

5. Лбов Г.С., Старцева Н.Г. Логические решающие функции и вопросы статистической устойчивости. – Новосибирск: Наука, 1999. – 212 с.

### **Assessment of danger of floods on the basis of logical decision functions**

*Irina Alexandrovna Mil'kova, graduate student, Department of Applied Mathematics and Computer Security Siberian Federal University.*

*Konstantin Vasil'evich Simonov, leader researcher of Institute of Computational modelling of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.*

*Andrey Alexandrovich Burtsev, graduate student, Department of Applied Mathematics and Computer Security Siberian Federal University.*

*The algorithmic scheme of use of the device of logical decision functions is developed for an assessment of danger of floods.*

*Keywords: floods, danger assessment, logical decision functions*

УДК 550.36

## **ПОСТРОЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕЙ**

**Ирина Александровна Милькова**, аспирант  
Тел.: 8 913 5833008, e-mail: [i.milkova@yandex.ru](mailto:i.milkova@yandex.ru)

**Луис Кадена**, аспирант  
тел.: 8 923 3358280, e-mail: [ecuadorx@gmail.com](mailto:ecuadorx@gmail.com)

*Институт космических и информационных технологий СФУ*  
<http://ikit.sfu-kras.ru>

**Константин Васильевич Симонов**, в.н.с., д.т.н.  
тел.: 8 913 5954902, e-mail: [simonovkv@icm.krasn.ru](mailto:simonovkv@icm.krasn.ru)  
*Институт вычислительного моделирования СО РАН*  
<http://icm.krasn.ru>

*Разработана структура и содержание экологического паспорта муниципального образования. Разработана программная оболочка типовой формы экологического паспорта муниципального образования, представляющая собой информационно-аналитический программный комплекс, содержащий системно-организованные данные о состоянии компонентов окружающей среды, оказываемом воздействии на окружающую среду, эколого-экономических показателей.*

*Разработана также вычислительная методика установления регрессионной зависимости заболеваемости от факторов окружающей природной и социальной среды на основе нейросетевого моделирования данных наблюдений. Построены нейросетевые модели и проведены численные эксперименты для сравнительного анализа данными наблюдений заболеваемости отдельных групп населения при изменении условий окружающей природной и социальной среды.*

*Ключевые слова: экологический паспорт, эколого-экономические показатели, программная оболочка, экологические факторы, нейросетевые модели, оценка заболеваемости.*

### **Введение**

Объектом исследования являются экологические паспорта российских регионов, а так же существующая эколого-экономическая информация по исследуемой территории. Экологическая паспортизация в России начала проводиться с 1990 г., но анализ документов, регламентирующих экологическую паспортизацию территорий, показал, что в Российской Федерации до сих пор нет единого нормативного документа, определяющего ее порядок. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» (2001) делегировал субъектам Российской Федерации такие функции как: осуществление экологической паспортизации; ведение учета объектов и источников негативного воз-

действия на окружающую среду; обеспечение населения достоверной информацией о состоянии окружающей среды.



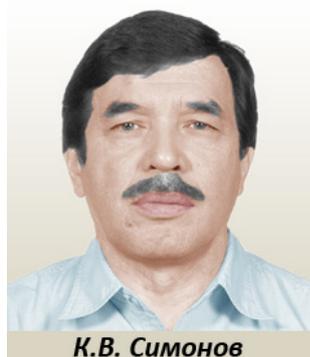
**И.А. Милькова**

Несмотря на целый ряд существенных изменений, внесённых в законодательство в области охраны окружающей среды законами, а также другими нормативными актами РФ, эти функции не претерпели существенного изменения. Лишь формулировка «осуществление экологической паспортизации» была уточнена и в последней редакции Федерального закона «Об охране окружающей среды» (2001) звучит как «осуществление экологической паспортизации территории». Экологическим фондом РФ разработана концепция федеральной системы экологической паспортизации, которая строится по территориально-иерархическому принципу применительно к административному делению, принятому в РФ:

- экологический паспорт России;
- экологический паспорт региона (республика в составе РФ, край, область);
- экологический паспорт территории (административный район, в отдельных случаях - промышленный район);
- муниципальный экологический паспорт (город, посёлок городского типа);
- экологический паспорт производственного объекта (промышленного, сельскохозяйственного, транспортного и др.).



