

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПРОГНОЗА ПОЖАРОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПО ПРИРОДНЫМ УСЛОВИЯМ

Р.М. Коган, В.А. Глаголев
Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН
г. Биробиджан, Россия, koganrm@mail.ru

INFORMATION-ANALYTICAL SYSTEM OF FORECAST VEGETATION FIRES IN NATURAL CONDITIONS

R.M. Kogan, V.A. Glagolev
Institute for Complex Analysis of Regional Problems
Birobidzhan, Russia, koganrm@mail.ru

Abstract. A system for spatial prediction for fire danger as function of weather and pyrological vegetation characteristics was constructed. The method of calculating the time conducted vegetable combustible materials in fire condition of each month of the season was suggested. Calculate the probability of fires and danger periods of plant formations in a monsoon climate. The geographic information system was developed, it was tested in the Middle Amur region in the Russian Far East.

Keyword: fires, vegetation, fire danger, forecast, information-analytical system.

Введение. Пожары относятся к факторам, непосредственно определяющим состояние растительности, нижних слоев атмосферы, почв, гидрологического режима в районах их возникновения и распространения. Они являются важным экологическим фактором образования и устойчивого существования бореальных лесов; во многом определяют возрастную структуру, видовой состав, ландшафтное разнообразие и мозаичность растительного покрова, а также энергетические потоки и биогеохимические циклы, особенно те, которые влияют на глобальный углеродный цикл. Опасность возникновения пожаров зависит от многих факторов: типа и свойств растительности и соответствующих им растительным горючим материалам (РГМ) как проводников горения, метеорологических показателей, солнечной радиации, рельефа, свойств подстилающей поверхности, грозовой активности и пространственного расположения антропогенных источников огня [4].

Постановка проблемы. Одной из основных задач лесной пирологии является прогнозирование возникновения пожаров растительности, обусловленное природными факторами и антропогенной нагрузкой на территорию.

Охрана и воспроизводство растительных ресурсов особенно важна для районов со значительной лесистостью, в которых леса являются значительным экономическим потенциалом, служат главным резервом биологического разнообразия, фактором оздоровления воздушной и водной сред, регулирования климата и гидрологических параметров. Так, на Дальнем Востоке России (ДВР) они составляют основную часть (81,1%) земельного фонда региона; запас древесины – примерно 20,7 млрд. м³, из которых на спелые и перестойные насаждения, пригодные к промышленной заготовке, приходится 10,1 млрд. м³, поэтому задача их сохранения и приумножения является одной из важнейших. Борьба с лесными пожарами занимает особое место в лесопользовании на территории всего Дальневосточного региона, при этом следует выделить территорию Среднего Приамурья, например, Еврейскую автономную область (ЕАО), в связи со значительным вкладом лесопромышленного комплекса в экономику данной территории, и увеличением спроса на древесину всех видов пород (хвойных, твердолиственных, мягколиственных) со стороны лесопользователей Российской Федерации и КНР. Лесной фонд отличается высокой пожарной опасностью, наблюдается самая большая на Дальнем Востоке плотность пожаров и значительные площади горельников [15]. Пирологические характеристики климата [5] определяют большую продолжительность пожароопасного сезона (апрель–октябрь, иногда начало ноября), наличие трех периодов различной горимости растительности (весенне-летнего–осеннего) и неравномерность распределения пожаров по территории [9].

Известные методики прогноза возникновения пожаров разработаны на основе эмпирических (статистических), полуэмпирических (физико–статистических) и вероятностных методов, которые отличаются набором исходных данных; принципами, схемами и моделями расчета; заблаговременностью, эффективностью и оправдываемостью [6]. Некоторые из них реализованы в Европе, Америке и Австралии, например: канадская CFFDRS, американская NFDRS, французская NumericalRisk, австралийская FDRS, испанская DER, итальянские IMPI и IREPIINDEX, португальская PORT, финская FFMI и др. [Кузнецов, 2009]. В России разрабатываются детерминированно-вероятностные методы, в которых рассчитываются три составляющих: вероятность возникновения пожаров по метеоусловиям, по природным (молнии) и антропогенным источникам различного происхождения [3]. Вероятностные члены оцениваются через частоту событий по статистическим данным за базовый период, детерминированные основаны на физических моделях низкотемпературной сушки [11]. Основная проблема состоит в расчете второй составляющей, поскольку для это-

