

Степанова И.П.
Stepanova I.G.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА К ОЦЕНКЕ ОПАСНОСТИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

APPLYING SYSTEM ANALYSIS METHODS FOR THE ESTIMATION OF FOREST FIRE THREATS

Степанова Ирина Павловна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Безопасности жизнедеятельности» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: Prof.Stepanova@mail.ru.

Ms. Irina P. Stepanova – Doctor of Engineering, Head of the Department of Health and Safety Studies, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur), e-mail: Prof.Stepanova@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрены технологии контроля за уровнем угроз от лесных пожаров методами моделирования и системного анализа. Решение этой сложной задачи предлагается свести к набору ряда частных задач: моделирование распространения лесного пожара; моделирование уровня задымленности территорий и оценка экологических рисков; оценка рисков для здоровья населения; оценка экономических ущербов. Применение предлагаемых подходов к оценке опасности лесных пожаров позволит определять тенденцию изменения и степень опасности ситуации в режиме прогнозов и предпринимать опережающие мероприятия, адекватные уровню угроз.

Summary: The paper presents a review of methods for controlling forest fire threats by way of modeling and system analysis. To solve this urgent problem it is proposed to reduce it to a set of sub-problems: modeling the spread of a forest fire, modeling smoke rates and environmental risks rates, estimation of health risks for the population, estimation of economic damage. Application of the proposed approach to the estimation of forest fire threats will help forecast the dynamics of the threat and estimate it, and also to take preventive measures that are adequate to the threat level.

Ключевые слова: лесные пожары, моделирование, оценка, риск, загрязнение, территория, население, здоровье, ущерб, прогнозирование.

Key-words: forest fires, modeling, estimation, risk, pollution, territory, population, health, damage, forecast

УДК 614.84

Краткое изложение главных идей. Почему важно развитие этих технологий. Лесной пожар является значимым фактором риска для многих стран мира. Этот фактор должен одним из первых рассматриваться государственными и финансовыми организациями на стадии прединвестиционных и предпроектных исследований для экологического сопровождения процесса выработки и принятия решений, а также в ходе текущего управления риском на пожароопасных территориях отдельных государств или регионов. Разработка технологий контроля за уровнем угроз от лесных пожаров является важной государственной и международной задачей.

Лесные пожары влияют на глобальные и локальные изменения окружающей среды. Тепловые и дымовые выбросы обширных лесных пожаров меняют динамику атмосферы, процессы циркуляции воздушных масс и тем самым погодные условия.

На локальном уровне лесной пожар создает прямые угрозы жизни людей, функционированию объектов техносферы, сохранению древесины, сохранению биоразнообразия. Повышенная задымленность, обусловленная лесными пожарами, усложняет условия транспортных перевозок, создает угрозы для здоровья населения. Ущерб от косвенных угроз (так

Степанова И.П.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА К ОЦЕНКЕ ОПАСНОСТИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

принято расценивать угрозы для здоровья населения) в некоторых случаях может оказаться больше, чем прямой ущерб от сгоревшей древесины.

Одно из перспективных направлений по предотвращению ущербов – моделирование пожарной ситуации. Такой подход позволит определять тенденцию изменения и степень опасности ситуации в режиме прогнозов и предпринимать опережающие мероприятия, адекватные уровню угроз.

Из-за сложности физического процесса горения лесов и наличия взаимосвязи с большим количеством влияющих факторов построение одной математической модели, отражающей все возможные взаимосвязи, не представляется возможным. Однако можно свести решение этой сложной задачи к набору ряда частных задач, которые в той или иной мере поддаются моделированию.

С нашей точки зрения технологию контроля за уровнем угроз можно свести к следующим этапам:

- 1) моделированию распространения лесного пожара;
- 2) моделированию уровня задымленности территорий и оценке экологических рисков;
- 3) оценке рисков для здоровья населения;
- 4) оценке экономических ущербов.

Только такой подход позволяет создать технологии оценки опасности лесного пожара, соответствующие международным требованиям: возможность учета изменения во времени параметров источника угроз, обусловленное этим процессом изменение качества окружающей среды и реакцию населения на предъявленные воздействия.

