дожди, местами кратковременные дожди	4	$ПЗ_j = ПЗ_{j-1} + ЛПЗ'_j$ $ПЗ_j = ЛПЗ'_j$ если $INT_{T-1} = 4$ и $INT_{T-2} = 4$
Временами дожди	5	$ПЗ_j = ПЗ_{j-1} + ЛПЗ'_j$ $ПЗ_j = ЛПЗ'_j$ если $INT_{T-1} = 5$ и $INT_{T-2} = 5$ $ПЗ_j = ЛПЗ'_j$ если $INT_{T-1} = 5$
Значительный дождь, сильный дождь, очень сильный дождь, очень сильные осадки, дождь временами сильный	6	$ПЗ_j = ЛПЗ'_j$

Примечание: $int_{i-1, i-2}$ – прогнозируемая интенсивность осадков на 1-й, 2-й и 3-й предыдущие дни, $ЛПЗ'_i$ – прогнозируемое значение на i -й день

где $z_j(t'_i)$ – функция расчета прогноза ЛПЗ на i -й день j -го месяца пожароопасного сезона.

7. Произвести формализация прогнозируемого количества осадков, выбрать уравнения для расчета $ЛПЗ'_{i+1}, ЛПЗ'_{i+2}, ЛПЗ'_{i+3}$ в зависимости от интенсивности осадков $int_{i+1}, int_{i+2}, int_{i+3}$ согласно табл. 2 и рассчитать их значения.
8. Выбрать КЗ, согласно местным шкалам.
9. При поступлении оперативных данных ЛПЗ/ постоянно заменять на ЛПЗ, рассчитанные по методике 1, и начинать вычисления с п. 6.

Методика 3. Проверка достоверности прогноза ПО

Прогноз ПО по условиям погоды относится к методике прогнозов гидрометеорологических явлений, которые обычно сводится к построению или вычислению корреляционных зависимостей между элементами, которые предсказывают, и основными факторами, его обуславливающими [1].

Допустимая погрешность прогноза ЛПЗ рассчитывается для особо опасных «сухих» дней.

Для определения допустимой погрешности прогноза ЛПЗ ($\delta_{дон}$) и критерия качества методик 1 и 2 необходимо:

1. Создать БД ЛПЗ «сухих», рассчитанных по методике 1.
2. Определить среднюю величину изменений ЛПЗ:

$$\Delta_j = \sum_{i=1}^{N-j} (ЛПЗ_i - ЛПЗ_{i+j}) / N - j,$$

где N – количество «сухих» дней.

3. Вычислить среднее квадратичное отклонение σ :

$$\sigma_j = \sqrt{\sum_{i=1}^N (ЛПЗ_i - \Delta_j)^2 / N}.$$

4. Рассчитать допустимую погрешность

$$\delta_{дон.j} = 0,675\sigma_j.$$

6. Рассчитать критерий качества методики прогноза с заблаговременностью j суток S/σ_j , где S – средняя квадратичная ошибка связи $ЛПЗ=z(t)$:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^N (ЛПЗ_i - ЛПЗ'_i)^2 / N}.$$

Методика может быть рекомендована к использованию, если она удовлетворяет условиям качества для гидро- и метеопрогнозов [10, 11].

Прогнозы КЗ ПО на основе разработанной методики краткосрочного прогноза составляются в течение пожароопасного сезона. Оценка прогнозов осуществляется по каждому месяцу отдельно согласно указаниям [5, 12]. При совпадении прогнозического и фактического КЗ оправдываемость равна 100 %, при различии на единицу – 50 %, в остальных случаях – 0 %.

Разработанная ИС содержит взаимосвязанные ФМ. Схема иерархии модулей и их взаимосвязь изображена на рис. 3.



Рис. 3. Схема взаимодействия ФМ

Структура ФМ описана ниже:

1. Модуль «Метеоданные»

Алгоритмы для ввода и редактирования базы метеорологических данных, а также возможность импорта данных (XML, CSV) и метеорологических сервисов интернет (gismeteo.ru, dvpogoda.ru, meteo.ru);

2. Модуль «Показатели ПО»

Алгоритмы расчета показателей ПО территории по табл. 1;

3. Модуль «Прогностические уравнения»

Алгоритмы вывода корреляционных уравнений зависимости между показателями ПО и метеоданными. Корреляционные уравнения представлены трендами, включая коэффициенты их детерминации [4];

4. Модуль «Краткосрочный прогноз»

Алгоритмы краткосрочного прогноза ПО на основе фактических и прогнозируемых метеоданных, который рассчитывается по оперативным прогнозируемым метеорологическим элементам на следующие 1–3 дня и метеоданным текущего дня. По мере поступления оперативных метеоданных производится перерасчет показателей ПО с заменой прогностических метеорологических элементов на фактические;

5. Модуль «Метрологические характеристики»

Алгоритмы для расчета характеристик на основе ранее выведенных корреляционных уравнений в модуле «Прогностические уравнения». На каждый день рассчитывается среднее квадратичное отклонение изменения прогнозируемой величины за период заблаговременности прогноза, допустимая погрешность, средняя квадратичная погрешность и оправдываемость прогнозов.

Особенностью ИС является возможность интеграции и расширения с помощью дополнительных ФМ; построение электронных карт территориального распределения показателей ПО, созданных в геоинформационных системах.

СД предназначен для хранения информации о структурах, типах и форматах представления метеорологических данных, принадлежности их пользователям и разграничения доступа в БМД. Функции СД выполняются СУБД и вызываются из основного меню ФМ.