го требуется использование переменных во времени данных о физическом состоянии слоев растительных горючих материалов (РГМ), например, 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 [11], или для реальных территорий, но при выделении одного типа проводника горения [3]. Интересный подход к устранению этой проблемы предпринят в [14] путем определения среднего значения метеорологического показателя пожарной опасности, при котором возникали пожары, однако при этом не учтено изменение пирологических свойств растительности в течение пожароопасного сезона, что значительно уменьшило достоверность прогноза. Поэтому целью работы является создание системы пространственного прогноза возникновения пожаров по погодным условиям и пирологическим характеристикам растительности, и прогноз на ее основе вероятности возникновения пожаров растительности на юге ДВР.

Материалы и методы исследования. Сформированы две базы ежедневных данных (1970–2012 гг.). Первая содержит фактические метеоданные 10 гидрометеостанций (ГМС), расположенных на юге ДВР («Облучье», «Биробиджан», «Екатерино-Никольское», «Смидович», «Ленинское», «Сутур», «Урми», «Победа», «Хабаровск», «Хорское», «Троицкое») и прогнозные – с сайтов ГУ Гидрометцентра России [http://meteoinfo.ru] и ИКИ РАН [http://meteo.infospace.ru]: 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.

В территорию репрезентативности ГМС включены 30 км зоны [15], зоны ответственности определены по полигонам Тиссена [6] (рис. 1).

Во второй представлены сведения о пожарах растительности по материалам КГУ «ДВ авиабаза», ОГБУ «Лесничество ЕАО» и космоснимкам с сайтов NASA и ФАЛХ «Авиалесоохрана», которые включают даты обнаружения и ликвидации пожара, номера кварталов лесничеств или координаты других операционных территориальных единиц (ОТЕ), тип пожара (лесной /не лесной).

Расчет ежедневных показателей фактической пожарной опасности производился по методу В. Нестерова [8], который применяется в системе «ИСДМ - Рослесхоз», (уравнения 1–3):

$$L_i = f(t, \tau, d) \quad (1)$$

$$P_i = L_i \quad \text{при } x > 3,00 \text{ мм / сут} \quad (2)$$

$$P_i = L_i + P_{i-1} \quad \text{при } x < 3,00 \text{ мм / сут} \quad (3)$$

где: L_i , P_i – лесопожарный и комплексный показатели, t – дневная температура воздуха, τ – дневная температура точки росы, x – суточный объем осадков, мм.

Расчет прогнозного значения лесопожарного показателя L'_{i+n} на $i+n$ -ый день проводится по авторской методике по корреляционным уравнениям зависимости L_i в особо опасные «сухие» дни от дневной температуры воздуха $t^{\circ}C$ для каждого месяца пожароопасного сезона на основании ежедневных метеоданных за базовый период в 30–50 лет [Соколова, 2006]. К «сухим» отнесены дни, в которых не отмечался дождь, или количество осадков (x) не превышало 3 мм/сут., и которым предшествовали и следовали сутки без дождя или с осадками в этом же объеме: $x_{i-1} \leq 3 \text{ мм/сут.}$; $x_i \leq 3 \text{ мм/сут.}$; $x_{i+1} \leq 3 \text{ мм/сут.}$; где $i-1$, i , $i+1$ – индексы предыдущего, текущего и следующего дней. 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 больше критического значения $r \geq 0,7$ и $|r|/\sigma_r \geq 2$.

Комплексный показатель P'_{i+n} на $i+n$ -ый день прогнозируется на основе разработанных нами кодов синоптических терминов интенсивности осадков (INT) и системе уравнений, аналогичных уравнению В. Нестерова для расчета фактических значений P_i , принцип использования которых показан в таблице 1 на примере трехдневного прогноза. Класс пожарной опасности (КПО) определяется по региональной шкале.