**Луис Кадена**



**К.В. Симонов**

Экологические паспорта различного территориально-иерархического уровня должны быть согласованы так, чтобы паспорта низшего ранга служили основанием для составления паспорта следующего, более высокого ранга. Мероприятие «Осуществление экологической паспортизации территории Красноярского края» заложено в ведомственной целевой программе «Охрана окружающей среды в Красноярском крае на 2008-2010 гг.». Эколога-экономическая информация, необходимая для осуществления экологической паспортизации территории Красноярского края рассредоточена в различных структурах (федеральных, краевых, государственной статистике, хозяйствующих субъектов, различных информационных изданиях). При этом она находится в трудно сопоставимых форматах различных организаций. Поэтому назрела необходимость выработать единые требования организации экологической информации на этапах получения, хранения, передачи и использования.

### 1. Программная оболочка

Информационной основой системы сбора и хранения экологической информации в рамках разрабатываемого мероприятия являются экологические паспорта (ЭП) муниципальных образований (МО). Разработанная в процессе паспортизации программная оболочка ЭП МО обеспечит доступность и наглядность приведенной информации; возможность постоянного пополнения, расширения и ее углубления. Следовательно, экологическая паспортизация необходима для получения объективной информации об экологическом состоянии территорий производственных объектов, отдельных промышленных и сельскохозяйственных регионов и страны в целом, для оценки оказываемого негативного воздействия на территории и регулирования социально-экономических отношений в области природопользования в целях, соблюдения требований сохранения качества природной среды.

Основой для разработки структуры и содержания экологического паспорта муниципального образования (МО) Красноярского края послужила структура и содержание

экологического паспорта природопользователя, а также существующая система официальных показателей в природопользовании и охране окружающей среды и передовой опыт российских регионов по организации и осуществлению экологической паспортизации.

В соответствии с указанным выше положениями разработано программное обеспечение в среде Microsoft Visual Studio 2008 на языке программирования C#. Базы данных размещены на локальном сервере SQL Server 2005 в Экологическом центре рационального освоения природных ресурсов (ЭЦ РОПР). Визуальное оформление производилось по GUI стандартам Microsoft (расстановка элементов управления и отображения информации на формах). Программный комплекс имеет внутреннее разделение на модули (отдельные проекты, содержащиеся в dll файлах, настройки в ini файлах, и карты районов в графических файлах формата PNG).

Разработанный программный продукт представляет собой не единственный исполняемый файл (с расширением exe), а информационно-аналитический программный комплекс, в который входят следующие файлы и папки: EPassport.exe; SQLtables.dll; regione\_codes.ini; папка «районы» с сорока четырьмя графическими файлами в формате PNG.

Для установки данного программного обеспечения необходимо:

- операционная система Windows XP (servicepack 2 или 3), Windows Vista;
- установленный в операционной системе .NETFramework 2.0;
- доступный Microsoft SQL server на котором размещены, базы данных для соответствующих районов (он может быть как локальным, так и внешним).

Главная форма программного комплекса представлена на рисунке 1.

В главной форме программного комплекса представлен перечень всех МО края, отражены сведения о разработчике и о структуре, ответственной за заполнение и ведение экологического паспорта. Для просмотра интересующего пользователя экологического паспорта (ЭП) какого-либо МО, необходимо из представленного перечня выбрать соответствующее МО. Далее, пользователю необходимо произвести авторизацию на Microsoft SQL сервере (сервер должен находиться в локальной сети структуры (организации) – владельца экопаспорта, или может быть внешним), после чего, откроется информационно-аналитическая форма ЭП выбранного МО

Основой информационно-аналитической формы является база первичных данных, организованная в виде древовидной (иерархической) структуры, которая позволяет осуществлять быстрый поиск интересующей пользователя эколого-экономической информации. Представленная форма содержит общие сведения о МО, карту МО с нанесением населённых пунктов и три основных информационных блока:

*Блок 1* Воздействие на окружающую среду;

