

Б.Ф. Коньшин, В.С. Юсков

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ НАРУШЕНИЙ НОРМ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ

**Аннотация.** Рассмотрена актуальность деятельности в области экологической безопасности. Описан механизм действий по обнаружению нарушений экологических норм по выбросам вредных веществ. Поставлена задача по повышению эффективности борьбы с превышением норм концентрации вредных веществ с помощью метода прогнозирования с использованием нейронной сети. Описана актуальность данной задачи. Представлен пример документов, содержащих входные данные, в том числе указаны необходимые для задачи. Приведены преимущества использования данного метода. Показана формула для проверки полученных данных на предмет эффективности работы метода. Приведены параметры, схема, настройка параметров обучения и структура выбранной нейронной сети. Рассмотрен один из вариантов интерпретации полученных данных. Дан вывод и оценка актуальности выполненной задачи.

**Ключевые слова:** экология, прогнозирование, экологические риски, нейронные сети, экологические нормы, вредные вещества, эффективность.

DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-105-111

Актуальность экологической безопасности, особенно в современном мире растет очень быстрыми темпами. Существует большое количество организаций, которые занимаются вопросами безопасности окружающей среды и предупреждения экологических рисков, в том числе — государственные и муниципальные. Разные виды деятельности в этом направлении способствуют привлечению внимания государства и граждан к экологической обстановке.

Существуют различные механизмы по выявлению превышения допустимых концентрации нежелательных веществ в окружающей среде, в том числе воздушном пространстве. В частности самыми распространенными являются замеры

воздушных слоев с помощью специальных приборов.

Поскольку на данный момент вся контрольно-надзорная деятельность осуществляется на базе обычного мониторинга, то соответственно, все нарушения фиксируются исключительно «по факту». Следовательно, меры по их предотвращению принимаются, только после фиксации нарушения [9].

По причине того, что в данной задаче предполагается прогнозировать нарушения норм выбросов, то деятельность в рамках задачи позволит выйти на новый уровень соблюдения международных норм по регулированию нарушений экологической безопасности. Это напрямую влияет на здоровье и безопасность гражд-

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ  
(РОСГИДРОМЕТ)  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ГЛАВНАЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ИМ. А.И.ВОЕЙКОВА»  
(ФГБУ «ГГО»)

ИНН 79-0800004-04  
ОГРН 1017903497071  
ОИ

**ЕЖЕГОДНИК**

«Исследования фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосфере» —  
ФГБУ «ГГО»

на территории Республики Татарстан (г. Казань) —  
ФГБУ «ГГО»

на территории Республики Татарстан (г. Казань) —  
ФГБУ «ГГО»

на территории Республики Татарстан (г. Казань) —  
ФГБУ «ГГО»

на территории Республики Татарстан (г. Казань) —  
ФГБУ «ГГО»

на территории Республики Татарстан (г. Казань) —  
ФГБУ «ГГО»

ЭКВИВАЛЕНТ  
СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ  
В ГОРОДАХ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ  
Среднегодовые фоновые концентрации в воздухе (ФГБУ «ГГО»)  
Иванов И.И.



Иванов И.И. (Иванов Иван Иванович) (Иванов Иван Иванович) (Иванов Иван Иванович)  
Иванов И.И.

Иванов И.И. (Иванов Иван Иванович) (Иванов Иван Иванович) (Иванов Иван Иванович)  
Иванов И.И.

**ЕЖЕГОДНИК**

**СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ  
В ГОРОДАХ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ  
ЗА 2016 г.**

Служба Центральной  
2017

ИНН 79-0800004-04

ФГБУ «ГГО» Республика Татарстан

Рис. 1. Параметры документа, содержащего данные для анализа  
Fig. 1. Parameters of a document containing data for the analysis

дан, а так же всей экосистемы города, в т.ч. флоры и фауны, жизненного цикла рек в черте города, а также безопасности почвы для жизни [8].

Таким образом, цель настоящей задачи заключается в разработке нового подхода, позволяющего повысить эффективность функционирования системы экологического мониторинга. Идея решения поставленной проблемы сводится к анализу параметров фактического состояния окружающей среды и разработке на его основе оперативного

прогноза по предотвращению нарушений норм экологической безопасности на базе использования современных методов искусственных нейросетевых технологий.