Таблица 1

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

Термин	Код(INT)	Уравнения
Без осадков, сухая погода	1	
Небольшой дождь, слабый дождь, небольшие осадки	2	$P'_{i+n} = L'_{i+n} + P_{i+n-1} \quad (№ 1)$
Морось, морозящие осадки, морозящий дождь, дождливая погода	3	$P'_{i+1} = L'_{i+1} + P_i \quad (№ 1)$ $P'_{i+n} = (L'_{i+n} + P_{i+n-1} + L'_{i+n}) / 2 \quad (№ 2)$

дождь, осадки, дождливая погода	4	$P'_{i+n} = (L'_{i+n} + P_{i+n-1}) + L'_{i+n} / 2$ (№ 2)
Местами дождь, кратковременный дождь, кратковременные дожди	5	$P'_{i+n} = L'_{i+n} + P_{i+n-1}$ (№ 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)
Значительный дождь, сильный дождь, очень сильный дождь, ливневый дождь	6	$P'_{i+n} = L'_{i+n}$ (№4)
Без осадков, сухая погода.	1	$P'_{i+n} = L'_{i+n} + P_{i+n-1}$ (№ 1)
Дождь, осадки, дождливая погода	4	$P'_{i+n} = (L'_{i+n} + P_{i+n-1}) + L'_{i+n} / 2$ (№ 2)

Примечание*:- $n = 1..3$ – день прогноза; L'_{i+n}, P'_{i+n} – лесопожарный и комплексный показатели на $i+n$ день прогноза, INT– код формализованного синоптического термина прогноза осадков, x_{i+n} и t_{i+n} прогнозируемые объем осадков и температуры воздуха на $i+n$ -ый день.

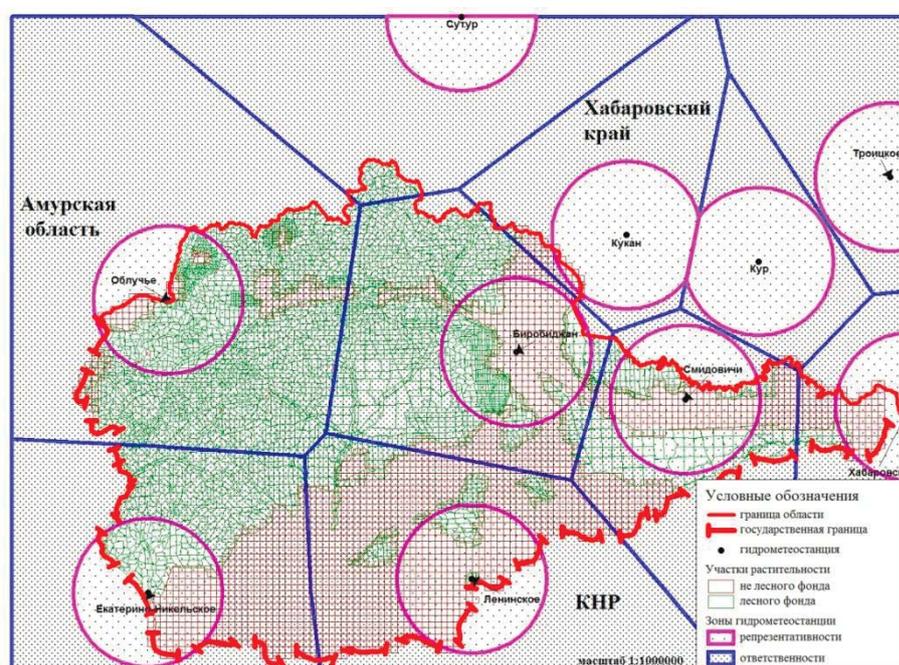


Рис. 1. Сеть операционных территориальных единиц, зоны ответственности и влияния ГМС на территории Среднего Приамурья

В качестве ОТЕ использована нерегулярная сеть кварталов ОГБУ «Лесничество ЕАО» с однозначно идентифицируемыми параметрами: порядковый номер, номер филиала, участкового лесничества или квартала; и регулярная сеть не лесного фонда, которые характеризуются координатами центра (рис. 1).

Результаты исследования и их обсуждение. Возникновение пожаров зависит от процессов высыхания-увлажнения растительности, которые определяют переход ее в состояние «пожарной зрелости», зависящее от свойства самой растительности и от погодных условий.

Для оценки природных пирологических свойств растительности использована шкала [16], по которой растительность отнесена к одному из пяти классов опасности. Влияние погодных условий определено по величине критического значения комплексного показателя (табл. 2).