Для локальных непродолжительных пожаров оценка опасности может быть прекращена уже на первом этапе. Но для крупных и длительных пожаров, вызывающих задымленность больших территорий, необходимо проводить решение второго этапа задачи по оценке уровня загрязнения воздушной среды. В этом случае логическим продолжением второго этапа является обязательное решение серии задач по изучению ответных реакций разных групп населения на резкое изменение качества воздушной среды. В оценку ущербов в обязательном порядке следует включать реализовавшиеся и отдаленные (ожидаемые) ущербы от увеличения заболеваемости населения и сокращения продолжительности их жизни.

Насколько уже развита эта технология. На сегодняшний день наиболее разработаны и апробированы на практике задачи первого этапа – программные комплексы для моделирования распространения лесных пожаров: например, комплекс программ О.В. Зайченко «Forest Fire», зарегистрированный Роспатент № 2004610692 от 17.04.2004 г. или программы А. Карпова, Г. Телицина и др. Все они основаны на математической модели для расчета скорости распространения пожаров. Разработано значительное число таких моделей. Их обзор представлен в работе R.O. Weber «Modeling Fire Spread through Fuel Beds», Prog. Energy Combust. Sci/vol. 17, pp. 67-82, 1991.

В России на официальном уровне принята к использованию модель Гришина, изложенная в официальном издании Государственного комитета Российской Федерации по охране окружающей среды «Методика определения и расчета выбросов ЗВ от ЛП» (М., 1990 г.).

Разработанные программные комплексы (ПК) интегрированы в географическую информационную систему управления лесными ресурсами. Они содержат базы данных с объемной плотностью и типами лесных горючих материалов и влажностью как функцией погодных условий. ПК визуализируют процесс на мониторе компьютера. Прогнозирование поведения лесного пожара – лучший способ по его предотвращению или успешному тушению. Модель распространения лесных пожаров позволяет за пренебрежимо малое время по сравнению со скоростью распространения ЛП моделировать большое число вариантов расположения противопожарных средств и выбрать оптимальный по минимуму затраченных ресурсов, времени тушения и возможной величине ущерба от пожара. Знание о возможном сценарии развития событий позволит выбрать правильную тактику по тушению пожара.



Решение задач второго этапа – оценка экологических рисков и обусловленных ими рисков для здоровья – наиболее сложная часть исследования.

Количественную оценку экологического риска, обусловленного качеством воздушной среды, в первом приближении можно получить на основе данных мониторинговых исследований уровней концентраций загрязняющих веществ, полученных на постах наблюдения методами измерения:

- по максимальным мгновенным значениям, мг/м³ и в долях ПДМ_{М.Р.};
- по числу превышений 1 ПДК, 3 ПДК, 5 ПДК за рассматриваемый период (сутки, месяц, период ЧС, год), в долях ПДК_{С.С.};
- по средним значениям за месяц, период ЧС, год (в мг/м³ и долях ПДК_{С.С.});
- по балльной оценке опасности по специальным критериальным таблицам;
- по обобщенным показателям, например по критерию «Р» [2].

При оценке экологического риска пожарной ситуации 1998 г., когда от задымленности пострадало более 1 млн жителей Хабаровского края, мы использовали все эти показатели.

При балльной оценке в качестве меры опасности нами была использована оценка *уровня средовой нагрузки*, выраженная в числах – баллах, для чего была предложена критериальная шкала, представленная в табл. 1.

Таблица 1

Критериальная шкала

Концентрация, доли ПДК	Уровень средовой нагрузки и опасности ситуации, балл	Примечание: характеристика качества среды, уровня нагрузки на организм человека, опасности ситуации
≤ 1	2	Благоприятная (качественная) среда, нормальный уровень нагрузки
От 1,1 до 3	3	Некачественная среда, низкий уровень нагрузки, низкий уровень опасности, т.к. ПДК по большинству веществ принято с коэффициентом запаса не менее 2,5
От 3,1 до 5	4	Некачественная среда, средний уровень нагрузки, средний уровень опасности
От 5 до 10	5	Некачественная среда, заметный уровень нагрузки, уровень опасности выше среднего. Область значений концентраций, для которых с высокой степенью достоверности получены данные об увеличении уровня заболеваемости населения
10-20	6	Область чрезвычайных ситуаций, повышенные нагрузки на организм человека, повышенный уровень опасности
20-30	7	Область чрезвычайных ситуаций, повышенные нагрузки на организм человека, повышенный уровень опасности
30-40	8	Область чрезвычайных ситуаций, повышенные нагрузки на организм человека, повышенный уровень опасности
40-50	9	Область чрезвычайных ситуаций, повышенные нагрузки на организм человека, повышенный уровень опасности
Более 50	10	Область чрезвычайных ситуаций, повышенные нагрузки на организм человека, повышенный уровень опасности

Степанова И.П.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА К ОЦЕНКЕ ОПАСНОСТИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

В качестве меры для сравнения мгновенных значений использована предельно-допустимая концентрация максимальная разовая, а для средних значений – предельно-допустимая концентрация среднесуточная.