Форма документа, полученная от подразделения Росгидромет по мониторингу и замеру выбросов в воздухе в районе предприятий специального профиля, связанных с повышенной опасностью, для извлечения входных данных задачи, представлена на данной экранной форме. Передача осуществляется с помо-

Вещество	Свинец	Бенз(а)пирен	Хром	Формальдегид	Азота диоксид	Цинк	Пыль	Аммиак	Диоксид серы	Железо	Хлор	Гидрохлорид	Этилбензол
Ед. изм.	мкг/м <sup>3</sup>	мг/м <sup>3</sup>	мкг/м <sup>3</sup>	мкг/м <sup>3</sup>	мг/м <sup>3</sup>	мкг/м <sup>3</sup>	мг/м <sup>3</sup>	мг/м <sup>3</sup>	мг/м <sup>3</sup>	мкг/м <sup>3</sup>	мг/м <sup>3</sup>	мг/м <sup>3</sup>	мкг/м <sup>3</sup>
1999	0,0174	2,11	0,0225	4,7	0,025	0,0750	0,330	0,020	0,0020	0,43	0,030	0,045	5,25
2000	0,0137	2,11	0,0212	5,0	0,024	0,0725	0,250	0,010	0,0060	0,79	0,030	0,040	10,00
2001	0,0100	3,99	0,0200	8,0	0,035	0,0700	0,270	0,010	0,0040	1,15	0,014	0,040	3,00
2002	0,0200	2,77	0,0100	6,0	0,041	0,0600	0,295	0,014	0,0050	1,51	0,008	0,045	2,00
2003	0,0100	3,66	0,0000	8,0	0,042	0,0500	0,265	0,021	0,0040	2,01	0,006	0,049	6,00
2004	0,0200	4,07	0,0100	5,5	0,038	0,0800	0,202	0,019	0,0020	4,53	0,002	0,050	11,00
2005	0,0200	3,33	0,0200	11,3	0,048	0,0700	0,228	0,024	0,0030	2,71	0,001	0,050	14,00
2006	0,0200	3,40	0,0200	4,3	0,051	0,0800	0,198	0,017	0,0050	4,04	0,000	0,057	12,00
2007	0,0200	4,40	0,0200	5,0	0,060	0,0800	0,184	0,024	0,0040	3,51	0,000	0,074	19,00
2008	0,0400	4,10	0,0300	6,5	0,078	0,0700	0,193	0,015	0,0046	3,55	0,000	0,050	16,00
2009	0,0700	4,80	0,0200	9,4	0,062	0,0700	0,173	0,017	0,0037	3,55	0,000	0,048	12,00
2010	0,1200	5,00	0,0200	14,1	0,045	0,1000	0,185	0,032	0,0020	7,38	0,000	0,035	18,00
2011	0,1700	4,20	0,0200	19,5	0,440	0,1000	0,236	0,044	0,0025	4,78	0,000	0,026	17,00

Рис. 2. Замеры выбросов по годам  
Fig. 2. Measurement of emissions per years

$$E = \frac{1}{N \cdot K} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^N (y_{ij}^{реал} - y_{ij}^{прогн})^2$$

Рис. 3. Формула среднеквадратичной ошибки  
Fig. 3. Standard error formula

щью внутренней сети Росгидромет, документ имеет индексы электронной библиотеки а также отмечается в отчете по деятельности подразделения Росгидромет по мониторингу и замеру выбросов.

Из данного документа необходимы таблицы с замерами выбросов, пример которой представлен в таблице на рис. 2, из нее извлекаются и формируются входные кодификаторы для обучения нейронной сети, которые описаны далее [2].

Существующие модели и методики прогнозирования распространения загрязняющих веществ предполагают наличие сложных систем аналитических уравнений, описывающих динамику распространения примеси. Процессы распространения загрязнений имеют случайный характер, плохо воспроизводимы и обладают различными свойствами, что затрудняет аналитическое описание [8]. Учет особенностей процесса загрязнения атмосферы в условиях неполных метеоанных и данных об источниках загрязнения может достигнут путем применения нейросетевых моделей, получивших широкое распространение в различных областях [7].

Основным достоинством нейронных сетей является способность к обучению на основе имеющейся оперативной выборки. Кроме того, обученные нейронные сети можно обучать в будущем, используя постоянно поступающие фактические данные о загрязнении и метеоусловиях.

Для реализации задачи был выбран существующий метод прогнозирования цифр выбросов с помощью каскадной нейросети с прямым распространением сигнала [1].