Для исследования выбран пожароопасный сезон 2010 г., когда в лесном фонде было зарегистрировано 116 пожаров, огнем пройдено 16,2 тыс. га, в том числе 3,2 тыс. га на лесных землях. Анализ фактической горимости показал, что значительная часть пожаров возникла в ОТЕ, в которых преобладает растительность I–III степени опасности – 33,4 и 38,0 % соответственно, а наименьшее – в растительности V степени (0,4%). Определен период нахождения растительности в пожароопасном состоянии в зависимости от погодных условий весеннего, летнего и осеннего периодов. Так, растительные формации I степени опасности могут загораться при наличии источника огня в течение 109; II степени – 90, III степени – 67, IV степени – только 29 дней при общей продолжительности сезона 214 дней (табл. 3).

Степень пирологической пожарной опасности участков основных растительных формаций и возможность их возгорания при определенных погодных условиях на территории Среднего Приамурья

Степень опасности	Растительная формация, участки растительности [13]	Значение комплексного показателя [18]	
		весна, и осень	лето
I Очень высокая	Не покрытые лесом площади, редины, вырубки с травяным покровом или ягелем	300	750
	Лиственнично-еловые и елово-лиственничные горные леса	300*	750*
		350	1000
II Высокая	Лиственнично-еловые и елово-лиственничные горные леса	350	1200
	Широколиственно елово-кедровые леса (северные кедровники)	400*	1400*
	Мелколиственные леса и редколесья на горных склонах	420	1500
	Широколиственно-дубовые леса восточных и западных склонов	450	1500
III Средняя	Широколиственные кустарниковые леса на склонах	480	1600
	Ельники – зеленомошные	650	2000
	Ельники кустарничково-мелкотравные зеленомошные	700	2500
	Ельники среднего горного пояса	750	2800
IV Умеренная	Осинники и смешанные леса на северных склонах	750	3000
	Лиственничники кустарничково-моховые с ериком, редколесья межгорных долин	2000	4000
V Низкая	Лиственничники осоко-сфагновые, ельники сфагновые заболоченные, болота сфагновые, постоянно увлажненные	5000*	7000*

Вероятность возникновения пожаров растительности в зависимости от погодных условий рассчитывается по формуле:

$$F_{i,j}(C) = \frac{P_i'}{P_{cr}}, \quad (4)$$

где: $F_{ij}(C)$ – прогноз возникновения пожаров, P_i' прогнозируемое значение комплексного показателя в i -день, P_{cr} – значение комплексного показателя, при котором возможно горение определенного типа растительности в зависимости от периода пожароопасного сезона.

Для расчета комплексного показателя P_i в i -ый день и его прогноза на следующие n суток $P'_{i+1}, \dots, P'_{i+n}$ в каждом ОТЕ использовано два метода:

1. В зоне репрезентативности ГМС сначала рассчитываются прогнозные значения лесопожарного показателя L'_{i+n} по корреляционным уравнениям вида $L'_1 = C_0 e^{C_1 t} + C_2$ ($R \geq 0,7$), где: C – коэффициенты, t – прогнозируемая температура воздуха на 13–15 ч. местного времени, а затем проводят прогноз комплексных показателей P'_{i+n} по уравнениям табл.1., что позволяет определять классы пожарной опасности с достоверностью 0,77–0,96.

2. Вне зон репрезентативности ГМС использованы восстановленные значения L'_{n+i} . Метод интерполяции выбран из группы детерминистических или геостатистических с географической привязкой по минимальному значению среднеквадратической ошибки $RMSE_m$ [17] и наибольшей величине коэффициента эффективности E_m при выполнении условия $0,5 \leq E_m \leq 1$ [18]. Проведен анализ 9 интерполяционных методов, построен ансамбль из 26964 карт с изолиниями восстановленных значений L'_{n+i} . При последовательном использовании каждой ГМС в качестве контрольной точки рассчитана среднеквадратическая ошибка и количество пожароопасных сезонов с эффективностью прогноза $E_m > 0,5$, и показано, что приемлемыми являются локальная полиномиальная интерполяция, обратно взвешенные расстояния и базовые радиальные функции (фрагмент приведен в табл. 4).