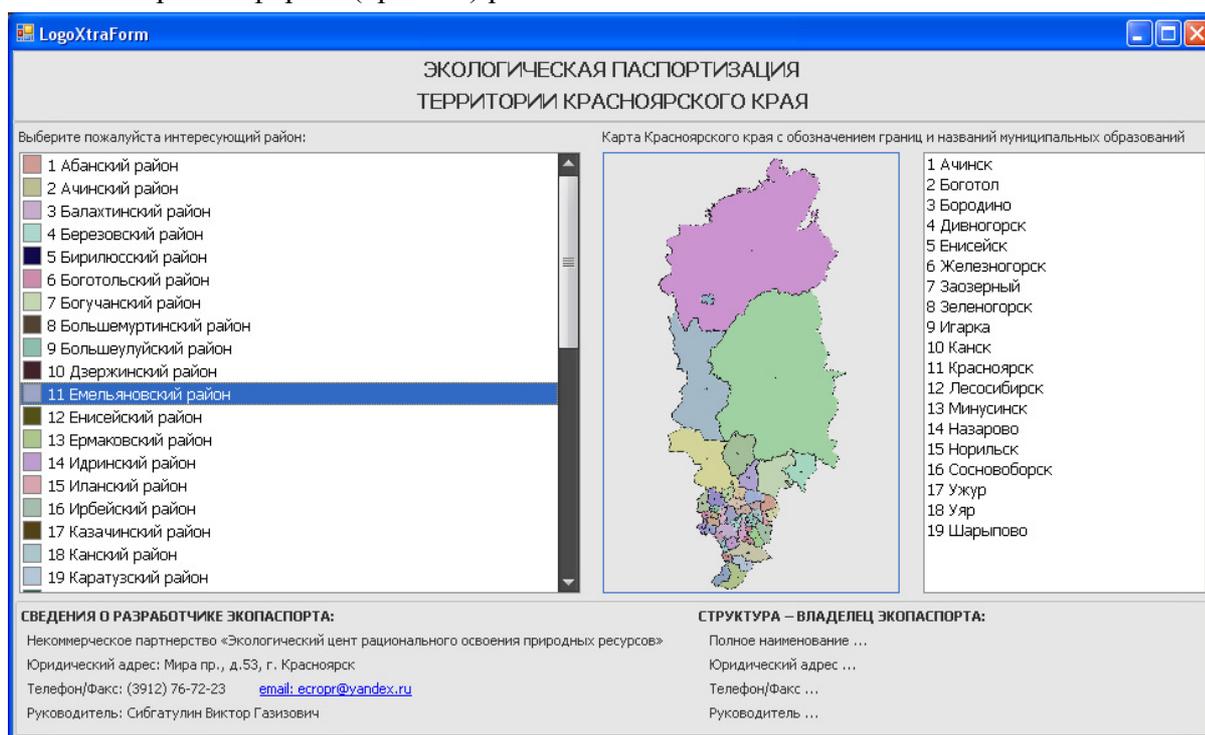
*Блок 2* Состояние компонентов окружающей среды;

*Блок 3* Эколого-экономические показатели.

Каждый основной блок содержит несколько подблоков, представленных в виде таблиц в базе данных. Навигация по таблицам баз данных, а так же редактирование таблиц (добавление, удаление, изменение информации) происходит при помощи «навигационной панели», которая расположена внизу табличной формы. Добавление новой строки осуществляется при помощи кнопки со значком «+», удаление - при помощи кнопки со значком «-», отражение этих изменений в базе данных сервера будет происходить только после нажатия на кнопку «Записать в базу».

Редактирование таблицы возможно при активном режиме редактирования (галочка «Редактировать»). Если же внесённые изменения по каким-либо причинам не устраивают пользователя, можно их отменить при помощи кнопки «Отменить изменения», после этого будут загружены последние внесённые данные с сервера. Необходимо помнить, что если пользователь запишет данные на сервер, то при не корректном внесении следующей порции информации в режиме редактирования он может отменить,

лишь те изменения, которые были самыми последними, т.е. отменяются все действия (редактирование, удаление, добавление) после самой последней записи на сервер. Кнопка закрытия формы (крестик) равносильна кнопке «Отменить изменения».