Для определения эффективности нейронной сети используется среднеквадратичная ошибка, со средними по количеству выходными переменными текущей нейронной сети [2]. Расчет основан на прогнозируемых и реальных значениях выборки по формуле, приведенной на рис. 3 [8], где  $y_{ij}^{реал}$  — значение  $i$ -ой выходной переменной нейронной сети для  $j$ -го обучающего или тестового примера;  $y_{ij}^{прогн}$  — прогнозируемое значение  $i$ -ой выходной переменной нейронной сети для  $j$ -го обучающего или тестового примера;  $N$  — количество примеров в обучающей или тестовой выборке;  $K$  — количество выходных переменных нейронной

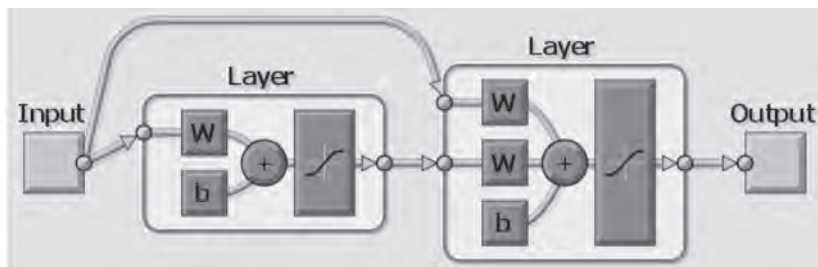


Рис. 4. Структура используемой нейросети  
Fig. 4. Selected neural network structure

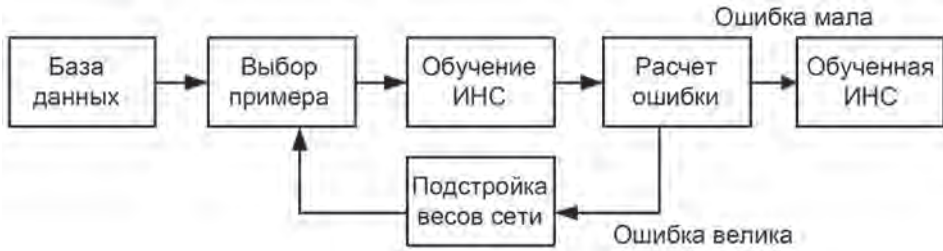


Рис. 5. Процесс обучения НС

Fig. 5. Neural network learning process

сети. Структура нейронной сети для прогнозирования распределения диоксида азота, включает данные входные параметры:  $U$  – скорость ветра, м/с;  $W$  – направление ветра, град.;  $T$  – температура воздуха, °С;  $C_p$  – концентрация загрязнителя, рассчитанная по программе «Эколог-город», мг/м;  $i, j$  – координаты точек;  $C$  – концентрация загрязнителя, рассчитанная по нейросетевой модели, мг/м<sup>3</sup>;

Структура каскадной сети с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки приведена на рис. 4 [2].

На рис. 5 приведена схема обучения нейронной сети.

Способности нейронной сети к прогнозированию напрямую следуют из ее способности к обобщению и выделению скрытых зависимостей между входными и выходными данными. Следует от-

метить, что прогнозирование возможно только тогда, когда предыдущие изменения действительно в какой-то степени определяют будущие.

Каскадная нейронная сеть прямого распространения аналогична сети с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки, но включает в себя соединение входных данных со слоем, выдающим результирующие значения.

Важный факт состоит в том, что в используемом программном пакете для реализации задачи – Deductor, при настройке сети после импорта данных, настройка весов сети требует минимального вмешательства ЛПР, так как при обработке статистической информации с явной тенденцией изменения данных, сеть намного быстрее выдает прогнозные значения, которые можно считать достаточно точными.