Таблица 3

Количество дней пожароопасного сезона, в которых возможно возгорание растительности на территории Среднего Приамурья

Класс, Степень опасности	Основные растительные формации	IV (Месяц)		V		VI		VII		VIII		IX		X	
		A	%	A	%	A	%	A	%	A	%	A	%	A	%
I Очень высокая	*Не покрытые лесом площади, редины, вырубки с травяным покровом или ягелем	15	49	22	72	17	55	12	37	12	39	20	66	22	70
	Лиственнично-еловые и елово-лиственничные горные леса	13	45	22	70	15	49	9	30	9	28	19	63	21	66
	Леса и редколесья из дуба монгольского на южных склонах	13	45	22	70	13	45	8	25	7	23	19	63	21	66
II Высокая	Среднее	13	46	22	71	15	49	10	31	9	30	19	65	21	67
	Широколиственно елово-кедровые леса (северные кедровники)	11	38	22	70	12	39	6	19	6	19	18	59	20	63
	Мелколиственные леса и редколесья на горных склонах	11	36	21	69	12	39	5	17	5	15	17	56	20	63
	Широколиственно-дубовые леса восточных и западных склонов	11	35	21	67	12	39	5	17	5	15	16	54	19	61
	Широколиственные кустарниковые леса на склонах	10	33	20	64	11	37	5	17	4	14	15	51	18	59
III Средняя	Среднее	11	36	21	68	12	39	5	18	5	16	17	56	19	62
	Ельники – зеленомошные	8	27	18	59	10	33	4	12	3	9	13	42	16	52
	Ельники кустарничково-мелкотравные зеленомошные	8	26	18	58	7	24	2	7	2	5	12	39	16	51
	Ельники среднего горного пояса	7	24	17	56	6	21	2	6	1	5	11	36	15	49
	Осинники и смешанные леса на северных склонах	7	24	17	56	6	19	2	6	1	4	11	36	15	49
IV Умеренная	Среднее	8	26	18	58	8	26	3	9	2	7	12	40	16	51
	Лиственничники кустарничково-моховые с ериком, редколесья межгорных долин	1	4	10	32	4	14	0	1	1	3	4	13	5	17
V Низкая	Среднее	1	2	11	34	5	15	1	2	1	3	5	14	6	18
	Лиственничники осоко-сфагновые, ельники сфагновые заболоченные, болота сфагновые, постоянно увлажненные	0	0	2	6	0	1	0	0	0	0	1	2	0	0

Примечание: * А – количество дней

Характеристики методов интерполяции лесопожарного показателя L_i (1999–2012 гг.)

Контрольные точки (ГМС)	Метод интерполяции						
	Обратно взвешенные расстояния	Кригинг	Минимизация кривизны	Шепарда	Естественные соседи	Полиномиальная регрессия	Базисные радиальные функции
	Среднеквадратическая ошибка интерполяции						
«Биробиджан»	61,1	63,2	70,3	66,3	63,3	69,7	60,6
«Победа»	87,2	87,0	93,7	93,4	84,9	98,2	84,9
«Кукан»	82,8	83,4	86,6	86,1	83,4	86,6	83,0
«Хабаровск»	66,5	70,2	81,8	72,7	70,0	96,0	67,3
«Сутур»	109,3	106,5	111,9	117,4	109,5	128,2	106,4
«Троицкое»	113,3	136,1	179,3	199,8	120,5	125,9	132,4
«Ленинское»	73,7	69,4	146,4	127,7	76,8	84,1	67,1
«Смидовичи»	73,5	75,2	80,6	72,1	69,5	85,0	70,1
«Екатерино-Никольское»	93,2	98,2	504,3	142,6	–	112,8	94,9
«Облучье»	85,4	96,7	180,8	137,0	–	107,6	95,4
Среднее значение	84,6	88,6	153,6	111,5	84,7	99,4	86,2
Количество сезонов с $E_m \geq 0,5$; %	85,0	81,4	48,6	52,1	68,6	76,4	82,1

Составлено 214 прогнозов. Показано, что при вероятности 0,95 достоверность ежедневных пространственных прогнозов возникновения пожаров, рассчитанная по фактическим значениям комплексного показателя (P_i) на текущий день, составляет в среднем $84 \pm 14\%$, по прогнозным (P'_i) – $77 \pm 16\%$ (фрагмент приведен в табл. 5), причем она снижается с изменением заблаговременности прогноза примерно на 20–25%.