**Рис. 1. Главная форма программного комплекса «Экологическая паспортизация территории Красноярского края»**

Базы данных разработанного программного комплекса сформированы таким образом, что пользователь будет иметь возможность осуществлять оперативный поиск необходимой информации по какому-либо запросу с помощью фильтрации списков, в результате скрываются все строки, не удовлетворяющие критериям фильтрации, а остаются только те, которые соответствуют условиям запроса и возможность группировки информации по любому выбранному полю. По табличным данным из закладки «Таблица» можно будет строить графики по различным цифровым (не текстовым) столбцам, для этого необходимо перейти в закладку «Графики» и выбрать соответствующие поля зависимости в списках по осям X и Y. Пользователь сможет импортировать необходимую ему информацию в табличный файл Microsoft Excel. Возможен вывод информации на печать (кнопка «Печать»). Печатать можно как таблицы, так и графики в зависимости от активной закладки.

Пользователи так же могут осуществлять группировку сходного содержимого, по любому из представленных в таблице столбцов, с помощью контекстного меню. Например, в базе данных «Сбросы загрязняющих веществ» представлена сгруппированная информация по типам приёмника сточных вод. Необходимо отметить, что компоненты окружающей среды будут автоматически оцениваться по состоянию и оказываемому на них воздействию по полученным значениям показателей, исходя из критериев оценки экологического состояния, что позволит провести комплексную оценку экологической обстановки в каком-либо МО. Перечень показателей и используемые для них критерии приведены в соответствующей таблице. Удельные и интегральные показатели будут автоматически рассчитываться по формулам представленным в специальной таблице, в базах данных будут отображаться уже рассчитанные значения этих показателей.

Таким образом, предлагаемый продукт представляет собой информационно-аналитический программный комплекс, функционирующий на основе системно-организованных данных о состоянии компонентов окружающей среды и природных объектах, источниках, типах, объектах воздействия на окружающую среду в административ-

ных границах муниципального образования. Цель его создания заключается в обеспечении органов государственной власти, организаций и граждан информацией о состоянии окружающей среды и осуществляемом природопользовании на территории МО.

## 2. Построение экологических моделей

Рассмотрим математическую формализацию зависимости заболеваемости населения от основных наиболее влиятельных факторов. Известно из [1-3], что территория Катангского района характеризуется наиболее суровыми климатом, малой численностью населения, чрезвычайно низким уровнем социальных условий. Авторами этих публикаций предложено использовать следующую математическую формализацию зависимости заболеваемости населения от наиболее влиятельных факторов:

$$Z_i = a_1 \cdot T_i + a_2 \cdot W_i + a_3 \cdot V_i + a_4 \cdot \frac{\text{Ln}P_i}{\text{Ln}V_i} + a_5 \cdot \text{Ln}C_i,$$

где  $T_i$  – среднегодовая температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $W_i$  – обеспеченность врачами (число специалистов на 1000 населения),  $V_i$  – среднегодовая скорость ветра (м/с),  $P_i$  – интегральный показатель загрязнения атмосферного воздуха (условные единицы),  $C_i$  – социальные условия, характерные для города (экспертная оценка, баллы).

В указанных работах [1-3] данные представлены наблюдениями за период с 1995 г. по 2006 г., т.е.  $i = \overline{1,12}$ . Расчёт неизвестных коэффициентов  $a_k, k = \overline{1,5}$  проводился методом наименьших квадратов: находился минимум суммы квадратов разностей расчётных и экспериментальных данных:

$$F(a) = \sum_{i=1}^{12} (Z_i(a) - H_i)^2,$$

где  $Z_i(a)$  – расчётные данные,  $H_i$  – фактические данные о заболеваемости населения. Следовательно, задача сводится к поиску минимума функции нескольких переменных  $F(a)$  по всем  $a$  из множества  $D$ , где  $D$  – многомерный параллелепипед:  $\min_{a \in D} F(a), D = \{a \in R^n : \underline{a}_i \leq a_i \leq \overline{a}_i, i = \overline{1,n}\}, n = 5$  - размерность искомого вектора.