Расчет комплексной оценки за выбранный для исследования период времени (например: сутки, неделю, месяц, квартал и т.д.) может быть произведен по выражению

$$X_{\text{Компл}} = X_{\text{МАХ}} + \sum X_i / (\sum X_i + X_{\text{МАХ}}) + 0,5 (k - 1), \quad (1)$$

где $X_{\text{Компл}}$ – комплексная оценка по всем веществам за выбранный период (например, месяц); $\sum X_i$ – сумма баллов по всем веществам, имеющим отклонения от установленных нормативов и не включающим вещества, набравшие максимальный балл; k – число веществ, набравших максимальный балл.

Вещества, концентрации которых не превышают установленных нормативов, то есть балльные оценки которых равны 2 баллам, в определении комплексных оценок не участвуют.

Пример расчета комплексных оценок по всем веществам за месяц по данным о среднемесячной концентрации (см. табл. 2) приведен в табл. 3. Если комплексные оценки по всем веществам за каждый месяц определены, то общая оценка за весь пожарный период может быть рассчитана по выражению

$$X_{\text{ПожПериод}} = \sum X_{\text{Компл}} / N, \quad (2)$$

где N – число месяцев пожарного периода.

Таблица 2

Среднемесячные концентрации веществ на постах наблюдения
г. Комсомольска-на-Амуре по месяцам пожарного периода 1998 г.

Вещество	Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Октябрь	
	Доли ПДК	Балл	Доли ПДК	Балл	Доли ПДК	Балл	Доли ПДК	Балл	Доли ПДК	Балл	Доли ПДК	Балл
СО	2,6	3	0,6	2	2,85	3	4	4	7,56	5	7,35	5
С	4,5	4	1	2	4,8	4	6,7	5	18,79	6	15,7	6
NO ₂	0,62	2	0,3	2	1,4	3	0,4	2	2,65	3	2,68	3
Взвешенные	7	5	1,9	3	7,8	5	11,7	6	27,86	7	21	7
Комплексная оценка за месяц	5,86		3,33		6		6,88		8		8	

Как показали наши исследования, уровень средовой нагрузки в штатной ситуации (без учета пожара), сформированный техносферой города, в интервале времени 1990-97 гг. (до пожара) и 1999-2003 гг. (после пожара) соответствовал 3-4 баллам, а комплексная оценка за весь период пожаров 1998 г. оказалась равна 6 баллам.

Оценка экологического риска по обобщенному показателю Р проводится в соответствии с «Критериями обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия» [2]. Это условный показатель загрязнения воздуха для 2-20 веществ. Расчет критерия проводится по формуле

$$P = \sqrt{(\sum K_i^2)},$$

где $\sum K_i^2$ – сумма кратностей превышения ПДК, «приведенных» к концентрациям веществ 3 класса опасности.



Таблица 3

Комплексная помесечная и средняя за период пожаров 1998 г.
оценка средовой нагрузки и уровня опасности ситуации

Месяц	Расчет по формуле (1)	Комплексная оценка по всем веществам
Май k = 1	$X_{\text{Компл}} = 5 + (3 + 4) / ((3 + 4) + 5) + 0,5 * (1 - 1) = 5 + 0,58 + 0 = 5,58$	5,58
Июнь k = 1	$X_{\text{Компл}} = 3$	3
Июль k = 1	$X_{\text{Компл}} = 5 + (3 + 4 + 3) / ((3 + 4 + 3) + 5) + 0,5 * (1 - 1) = 5 + 0,66 + 0 = 5,66$	5,66
Август k = 1	$X_{\text{Компл}} = 6 + (4 + 5) / ((4 + 5) + 6) + 0,5 * (1 - 1) = 6 + 0,6 + 0 = 6,6$	6,6
Сентябрь k = 1	$X_{\text{Компл}} = 7 + (5 + 6 + 3) / ((5 + 6 + 3) + 7) + 0,5 * (1 - 1) = 7 + 0,66 + 0 = 7,66$	7,66
Октябрь k = 1	$X_{\text{Компл}} = 7 + (5 + 6 + 3) / ((5 + 6 + 3) + 7) + 0,5 * (1 - 1) = 7 + 0,66 + 0 = 7,66$	7,66
Комплексная оценка за весь период пожаров 1998 г.	Расчет по формуле (2): $(5,58 + 3 + 5,66 + 6,6 + 7,66 + 7,66) / 6 = 36,16 / 6 = 6,02$	6,02