Таблица 5

Достоверность прогноза пожаров растительности по метеоусловиям (2010 г., фрагмент)

Степень пирологической пожароопасности растительности	I	II	III	IV
День прогноза	Достоверность прогноза (вероятность 0,95)			
Текущий	88±14	83±12	94±7	71±26
Первый	88±14	85±11	85±10	57±29
Второй	88±14	88±11	77±12	57±29
Третий	88±14	85±11	77±12	50±29

Геоинформационная система для визуализации результатов прогноза содержит следующие блоки: №1. Сбор данных наземного и дистанционного мониторинга; №2. Хранение метеоданных и данных пожаров растительности; №3. Оценка и прогноз пожарной опасности растительности; №4. Визуализация результатов расчетов (рис. 3) [4].

В блоке № 1 осуществляется сбор данных о метеоусловиях и пожарах растительности. Метеоданные содержат температуру воздуха и точки росы в 13–15 часов местного времени, суточный объем осадков с 9 часов предыдущего дня до 9 часов текущего дня, прогнозируемую дневную температуру воздуха и интенсивность осадков с заблаговременностью 3 суток. Сведения о пожарах растительности предоставляют лесоохранные службы в виде ежедневных отчетов наземного или дистанционного мониторинга за состоянием территории лесного и нелесного фондов. Отчеты содержат подробное описание пожара: место возникновения (координаты центра, кварталы лесничеств), даты обнаружения и ликвидации, причина возникновения, площадь пожара. Импорт сведений о пожарах с веб-ресурсов производится ручным вводом или векторизацией спутниковых снимков. В первом способе с помощью инструментальной ГИС редактируется векторный слой «Пожары растительности», в котором пожар фиксируется в виде полиномиального объекта и заполняется атрибутивной информацией о нем. Во втором способе с помощью программы «векторизатора» на слой переносятся объекты растрового изображения спутникового снимка.

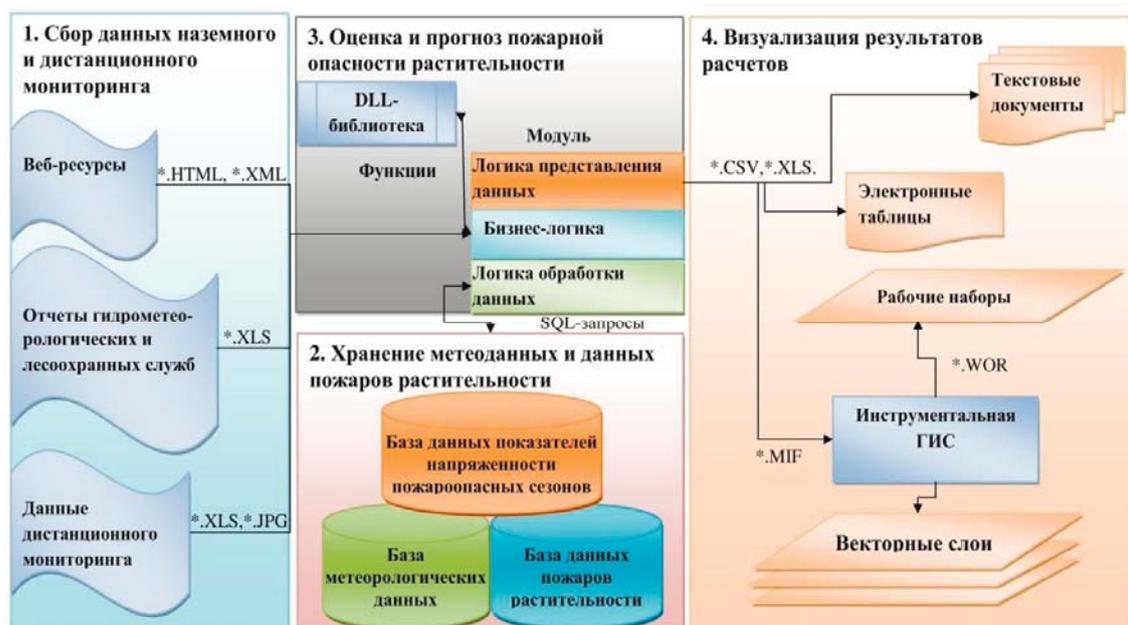


Рис. 2. Архитектура программного комплекса

Блок № 2 предназначен хранения, поддержания целостности и непротиворечивости реляционных баз данных средствами СУБД Oracle MySQL 5.1. К нему относятся две базы данных: БМД, которая содержит сведения о гидрометеостанциях, фактические и прогнозные метеорологические показатели по каждому месяцу пожароопасного сезона, коэффициенты и прогнозные метеорологические показатели для расчета лесопожарного показателя засухи, и БДПР, куда входят данные о кварталах лесничеств, пожарах лесного и нелесного фонда с учетом местоположения пожаров с указанием кварталов лесничеств или координат центра горельника.