Её решение с помощью программы PARABOL, в которой реализован метод поиска глобального экстремума минимизируемого функционала. В результате решения задачи оптимизации авторами исходной математической модели получена следующая зависимость показателя заболеваемости детского населения Катангского района от рассматриваемых факторов: При изучении зависимости заболеваемости от комплекса факторов наиболее адекватным для подросткового населения представляется следующее уравнение:

$$Z = 64.42 \cdot T + 652.67 \cdot W + 127.59 \cdot V - 8.65 \cdot \frac{\text{Ln}P}{\text{Ln}V} - 192.98 \cdot \text{Ln}C$$

Графически результаты аппроксимации реальных показателей расчётными показаны на рисунке 2. Полученные зависимости позволили авторам разработать прогноз заболеваемости различных групп населения на основе экспертных оценок поведения социальных факторов, а также возможного изменения экологических условий при реализации проектов разработки Верхнечонского нефтегазового месторождения и других крупных инвестиционных проектов, планируемых к развитию в Иркутской области.

Моделирование с помощью нейронных сетей является в настоящее время формализованным, методически отлаженным и практически используемым методом решения задач аппроксимации неизвестных закономерностей на основе эмпирических данных [4]. Это связано с уникальным набором свойств, присущих данному методу моделирования.

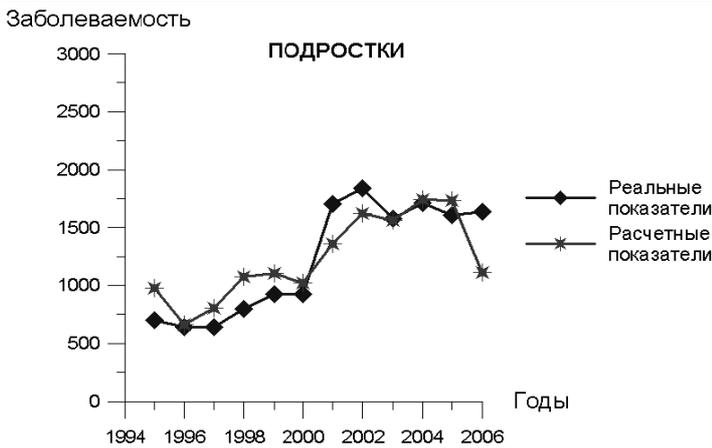


Рис. 2. Сравнительный анализ реальных показателей и расчетных данных на основе построенной модели:

$$Z = 70.49 \cdot T + 1259.84 \cdot W - 28.64 \cdot V + 47.93 \cdot \frac{\ln P}{\ln V} - 344.72 \cdot \ln C \cdot$$

раметров необходимо провести обучение нейронной сети, представляющее собой автоматический поиск закономерности между совокупностью обучающих данных и заранее известным результатом. С математической точки зрения эта задача может быть классифицирована как задача параметрической идентификации [5].

В работе, по аналогии с [5], предлагается способ построения прогнозной модели на основе аппроксимация рассматриваемой функции пяти переменных нейросетевой моделью. Моделирование с помощью нейронных сетей является в настоящее время формализованным, методически отлаженным методом решения задач аппроксимации неизвестных закономерностей на основе эмпирических данных. Классы функций, закладываемые в структуру моделей в виде искусственных нейронных сетей, обладают свойством полноты. Полнота (способность сколь угодно точно аппроксимировать любую непрерывную зависимость) функций такого типа строго доказана в работах А.Н.Колмогорова, В.И.Арнольда, М. Стоуна. Нейронные сети обладают чрезвычайно важным в приложениях свойством естественной фильтрации «шумов» в исходных данных, в том числе, «шумов» относительно большого размера. Методика нейромоделирования позволяет строить аппроксимации многомерных зависимостей на основе нерегулярно позиционированных экспертных данных.

Рассмотрим схему построения нейросетевой модели по исходным данным на основе программы «Модели» [6-7]. В методике в качестве базисной функции использована:

$$Y^t_a = b_a + c_a \sum_j \sin(\varphi_{aj} + \sum_i w_{ji} X^t_i)$$

где  $X$  – входные данные,  $i$  – номер входа,  $j$  – номер нейрона,  $t$  – номер задачи в выборке,  $a$  – номер выхода нейросети,  $b, c, w, \varphi$  – подстраиваемые параметры,  $b, c, w, \varphi$  – определяют при преобразовании, а  $w$  и  $\varphi$  – при обучении.

На первом этапе из имеющихся эмпирических данных формируется обучающая выборка. При этом выбираются независимые переменные (входы сети) и зависимые переменные (выходы). Как число входов, так и число выходов может быть произвольным числом не менее единицы. Обучающая выборка состоит из экземпляров данных (прецедентов), имеющих одинаковую структуру – равное число входов и выходов.