Степень медико-экологического неблагополучия оценивается по табл. 4, а критерии определения экологической ситуации – по табл. 5.

Таблица 4

Степень медико-экологического неблагополучия

Оценка загрязнения воздуха	Величина индекса Р при числе веществ, загрязняющих воздух			
	2-4	5-9	10-20	> 20
Допустимая	≤ 2	≤ 3	≤ 4	≤ 5
Слабая	>2-4	>3-6	>4-8	>5-10
Умеренная	>4-8	>6-12	>8-16	>10-20
Сильная	>8-16	>12-24	>16-32	>20-40
Очень сильная	>16	>24	>32	>40

Таблица 5

Критерии экологической ситуации по качеству атмосферного воздуха

Уровень загрязнения воздуха	Величина индекса Р при числе веществ загрязнения воздуха				
	1	2-4	5-9	10-16	>16
Допустимый	1	2	3	4	5
Чрезвычайная экологическая ситуация	8-16	>16-32	>32-48	>48-64	>64-80
Экологическое бедствие	>16	>32	>48	>64	>80

Степанова И.П.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА К ОЦЕНКЕ ОПАСНОСТИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

По величине показателя R ситуация 1998 г. оценена как чрезвычайная экологическая ситуация.

Знание обобщенного показателя R позволяет перейти к оценке риска увеличения заболеваемости населения, обусловленной химическими загрязнениями атмосферного воздуха [1]:

$$R = m * \lg (P/P_0),$$

где R – увеличение общей заболеваемости, выраженной в долях; m – коэффициент уравнения, равный 0,85; P – фактический индекс суммарного загрязнения; P_0 – пороговый индекс суммарного загрязнения, соответствующий уровню допустимого загрязнения.

Если показатель заболеваемости при допустимом загрязнении принять за 1, то уровень общей заболеваемости можно рассчитать по формуле

$$Y = 1 + m * \lg (P/P_0).$$

Подобные расчеты позволяют определить вклад загрязнения атмосферы в общую заболеваемость населения.

Первый недостаток подобных экологических оценок, основанных на данных измерений, заключается в том, что списки веществ, включаемых в мониторинговые исследования, не отражают весь спектр реально существующих веществ и групп суммаций.

Например, в период пожаров 1998 г. проводились измерения лишь по трем веществам: взвешенные, CO , NO_2 . Полный перечень веществ из 13 наименований и групп суммаций из 14 наименований представлен в табл. 6 – 7 [6].

Таблица 6

Перечень веществ, выделяющихся при горении леса

Номер	Код	Наименование вещества (группы суммации)	Класс опасности	ПДК м.р., мг/м ³	ПДК ср. сут, мг/м ³
1	337	Углерода оксид (CO)	4	5	3
2	301	Азота оксиды (NO_x)	3	0,085	0,04
3	328	Сажа (C)	3	0,15	0,05
4	2909	Дым (ультра дисперсные частицы SiO_2)	3	0,5	0,15
5	2902	Взвешенные вещества	3	0,5	0,15
6	410	Метан	4	50 (ОБУВ)	-
7	330	Серы диоксид (SO_2)	3	0,5	0,05
8	110	Ванадия оксид (V_2O_5)	1	-	0,002
9	333	Сероводород (H_2S)	2	0,008	-
10	1325	Формальдегид ($HCHO$)	2	0,035	0,003
11	602	Бензол	2	0,3	0,1
12	621	Толуол	3	0,6	3
13	616	Ксилолы	3	0,2	5
14	703	Бенз(а)пирен	1	-	10^{-6}

Второй недостаток таких оценок – невозможность учета изменения концентрации в пространстве и, как следствие, невозможность точного определения ингаляционной дозы вещества с учетом реальной картины распределения концентрации и плотности населения по территории города. Это, в свою очередь, не позволяет надеяться на достоверность прогнозных оценок риска для здоровья, которые могут быть сделаны с помощью известных моделей расчета риска здоровья по известной экспозиции (дозе) поступившего в организм человека вещества [4; 5].