Блок № 3 состоит из двух информационно-аналитических систем (ИС), реализованных в среде программирования Delphi 2010: 1. ИС оценки и прогноза пожарной опасности по условиям погоды, позволяющая выбирать методики расчета показателей метеорологической пожарной опасности для рассматриваемой территории, а также производить краткосрочные прогнозы с оценкой их достоверности; 2. ИС прогноза возникновения пожаров растительности, позволяющая рассчитывать вероятность возникновения пожаров при заданных погодных условиях в зависимости от свойств растительных формаций.

Визуализация результатов расчетов осуществляется в блоке № 4 с помощью авторских рабочих наборов инструментальной ГИС MapInfo Professional.

Выводы. Разработанная система пространственного прогноза возникновения пожаров растительности по лесопирологическим условиям, протестированная на юге Дальнего Востока России, позволяет выявить наиболее опасные участки, в которых возможно возгорание растительности по погодным и пирологическим характеристикам в весенний, летний и осенний периоды, что может быть использовано для дифференцированного проведения противопожарного наземного и авиационного мониторинга.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК REFERENCES

1. 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.
Baranovskij N.V., Grishin A.M., Lokutnikova T.P. Informacionno-prognosticheskaja sistema opredelenija verojatnosti voznikovenija lesnyh pozharov [Information-prediction system for determining the probability of forest fires], Vychislitel'nye tehnologii, 2003, V. 8, № 2, pp. 16–26 (in Russian).
2. Глаголев В.А., Коган Р.М. Информационно-аналитическая система прогноза пожаров растительности // ИнтерКарто-ИнтерГис -18: Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт: мат-лы межд. конф. Смоленск, 2012. С. 314–317.
Glagolev V.A., Kogan R.M. Informacionno-analiticheskaja sistema prognoza pozharov rastitel'nosti [Information-analytical system prediction of vegetation fires], InterKarto-InterGis -18: Ustojchivoe razvitie territorij: teorija GIS i prakticheskij opyt. mat-ly mezhd. konf., Smolensk, 2012, pp. 314–317 (in Russian).
3. Григорьева Е.А., Коган Р.М. Пирологические характеристики климата на юге Дальнего Востока России // Региональные проблемы. 2010. Т.13, №2. С. 78–82.
Grigor'eva E.A., Kogan R.M. Pirologicheskie harakteristiki klimata na juge Dal'nego Vostoka Rossii [Pyrological characteristics of climate in the south of the Russian Far East], Regional'nye problem, 2010, V. 13, № 2, pp. 78–82 (in Russian).