На втором этапе выбирается структура нейронной сети и тип её элементов. На этом этапе неявно вводится гипотеза о возможности адекватно аппроксимировать эмпирические данные функцией из выбранного класса. Состоятельность этой гипотезы проверяется на последующих этапах моделирования путём вычислительных экспериментов. На третьем этапе выбирается число нейронов в сети и, соответственно, число связей, которым сопоставлены настраиваемые весовые коэффициенты.

На четвёртом этапе, этапе «обучения сети», с помощью вариационных подходов отыскиваются значения весовых коэффициентов, позволяющие минимизировать «не-

Нейронная функция, составляющая основу структуры искусственной нейронной сети (ИНС), традиционно строится из сумматора и нелинейного функционального преобразователя вида  $\varphi = s / (h + |s|)$ , где  $h$  – характеристика крутизны преобразователя.

ИНС, получающая на входе некоторый сигнал, способна после прохода его по нейронам выдавать на выходе определённый ответ, который зависит от весовых коэффициентов  $\alpha$ . Для определения значений этих па-

вязки» – расхождения выходов сети и выходов обучающей выборки. На этом этапе учитываются также ограничения на рост функции (размер константы Липшица) путём введения дополнительного функционала со своим весом. По завершению четвёртого этапа сеть объявляется «обученной» и способной к «функционированию» – выдаче по любому входному вектору соответствующих (аппроксимированных) значений выходов.

Пятый этап – верификация (проверка) «состоятельности» (адекватности) обученной сети поставленным задачам с привлечением дополнительной информации. Одним эффективных подходов для этой задачи является «метод комитетов» – предварительное разбиение имеющихся данных на обучающую и «проверочную» выборки и исследование поведения сети на «проверочной». Экспериментаторы рекомендуют использовать две трети данных для обучения и треть – для верификации.

ИНС, получающая на входе некоторый сигнал, способна после прохода его по нейронам выдавать на выходе определённый ответ, который зависит от весовых коэффициентов  $\alpha$ . Для определения значений этих параметров необходимо провести обучение нейронной сети, представляющее собой автоматический поиск закономерности между совокупностью обучающих данных и заранее известным результатом. С математической точки зрения эта задача может быть классифицирована как задача параметрической идентификации.

Для повышения надёжности методики нейромоделирования используется ещё два приёма – этап «предобработки» – предварительного масштабирования обучающей выборки и, соответственно, этап «интерпретации», на котором реализуется обратное преобразование данных к исходным масштабам. Эти приёмы, несомненно, полезны, поскольку позволяют упростить экстремальные задачи «обучения» сети.

На рисунках 3-7 представлены основные этапы нейросетевого моделирования данных для построения экологических моделей.

### Заключение

Разработана структура и содержание экологического паспорта муниципального образования. Разработана программная оболочка типовой формы экологического паспорта муниципального образования, представляющая собой информационно-аналитический программный комплекс, содержащий системно-организованные данные о состоянии компонентов окружающей среды, оказываемом воздействии на окружающую среду, эколого-экономических показателях.

Представлен комплекс предложений по утверждению, ведению ЭП территории края, определены основные группы пользователей программного комплекса. В соответствии с требованиями законодательства РФ установлен порядок пользования информационными ресурсами комплекса.

Разработанный программный продукт позволит в дальнейшем создавать ЭП для всех МО края, что позволит организовать эколого-экономическую информацию в единый информационно – аналитический программный комплекс «Экологическая паспортизация территории Красноярского края».

Предложена вычислительная методика установления регрессионной зависимости заболеваемости от факторов окружающей природной и социальной среды на основе нейросетевого моделирования данных наблюдений. Построены нейросетевые модели и проведены численные эксперименты

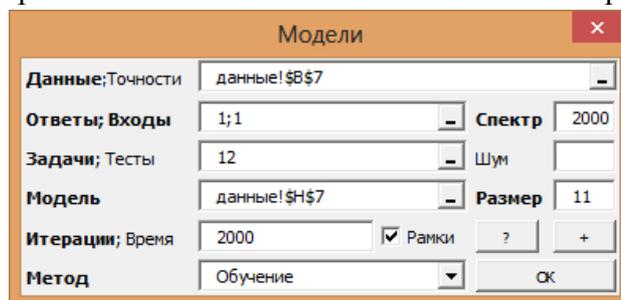


Рис. 4. Окно программы : задание параметров нейросетевого моделирования данных

для сравнительного анализа данными наблюдений заболеваемости отдельных групп населения при изменении условий окружающей природной и социальной среды на примере территорий Катангского района (на основе данных из [1-3]).