Группы суммации

Номер	Код	Вещества, формирующие группу
Образованы веществами дыма лесных пожаров		
1	6009	Азота оксид + серы диоксид
2	6018	Ванадия оксид + серы диоксид
3	6035	Формальдегид + сероводород
4	6043	Серы диоксид + сероводород
5	6046	Углерода оксид + Пыль неорганическая (SiO ₂)
Образованы веществами дыма лесных пожаров и техногенных источников города		
6	6034	Серы диоксид + свинец и его соединения
7	6010	Азота оксид + серы диоксид + углерода оксид + фенол
8	6032	Азота оксид + озон + формальдегид
9	6037	Сера диоксид + углерод оксид + фенол + взвешенные вещества
10	6038	Серы диоксид + фенол
11	6003	Аммиак + сероводород
12	6004	Аммиак + сероводород + формальдегид
13	6005	Аммиак + формальдегид

Для устранения этого недостатка необходимы модели лесных пожаров, позволяющие получить и визуализировать на картооснове местности распределение концентраций всех загрязняющих веществ и групп суммаций в пространстве за весь изучаемый интервал времени. Кроме того, необходимо знать распределение плотности населения по изучаемой территории.

Для получения распределения концентраций от выбросов лесных пожаров по территории города нами была использована расчетная модель профессора Берляндта и реализующая ее программа «Эколог».

Было сделано несколько подходов к построению расчетных моделей лесных пожаров, но наиболее точные результаты были получены в работе О.В. Зайченко [6; 7]. В качестве расчетной площадки рассматривалась территория г. Комсомольска-на-Амуре. Расчет проводился с учетом изменения места дислокации, характера и площади лесных пожаров на каждые сутки и с учетом изменения метеоусловий с частотой 3 раза за сутки. Расчет концентраций проводился отдельно для каждого фиксированного момента времени с интервалом в $\frac{1}{3}$ часть суток. Полученная база данных расчетных значений концентраций загрязняющих веществ по списку табл. 6 – 7 позволила проследить изменение концентраций в каждый фиксированный момент времени по всей территории города и определить средние концентрации за месяц, пожарный период (5 месяцев), год в каждой точке расчетной площадки. Сопоставление расчетных и измеренных данных удалось провести только по тем веществам, которые измерялись: взвешенные, СО и NO₂. Совпадение по мгновенным значениям не было достигнуто. Это объясняется невозможностью получения точных исходных данных для расчетов мгновенных значений концентраций. Однако характер изменения кривых концентраций от времени, полученный расчетным и метрологическим способами, был аналогичным.

Удовлетворительное количественное совпадение (на уровне 10-15 %) было получено только по среднегодовым концентрациям газообразных веществ СО и NO₂.

Подобная модель позволяет:

- построить область вероятностей наихудших возможных ситуаций по загрязнению воздуха;
- провести ретроспективный анализ уже произошедших событий. Время запаздывания анализа будет зависеть от времени поступления исходной информации;

Степанова И.П.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА К ОЦЕНКЕ ОПАСНОСТИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

- провести моделирование нежелательных вариантов развития событий и оценить их последствия;
- перейти к определению уточненной ингаляционной дозы вещества с учетом реальной картины распределения концентрации и плотности населения по территории города;
- на основе известной ингаляционной дозы рассчитать по известным моделям [4; 5] риск заболеваемости для различных категорий населения;
- выявить повышенные зоны риска на территории города в периоды лесных пожаров;
- разработать систему эвакуационных, защитных, реабилитационных и профилактических мероприятий, соответствующих уровню угроз для разных районов города и разных групп населения.

Второй тип моделей лесных пожаров, позволяющих получить и визуализировать на картооснове местности распределение концентраций всех загрязняющих веществ и групп суммаций – это модели, построенные на базе искусственных нейронных сетей (ИНС). ИНС базируется на эмпирических связях между измеренными характеристиками качества воздуха и параметрами, относящимися к погодным условиям. Методом получения этих связей служит ИНС.