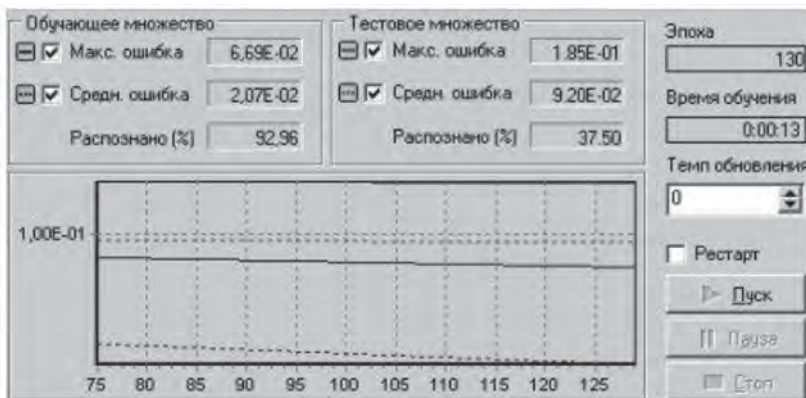


Рис. 6. Форма настройки обучения сети

Fig. 6. Setting of neural network learning

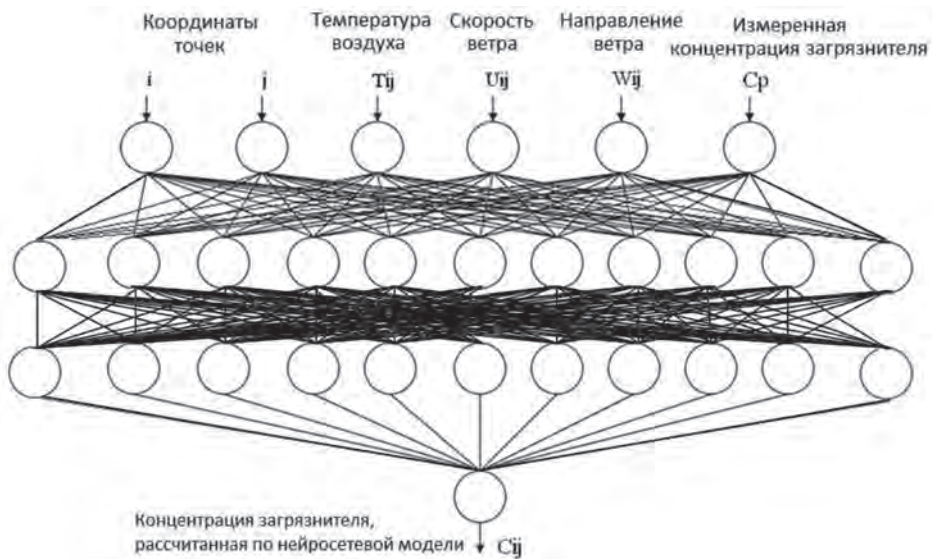


Рис. 7. Нейронная сеть с параметрами  
 Fig. 7. Neural network with parameters



Рис. 8. Нанесение прогнозных данных на карту  
 Fig. 8. Prediction data mapping

На рис. 7 приведена нейронная сеть с описанием всех ее параметров [2].

Пример визуализации прогноза с заданными параметрами приведен на рис. 8. Данная операция нужна для определения динамики распространения загрязнения, а также определения очага [2].

Тем самым, получив прогнозные цифры и нанеся их на карту местности вокруг предприятия (там же, где и были проведены замеры, соответственно), которое относится к предприятиям, представляющим экологический риск, возможно отслеживать ореол распространения и концентрацию веществ, представляющих опасность для экологической обстановки черты местности. Таким образом, применение нейронных сетей позволя-

ет построить прогностическую модель распределения загрязнителей в атмосферном воздухе при учете различных метеорологических условий и вклада промышленных предприятий в загрязнение воздушного бассейна города, что дает возможность своевременного реагирования и принятия управленческих решений.

Ключевой возможностью, которая предоставляется данной задачей, является своевременное реагирование на динамику повышения или же расширения границ выбросов вредных веществ, что по сути является одной из самых важных задач, определяющих деятельность департамента «Росгидромет» в области охраны здоровья граждан, а также окружающей среды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чижова В. И., Плуготаренко Н. К., Сосов П. А. Системный анализ и управление рисками для здоровья человека на основании данных автоматизированной системы мониторинга // Инженерный вестник Дона. — 2012. — № 4. — С. 1–4.
2. Савицкая Т. В., Дударов С. П., Егоров А. Ф., Левушкин А. С. Использование искусственных нейронных сетей для прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха аварийными источниками при изменяющихся метеоусловиях // Экологические системы и приборы. — 2007. — № 10. — С. 67–72.
3. Степановских А. С. Экология. Учебник для вузов. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. — 703 с.
4. Гредел Т. Е., Аменби Б. Р. Промышленная экология. — М.: Изд-во ЮНИТИ, 2004. — 430 с.
5. Денисов В. В., Курбатова А. С., Денисова И. А., Бондаренко В. Л., Грачев В. А., Гутнев В. А., Нагнибеда Б. А. Экология города. — М.: ИКЦ «Март», 2008. — 832 с.
6. Иванов Н., Фадин И. Инженерная экология и экологический менеджмент. — М.: Логос, 2003. — 528 с.
7. Мазуркин П. Статистическая экология: Учебное пособие. — Йошкар-Ола: МарГУ, 2004. — 308 с.
8. Тихомирова Н. П. Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками: Учебное пособие. — М.: Изд-во ЮНИТИ, 2003. — 350 с.
9. Хотунцев Ю. Экология и экологическая безопасность: Учебное пособие. — М.: Академия, 2004. — 480 с.
10. Круглов В. В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика, изд. 2-е, стер. — М.: Горячая линия—Телеком, 2002. — 382 с.
11. Тархов Д. А. Нейронные сети. Модели и алгоритмы. — М.: Книга 18. Радиотехника, 2005. — 256 с.
12. Куликов Е. И. Прикладной статистический анализ. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ГЛТ, 2008. — 464 с. **ИИЭ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Коньшин Борис Федорович<sup>1</sup> — кандидат технических наук, доцент, e-mail: mineur@bk.ru, Юсков Виталий Сергеевич<sup>1</sup> — студент, e-mail: v.yuskov@gmail.com,

<sup>1</sup> НИТУ «МИСиС».