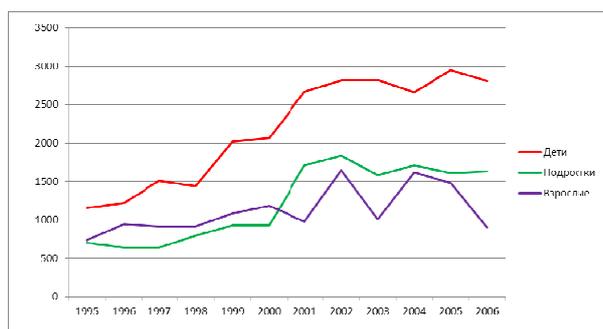


Рис. 3. Исходные данные для нейросетевого моделирования данных

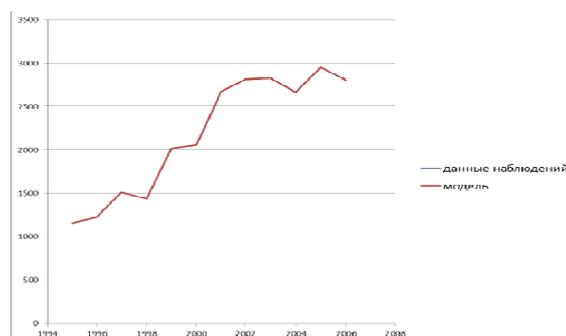


Рис. 5. Сравнительный анализ реальных данных (дети) и нейросетевой модели (полное совпадение)

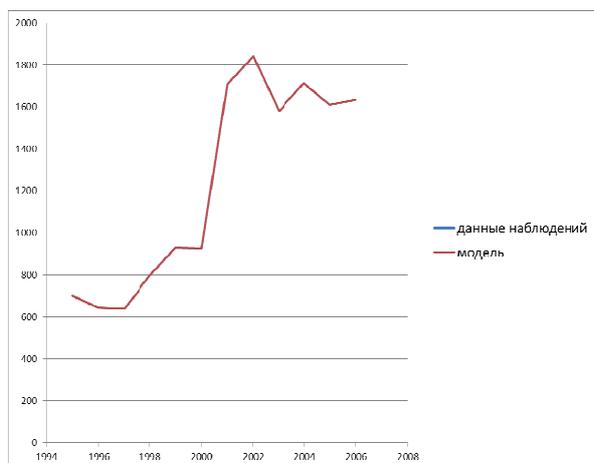


Рис. 6. Сравнительный анализ реальных данных (подростки) и нейросетевой модели (полное совпадение)