Разработка информационных моделей на основе ИНС, которые благодаря своим аппроксимирующим свойствам и высокому быстродействию находят все большее применение при решении подобных задач, является перспективным направлением.

Подобная модель была реализована О.В. Зайченко (период пожаров 1998 г.) для восстановления полей концентраций на территории г. Комсомольска-на-Амуре, ограниченной стационарными постами наблюдения за загрязнением воздушной среды [6; 7]. К сожалению, не представилось практической возможности для оценки достоверности результатов, полученной на этой модели внутри рассмотренной площадки. В граничных точках было получено удовлетворительное совпадение.

Важной особенностью ИНС является то, что для их успешного применения достаточно предположения о существовании некоторой функциональной зависимости между входными воздействиями и реакцией объекта на эти воздействия. При этом обучение сети проводится по некоторым формальным правилам, не требующим тщательного физического анализа взаимосвязи параметров.

ИНС позволяет исключить трудоемкую операцию по сбору и обработке информации о параметрах пожаров, и использует в качестве входных параметров данные мониторинговых исследований концентраций ЗВ в граничных точках исследуемой территории.

Модель ИНС восстанавливает и визуализирует пространственно-временное распределение концентраций ЗВ на местности, ограниченной заданными точками, и позволяет исследовать влияние факторов, определяющих уровень и распределение концентрации ЗВ. Модель способна к текущей и прогнозной оценке экологической обстановки.

С ее помощью можно рассчитать и визуализировать поля концентраций с выделением участков (зон) с опасно высоким уровнем загрязнений. Рекомендуется к использованию наряду с метрологическими методами контроля уровня загрязнения воздуха городов в штатных и чрезвычайных ситуациях.

Модель способна определить поле концентраций по любым веществам, для которых проводятся метрологические измерения. Предложенную методику моделирования целесообразно применять для случаев: оценки изменчивости концентраций на местности и во времени, для прогнозирования.

Основные преимущества использования моделирования совместно с мониторингом следующие:

- повышение информативности в плане уточнения пространственно-временной изменчивости концентраций, без проведения дорогостоящих массовых замеров;
- возможность оценки краткосрочных и долгосрочных прогнозов концентраций;



- выполнение интерполяции между точками замеров, экстраполяции за пределами зоны охвата сети пунктов мониторинга;
- возможность оценки значимости факторов, влияющих на распределение концентраций на исследуемой территории.

К недостаткам можно отнести большой объем ретроспективных данных о замерах и метеоусловиях, требуемых для обучения сети, а также необходимость переобучения нейросетевой модели, настроенной на характеристики определенной местности, для применения к другой изучаемой территории. Внутри исследуемой площадки не должно находиться более мощных, чем снаружи площадки, источников выбросов ЗВ.

Установление связей между изменением качества среды и ростом заболеваемости населения проводилось в нескольких направлениях:

- по изучению динамики стандартных показателей заболеваемости за временные периоды, включающие предпожарный (3 года), пожарный (1 год) и послепожарный (5 лет) периоды;
- по методу четырех полей;
- по коэффициенту реакции населения.

Использование метода четырех полей для доказательства связи между патологией и действующим фактором [9] проводилось при допущении, что в качестве исследуемой и контрольной группы может быть рассмотрена одна и та же группа населения, но в разные временные периоды: до пожара (контрольная) и после пожара (исследуемая). Доказать связь подобным методом удалось для взрослого населения и подростков (15-17 лет) по следующим видам заболеваний: органов дыхания (у взрослых), крови и кроветворных органов (у взрослых и подростков), болезней системы кровообращения (у взрослых), по новообразованиям (для подростков), болезней эндокринной системы (у взрослых и подростков). Для детей (0-14 лет) связь не по одному из видов заболевания не доказана.

Удобным оказалось введение динамического коэффициента прироста K , равного отношению текущего значения прироста заболеваемости к среднему уровню прироста за предшествующий пожару период. По величине этого коэффициента можно судить о силе реакции населения на предъявленное воздействие. По максимальному значению этого коэффициента были проранжированы те нозологические формы заболеваемости населения города, по которым реакция населения оказалась наиболее сильной.

Как следует из полученных данных, по силе реакции на первом месте оказалось взрослое население старше 18 лет (до 44 раз – по болезням органов дыхания), на втором месте – подростки 15-17 лет (до 28 раз – по новообразованиям), на третьем – беременные женщины и новорожденные дети (до 9 раз). Слабее всего отреагировали дети до 14 лет (до 2 раз – органы дыхания). По скорости реакции на первом месте – беременные женщины и новорожденные дети, у всех остальных контингентов населения реакция отсрочена от момента воздействия на 1-2 года.