4. *Гришин А.М.* Моделирование и прогноз катастроф. Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 2012. 122 с.
Grishin A.M. Modelirovanie i prognoz katastrof [Modelling and forecasting of disasters], Tomsk, Publishing House of Tomsk State University, 2012, 122 p. (in Russian).
5. *Гришин А.М., Фильков А.И.* Прогноз возникновения и распространения пожаров растительности. Кемерово: Практика, 2005. 202 с.
Grishin A.M., Fil'kov A.I. Prognoz vozniknovenija i rasprostraneniya pozharov rastitel'nosti [Forecast of the emergence and spread of fires vegetation], Praktika, Kemerovo, 2005, 202 p. (in Russian).
6. *ДеМерс М.Н.* Географические информационные системы. Основы. М.: Дата+, 1999. 490 с.
DeMers M.N. Geograficheskie informacionnye sistemy. Osnovi [Geographic Information Systems.Basics], Data+, Moscow, 1999. 490 p. (in Russian).
7. *Дорошенко А.М., Коган Р.М.* Оценка пирологических характеристик Среднего Приамурья (на примере Еврейской автономной области) // Региональные проблемы. 2005. № 6–7. С. 63–67.
Doroshenko A.M., Kogan R.M. Ocenka pirologicheskikh harakteristik Srednego Priamur'ja (na primere Evrejskoj avtonomnoj oblasti) [Evaluation pyrological characteristics of the Middle Amur region (for example the Jewish Autonomous Region)], Regional'nye problem, 2005, № 6–7, pp. 63–67 (in Russian).
8. *Кац А.Л., Гусев В.Л., Шабунина Т.А.* Методические указания по прогнозированию пожарной опасности в лесах по условиям погоды. М.: Гидрометеоиздат, 1975. 16 с.
Kac A.L., Gusev V.L., Shabunina T.A. Metodicheskie ukazaniya po prognozirovaniju pozharnoj opasnosti v lesah po uslovijam pogody [Guidelines for predicting fire danger in forests due to weather conditions], Gidrometeoizdat, Moscow, 1975, 16 p. (in Russian).
9. *Кузнецов Г.В., Барановский Н.В.* Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологические последствия. Новосибирск: СО РАН, 2009. 301 с.
Kuznecov G.V., Baranovskij N.V. Prognoz vozniknovenija lesnyh pozharov i ih jekologicheskie posledstviya [Forecast of forest fires and their ecological consequences], SB RAS, Novosibirsk, 2009, 301 p. (in Russian).
10. *Кузнецов Г.В., Барановский Н.В.* Детерминировано - вероятностный прогноз лесопожарных возгораний // Пожаровзрывобезопасность. 2006. Т. 15, №5. С. 56–59.
Kuznecov G.V., Baranovskij N.V. Determinirovano-verojatnostnyj prognoz lesopozharnyh vozgoranij [Deterministic-probabilistic forecast forest fires], Pozharovzryvobezopasnost, 2006. V. 15, № 5, pp. 56–59 (in Russian).
11. *Куренцова Г.Э.* Очерк растительности Еврейской автономной области. Владивосток: Дальневост. кн изд-во, 1967. 61 с.
Kurencova G.E. Ocherk rastitel'nosti Evrejskoj avtonomnoj oblasti [Essay of vegetation Jewish Autonomous Region], Dal'nevost. kn. izd-vo, Vladivostok, 1967, 61 p. (in Russian).
12. *Подольская А.С., Еришов 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.
Podol'skaja A.S., Ershov D.V., Shuljak P.P. Primenenie metoda ocenki verojatnosti vozniknovenija lesnyh pozharov v ISDM – Rosleshoz [Application of the method of estimating the probability of occurrence of forest fires in ISDM - FFA], Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa, 2011, V. 8, № 1, pp. 118–126 (in Russian).
13. Современное состояние лесов российского Дальнего Востока и перспективы их использования / под ред. А.П. Ковалева. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2009. 470 с.
Sovremennoe sostojanie lesov rossijskogo Dal'nego Vostoka i perspektivy ih ispol'zovanija [The current state of the forests of the Russian Far East and the prospects for their using Ed. Kovalev A.P.] Dal'NIIPH, Khabarovsk, 2009, 470 p. (in Russian).
14. *Соколова Г.В., Коган Р.М., Глаголев В.А.* Методика автоматизированного прогноза пожарной опасности Приамурья и оценка ее эффективности // Гидрология и метеорология. 2006. №12. С. 45–53.
Sokolova G.V., Kogan R.M. Glagolev V.A. Metodika avtomatizirovannogo prognoza pozharnoj opasnosti Priamur'ja i ocenka ee jeffektivnosti [Method of automated prediction of fire danger Amur and evaluation of its effectiveness], Gidrologija i meteorologija, 2006. №12, pp. 45–53 (in Russian).
15. *Софронов М.А., Волокитина А.В.* Пирологическое районирование в таежной зоне. Новосибирск: Наука, 1990. 204 с.
Sofronov M.A., Volokitina A.V. Pirologicheskoe rajonirovanie v taezhnoj zone [Pyrological zoning in the taiga zone], Nauka, Novosibirsk, 1990, 204 p. (in Russian).
16. *Телицын Г.П.* Лесные пожары и их предупреждение в Хабаровском крае. Хабаровск: ДалНИИЛХ, 1988. 94 с.
Telicyn G.P. Lesnye pozhary i ih preduprezhdenie v Habarovskom krae [Forest fires and their prevention in the Khabarovsk region], Dal'NIILH, Habarovsk, 1988, 94 p. (in Russian).
17. 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.
18. Nash J.E., Sutcliffe J.V. River flow forecasting through conceptual models: 1 A discussion of principles // Journal of Hydrology. 1970. V. 10, №3. P. 282–290.