Персонал ИС состоит из следующих групп пользователей: разработчик – выполняет функции поддержания технических и программных средств ИС в работоспособном состоянии; оператор – производит регистрации метеорологических данных и их вывод с помощью ФМ; аналитик – получает результаты и проводит их оценку.

Результаты

С помощью разработанной системы проведен анализ ПО территории Среднего Приамурья по данным 12 метеостанций с 1960 по 2004 гг.

Для расчета показателей ПО с использованием функции $f(t, \tau)$, табл. 1, произведен выбор корреляционных уравнений $z(t)$ для расчета прогностических ЛПЗ. Наибольший коэффициент детерминации получен при использовании функции $f(t-\tau)$, на основании которого проведены все последующие расчеты (табл. 3).

Таблица 3. Коэффициенты корреляции уравнения ЛПЗ= $f(t)$ для «сухих» дней по данным метеостанции «Биробиджан»

Функция $f(t, \tau)$ для расчета ЛПЗ	Коэффициент корреляции ЛПЗ= $f(t)$						
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
$t(t-\tau)$	0,9	0,84	0,7	0,69	0,55	0,52	0,88
$(t+10^{\circ})(t-\tau-5^{\circ})$	0,72	0,67	0,55	0,57	0,38	0,23	0,63

Для осуществления краткосрочного прогноза для расчета ЛПЗ использованы значения дневной температуры из 3-х дневного прогноза и синоптическая градация осадков, после ее предварительной формализации. Краткосрочный прогноз ПО по данным метеостанции «Биробиджан» приведен в табл. 4.

Таблица 4. Краткосрочный прогноз ПО по данным метеостанции «Биробиджан»

Дата	Метеоданные				КЗ		
	Фактические		Прогнозные		Факт.	Прогноз.	
	t	τ	x	$t_{\text{ф}}$			
12.04.04	11,6	-1,7	0	7	Небольшой дождь	1	1
13.04.04	-5,6	-0,8	0	6	Небольшие осадки	2	1
14.04.04	0,5	-1	2	6	Преимущественно без осадков	1	2
15.04.04	1	-6,6	0	8	Временами осадки	1	1
16.04.04	4,5	-4,4	0	5		1	2
17.04.04	10,8	-6,4	0	9	Временами осадки	2	2
18.04.04	12	-2,7	2	8	Кратковременный дождь	2	2
19.04.04	4,3	2	2	11	Дождь	2	3
21.04.04	10,1	0,7	0,7	5	Преимущественно без осадков	1	3
22.04.04	8	0	0	9		1	2

Оценка эффективности прогнозов выполнена на примере особо опасных «сухих» дней [14]. На

каждый прогнозный день рассчитана вероятность подтверждения прогноза, которая позволяет считать разработанные методики прогноза удовлетворительными согласно существующим критериям прогнозирования гидрометеорологических явлений (табл. 5).

Таблица 5. Вероятность оправдываемости краткосрочного прогноза метеостанции «Биробиджан», 2003–2004 гг.

День \ Месяц	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
1	0,79	0,64	0,75	0,61	0,67	0,60	0,70
2	0,81	0,45	0,70	0,65	0,64	0,65	0,57
3	0,76	0,43	0,65	0,67	0,70	0,46	0,55

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Софронов М.А., Волокитина А.В. Пирологическое районирование в таежной зоне. – Новосибирск: Наука, 1990. – 203 с.
- Нестеров В.Г. Горимость леса и методы ее определения. – Л.: Гидрометеиздат, 1949. – 76 с.
- Гриценко М.В. О новой шкале горимости // Метеорология и гидрология. – 1962. – № 3. – С. 28–34.
- Вонский С.М., Жданко В.А. Методические указания по оценке степени засушливости пожароопасных сезонов и расчету вероятности их наступления. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1967. – 21 с.
- 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.
- Жданко В.А., Гриценко М.В. Метод анализа лесопожарных сезонов: Практические рекомендации. – Л.: ЛНИИЛХ, 1980.
- Софронов М.А. Система пирологических характеристик и оценок как основа управления пожарами в бореальных лесах: Дис. ... д-ра сельскохозяйств. наук. – Красноярск, ВНИИПОМлесхоз, 1998. – 60 с.
- 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.
- Бефани Н. Ф. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 439 с.
- Наставление по службе прогнозов. Прогнозы режима вод суши. – Л.: ЦИП (Центральный институт прогнозов), 1962. – Ч. 1. – 157 с.
- Методические указания по прогнозированию пожарной опасности в лесах по условиям погоды. – М.: Гидрометеиздат, 1975. – 16 с.
- Codd E.F., Codd S.B., Salley C.T. Providing OLAP (On-Line Analytical Processing) to User-Analysts: An IT Mandate. – E.F. Codd & Associates, 1993.
- Глаголев В.А., Коган Р.М., Соколова Г.В. Методика автоматизированного прогноза пожарной опасности Приамурья и оценка ее эффективности // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 12. – С. 45–53.

Заключение

Разработана информационная система оценки и прогноза пожарной опасности территории, основанная на метеорологических наблюдениях за базовый период (40–50 лет) и прогнозах погодных условий общего пользования. Система включает автоматизированный выбор методик расчета показателей пожарной опасности и их краткосрочного прогноза и может быть использована на любой территории, на которой проводятся регулярные метеорологические наблюдения.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта ДВО РАН 06-ОНЗ-116 «Социально-экономические и природные факторы возникновения и развития пожаров растительности на юге Дальнего Востока».

Поступила 04.02.2009 г.