По величине коэффициента K три первых места заняли следующие виды заболеваний:
для взрослого населения

- заболевания органов дыхания ($K = 44$);
- заболевания крови и кроветворных органов ($K = 20$);
- болезни системы кровообращения ($K = 11$);

для подростков

- новообразования ($K = 28$);
- болезни эндокринной системы ($K = 26$);
- заболевания крови и кроветворных органов ($K = 13$).

Высокий коэффициент прироста был отмечен для болезней, связанных с нарушениями эндокринной системы, у всех возрастных групп населения.

Наибольшую тревогу у людей вызывают онкозаболевания, имеющие длительный скрытый период развития. Для прогнозов развития подобных патологий и развертывания ме-

Степанова И.П.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА К ОЦЕНКЕ ОПАСНОСТИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

тодов профилактики, раннего выявления и лечения мы считаем очень важным развитие исследований онкопатологий у домашних животных, переживших последствия действия высокой задымленности от лесных пожаров. Животные имеют в 6-8 раз более короткий жизненный цикл, чем человек. Это создает возможности изучения процесса развития болезни в 6-8 раз более короткие сроки, чем это может происходить у людей.

Инструменты и оборудование, уже имеющиеся у исследовательской группы:

1 Математическая модель распространения пожара. Программа «Forest Fire» и др. [6; 7].
2 Математическая модель расчета выделений от лесных пожаров. Математическая модель расчета рассеивания вредных примесей. Программа «Эколог», реализующая процесс рассеивания выбросов. Программа, проводящая обработку результатов расчетов программы «Эколог».

3 Информационные модели на основе ИНС для моделирования полей концентраций и их программная реализация.

4 Методика определения плотности выпадения канцерогенных и неканцерогенных веществ в зоне влияния лесных пожаров и ее апробация [8].

5 Опыт апробации и внедрения предлагаемых моделей в практику в России и Южной Кореи.

6 Методики расчета плотности распределения населения по территории города [8].

7 Методики расчета ингаляционных доз вещества с учетом распределения их концентраций в пространстве и во времени и с учетом неравномерного распределения населения по территории города [8].

8 Опыт апробации различных моделей расчета риска заболеваемости населения на основе уточненных данных и зонирование на этой основе территорий городов [8].

Все методики реализованы с помощью современных компьютерных технологий и могут быть применены другими исследователями для решения своих прикладных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киселев, А. В. Методические рекомендации по оценке риска здоровью населения от загрязнения воздуха / А. В. Киселев, Л. А. Саватеева. – СПб.: Дейта, 1995. – 53 с.
2. Критерии обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия, 30.11.92. – М., 1995.
3. Санитарно-гигиенические нормативы загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест и правила их применения. – М., 1990.
4. Медико-экологическая экспертиза здоровья населения: практикум для врачей-гигиенистов / под ред. А. П. Щербо. – СПб., 1996. – 53 с.
5. Окружающая среда и здоровье: подходы к оценке риска / под ред. А. П. Щербо. – СПб., 2002. – 376 с.
6. Зайченко, О. В. Моделирование лесного пожара для оценки его влияния на загрязнение атмосферы города / О. В. Зайченко // Города Дальнего Востока: экология и жизнь человека: матер. конф. (Дружининские чтения. Вып. 1). – Владивосток–Хабаровск: ДВО РАН, 2003. – С. 48-51.
7. Зайченко, О. В. Анализ уровня загрязнения воздушной среды города в период чрезвычайной пожарной ситуации лета 1998 года по данным, полученным на расчетных моделях / О. В. Зайченко // Нелинейная динамика и прикладная синергетика: матер. междунар. научной конф. (Комсомольск-на-Амуре, 23-27 сентября 2002 г.). Ч. 4. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2002. – С. 71-77.
8. Гореликова, Е. И. Экологическая безопасность: учеб. пособие / Е. И. Гореликова, И. П. Степанова, О. В. Зайченко. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2005. – 162 с.
9. Окружающая среда и здоровье: подходы к оценке риска / под ред. А. П. Щербо. – СПб., 2002. – 376 с.