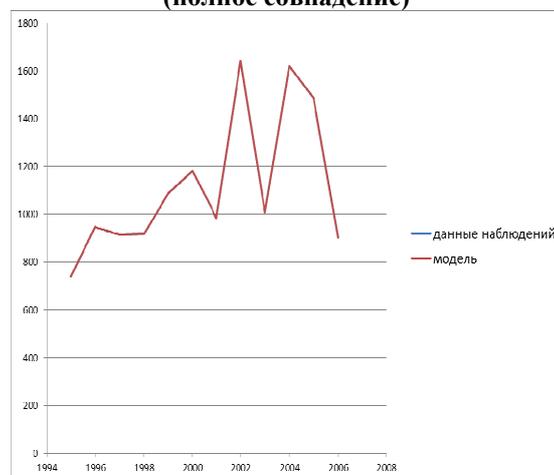


Рис. 7. Сравнительный анализ реальных данных (взрослые) и нейросетевой модели

## Литература

1. Факторы окружающей среды: опыт комплексной оценки / *Ефимова Н.В., Рукавишников В.С., Кауров П.К., Пережогин А.Н.* / В.С. Рукавишников. – Иркутск: ИЦ РВХ СО РАМН, 2010. – 232 с.
2. *Горнов А.Ю., Кузьменко Е.Т., Аникин А.С., Зароднюк Т.С.* Применение алгоритмов аппроксимации экспериментальных данных в задаче выявления значимых медико-социальных факторов // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование.* – Иркутск: ИРГУПС, 2008. Спецвыпуск. С. 92–96.
3. *Ефимова Н.В., Никифорова В.А., Горнов А.Ю., Зароднюк Т.С.* Использование математической модели при оценке влияния факторов окружающей среды на заболеваемость населения северных территорий Иркутской области // *Вест. КрасГАУ.* – Красноярск, 2009. №3 (28). С.97-101.
4. *Горбань А.Н., Россиев Д.А.* Нейронные сети на персональном компьютере. – Новосибирск: Наука: Сибирская издательская фирма РАН, 1996. – 276 с.
5. *Ефимова Н.В., Горнов А.Ю., Зароднюк Т.С.* Опыт использования искусственных нейронных сетей при прогнозировании заболеваемости населения // *Экология человека.* 2010. №3. С. 3-7.
6. *Капсаргин Ф.П., Кадена Л., Кириллова С.В., Симонов К.В.* Математические модели в проблеме экологии человека (обзор) // *Труды десятой международной конференции по финансово актуарной математике и эвентоконвергенции технологий.* – Красноярск: СФУ, 2011. С. 171-173.
7. *Капсаргин Ф.П., Кадена Л., Кириллова С.В., Симонов К.В.* Эффективная вычислительная технология построения математических моделей по данным наблюдений // *Труды X Регио-*

нальной научно-практической конференции урологов Сибири. Актуальные вопросы диагностики и лечения урологических заболеваний. – Барнаул: АГМУ, 2011. С. 33-34.

**Construction of regression model based on neural network in the problem of human ecology**

*Irina Alexandrovich Mil'kova, graduate student, Department of Applied Mathematics and Computer Security Siberian Federal University.*

*Luis Cadena, graduate student, Department of Applied Mathematics and Computer Security Siberian Federal University.*

*Konstantin Vasil'evich Simonov, leader researcher of Institute of Computational modelling of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.*

*This paper proposes a computational method to establish the incidence of regression depending on the factors of the natural and social environment on the basis of neural network modeling of observational data. The neural network models and numerical experiments for a comparative analysis of the observational data of diseases specific groups with a change in the natural and social environment are constructed.*

*Keywords: ecological passport, ekologo-economic indicators, program cover, ecological factors, neuron network models, incidence assessment*

УДК 519.6

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ  
НА ОСНОВЕ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

**Евгений Семенович Нежевенко**, д.т.н., в.н.с.

Тел.: 8383 3308453, e-mail: nejevenko@iae.nsk.su

**Виктор Иванович Козик**, к.т.н., с.н.с.

Тел.: 8383 3308453, e-mail: kozik@iae.nsk.su

**Артем Сергеевич Феоктистов**, аспирант

Тел.: 8383 3308453, e-mail: feoktistov.artem@gmail.com

Институт автоматизирующей и электротехники СО РАН  
iae.nsk.su

*Предложен метод моделирования динамического процесса на поверхности Земли - лесного пожара – с помощью рекуррентной нейронной сети. Описан процесс обучения нейронной сети, аналогичный процессу усвоения данных в ГИС-технологиях. Предложен метод ускорения обучения нейронной сети путём использования Калмановской фильтрации. Проанализирована эффективность её применения. Представлено программное обеспечение для реализации модели пожара на базе рекуррентной нейронной сети, позволяющее моделировать процесс его развития в реальном времени.*

*Ключевые слова: компьютерное моделирование, лесной пожар, рекуррентная нейронная сеть, усвоение данных, обучение, фильтр Калмана.*

**Введение**

Снижение ущерба, наносимого лесными пожарами, требует не только эффективных методов борьбы с ними, но и разработки эффективных методов предсказания их поведения. Существуют различные модели, однако неопределённость параметров среды не всегда позволяет получить результаты с необходимой точностью. В таких случаях для решения поставленной задачи предложено использование нейронных сетей [1]. Главной особенностью такого представления является возможность обучения нейронной сети путём использования в качестве обучающего материала результатов наблюдения за процессом развития пожара (оптического, радиолокационного и др.). В географических информационных системах это называется процессом усвоения дан-