## Improvement of efficiency in violation control of harmful emission standards by means of prediction using artificial neural network

Kon'shin B.F.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences,  
Assistant Professor, e-mail: mineur@bk.ru,

Yuskov V.S.<sup>1</sup>, Student, e-mail: v.yuskov@gmail.com,

<sup>1</sup> National University of Science and Technology «MISiS»,  
119049, Moscow, Russia.

**Abstract.** The article focuses on urgency of activities in the area of ecological safety. The mechanism of detecting violations of ecological standards in harmful emission is described. The object is set to improve efficiency of toxic emission concentration control by means of prediction using neural networks. The current nature of the objective is justified. The documents with the required source data for reaching the set objective are presented. The advantages of this approach are described. The formula is given for checking the data in order that the proposed method is efficient. The parameters, scheme, setting of learning parameters and the structure of the selected neural network are presented. A variant of interpreting the obtained data is discussed. The conclusion on the relevance of the objective is drawn.

**Key words:** ecology, prediction, ecological risks, neural networks, environmental standards, harmful substances, efficiency.

---

DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-105-111

### REFERENCES

1. Chizhova V.I., Plugotarenko N.K., Sosov P.A. Sistemnyy analiz i upravlenie riskami dlya zdorov'ya cheloveka na osnovanii dannykh avtomatizirovannoy sistemy monitoringa [System analysis and risk management for human health on the basis of automated monitoring system data], *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2012, no 4, pp. 1–4. [In Russ].
2. Savitskaya T.V., Dudarov S.P., Egorov A.F., Levushkin A.S. Ispol'zovanie iskusstvennykh neyronnykh setey dlya prognozirovaniya zagryazneniya atmosfernogo vozdukha avariynymi istochnikami pri izmenyayushchikhsya meteoulovoyakh [The use of artificial neural networks to predict air pollution by emergency sources under changing weather conditions], *Ekologicheskoe sistemy i pribory*. 2007, no 10, pp. 67–72. [In Russ].
3. Stepanovskikh A.S. *Ekologiya*. Uchebnik dlya vuzov [Ecology. Textbook for high schools], Moscow, YUNITI-DANA, 2001, 703 p.
4. Gredel T.E., Allenbi B.R. *Promyshlennaya ekologiya* [Industrial ecology], Moscow, Izd-vo YUNITI, 2004, 430 p.
5. Denisov V.V., Kurbatova A.S., Denisova I.A., Bondarenko V.L., Grachev V.A., Gutenev V.A., Nagnibeda B.A. *Ekologiya goroda* [City ecology], Moscow, IKTS «Mart», 2008, 832 p.
6. Ivanov N., Fadin I. *Inzhenernaya ekologiya i ekologicheskiy menedzhment* [Engineering ecology and environmental management], Moscow, Logos, 2003, 528 p.
7. Mazurkin P. *Statisticheskaya ekologiya: Uchebnoe posobie* [Statistical ecology: Educational aid], Yoshkar-Ola, MarGU, 2004, 308 p.
8. Tikhomirova N.P. *Metody analiza i upravleniya ekologo-ekonomicheskimi riskami: Uchebnoe posobie* [Methods of analysis and management of environmental and economic risks: Educational aid], Moscow, Izd-vo YUNITI, 2003, 350 p.
9. Khotuntsev Yu. *Ekologiya i ekologicheskaya bezopasnost': Uchebnoe posobie* [Ecology and environmental safety: Educational aid], Moscow, Akademiya, 2004, 480 p.
10. Kruglov V.V., Borisov V.V. *Iskusstvennye neyronnye seti. Teoriya i praktika*, izd. 2-e [Artificial neural network. Theory and practice, 2nd edition], Moscow, Goryachaya liniya—Telekom, 2002, 382 p.
11. Tarkhov D.A. *Neyronnye seti. Modeli i algoritmy* [Neural network. Models and algorithms], Moscow, Kniga 18. Radiotekhnika, 2005, 256 p.
12. Kulikov E.I. *Prikladnyy statisticheskiy analiz*. 2-e izd. [Applied statistical analysis, 2nd edition], Moscow, GLT, 2008, 464 p.

