

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Потылицына Е.Н., Липинский Л.В., Сугак Е.В.

*Сибирский государственный аэрокосмический университет, Красноярск, Россия
(660014, г. Красноярск, проспект им. Газеты «Красноярский рабочий», 31), e-mail: sugak@mail.ru*

Рассмотрена возможность использования искусственных нейронных сетей для оценки и прогнозирования состояния здоровья жителей крупного промышленного города. Данный метод позволяет разрабатывать высокоэффективные информационные компьютерные системы прогнозирования и анализа заболеваемости при изменении каких-либо факторов, оказывающих влияние на здоровье населения, дает возможность по имеющимся базам статистических данных наблюдений за выбросами и концентрациями загрязняющих веществ и состоянием здоровья населения региона автоматически получать зависимости, отражающие характерные для исследуемой системы причинно-следственные связи между показателями загрязнения окружающей среды и индикаторами состояния здоровья населения. Анализ полученных результатов показывает высокую точность прогнозных оценок и эффективность предлагаемой методики. Предложенный метод анализа риска может позволить получить объективную количественную информацию о степени опасности действующего или проектируемого производственного объекта, выявить зоны и территории, где уровень риска превышает допустимые значения для принятия мер по его снижению и обеспечению нормативной безопасности производственного персонала и населения.

Ключевые слова: оценка риска, искусственные нейронные сети.

THE USE OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR APPLIED ENVIRONMENTAL PROBLEMS

Potylicyna E.N., Lipinskiy L.V., Sugak E.V.

Siberian State Aerospace University, Krasnoyarsk, Russia (660014, Krasnoyarsk, Krasnoyarsky Rabochy Av., 31), e-mail: sugak@mail.ru

The possibility of using artificial neural networks to evaluate and predict the state of health of a large industrial city is considered. This method enables to develop the high efficiency information computer system for forecasting and analysis of the disease incidence with changing in any factors that influence the health of the population, allows to receive dependence, reflecting the typical of the system of cause and effect relationships between indicators of environmental pollution and indicators of the health of the population automatically, according to the available statistical databases to monitor emissions and concentrations of pollutants and the health of the region's population. Analysis of the results shows high accuracy of forward-looking estimates and effectiveness of the proposed method. The proposed method of risk analysis can provide objective quantitative information about the degree of danger of the current or projected production facility, to identify areas and areas where the risk level exceeds the allowable values for the adoption of measures to reduce it, and ensure regulatory security of the production staff and the public.

Key words: risk assessment, artificial neural networks.

Проблемы определения качества общественного здоровья неотделимы от проблемы повышения уровня жизни населения. Состояние здоровья обусловлено не только и не столько собственно системой здравоохранения и социального обеспечения, но в значительной степени зависит от условий жизни и состояния окружающей среды [3].

Принцип охраны жизни и здоровья граждан от неблагоприятного воздействия окружающей среды лежит в основе Конституции России (ст. 42), а также Федеральных законов «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (ст. 8) и «Об охране окружающей среды» (п. 1 ст. 79). Эти законы гарантируют гражданам возмещение ущерба здоровью и вреда от неблагоприятного воздействия производственной деятельности на окружающую

природную среду. В «Экологической доктрине Российской Федерации» отмечается, что конституционными основами экологической политики России являются «государственные гарантии возмещения ущерба, причиненного здоровью».

В свою очередь принцип полного возмещения вреда в соответствии с Гражданским кодексом Российской Федерации (ст. 1064) предполагает взыскание реального ущерба и должен обеспечиваться общеправовым принципом неотвратимости ответственности виновного за причиненный вред. Это, как правило, экономический вред личности, каковым в сфере производства оцениваются травмы и профессиональные заболевания различной степени тяжести. Скрытый вред здоровью, наносимый техногенными факторами окружающей среды, который абсолютно доминирует по масштабам негативного воздействия, сегодня не может быть оценен в общепонятных количественных социально-стоимостных эквивалентах. Это обстоятельство сводит до уровня декларативности все перечисленные положения законов, гарантирующих экологическую безопасность.

Для устранения указанных противоречий необходимо законодательно включить в систему анализа социально-экономической эффективности деятельности предприятий процедуру количественной оценки социально-экологического риска от их деятельности. Это, в свою очередь, вызывает необходимость разработки методик количественной оценки и прогнозирования социально-экологических рисков населения от вредного воздействия техно-сферы.

Оценка и прогнозирование потенциального риска для здоровья человека является одной из важнейших социально-экологических проблем и связана с необходимостью изучения причинно-следственных связей показателей здоровья населения и демографической динамики с уровнем антропогенной нагрузки на окружающую среду. Оценка социально-экологических рисков может быть использована для проведения целенаправленной экологической политики и политики в области охраны здоровья населения, выделения приоритетных территорий и групп населения повышенного риска, нуждающихся в первоочередных природоохранных и лечебно-профилактических мероприятиях. Концепция оценки риска практически во всех развитых странах мира и международных организациях рассматривается в качестве главного механизма разработки и принятия управленческих решений как на международном, государственном и региональном уровнях, так и на уровне отдельного производства или другого потенциального источника загрязнения окружающей среды [6].

Анализ данных медицинской статистики различных стран за последние десятилетия показывает, что в результате воздействия вредных факторов промышленного производства и связанного с ним загрязнения окружающей среды возрастает частота многих хронических патологических процессов – заболеваний органов дыхания, печени, почек, хронических

отравлений, аллергических процессов, генетических дефектов и врожденных пороков, злокачественных новообразований и болезней крови, вегетососудистых нарушений, неврозов, атеросклеротических поражений сердца и сосудов, т.е. патологий практически всех органов и систем человека [3]. «Плата» за долговременную адаптацию организма к чрезвычайному или длительному влиянию неблагоприятных факторов окружающей среды – снижение средней продолжительности жизни и ухудшение состояния здоровья.

Анализ работ в области оценки и прогнозирования социально-экологических рисков выявил две основные проблемы [5]:

- неопределенность критериев (индикаторов) для оценки влияния загрязняющих веществ на здоровье жителей промышленного региона;
- поливариантность взаимосвязей качественных и количественных характеристик социально-экологических рисков из-за региональных экономических, природных, антропогенных и климатических особенностей территорий.

В настоящее время в России действует система принятия решений в области экологии и охраны окружающей среды и здоровья населения, основанная на принципах соблюдения установленных санитарно-гигиенических нормативов (ПДК, ПДВ, ВСВ и т.д.) [6; 8; 9].

Однако частнонормативный подход не соответствует потребностям решения экологических проблем по следующим основным причинам [1; 2]:

- далеко не для всех реальных загрязнителей установлены ПДК;
- отсутствуют ПДК для множества сочетаний различных агентов: возможные взаимодействия между ними, образование вторичных продуктов и совмещенные эффекты не позволяют рассчитать «комплексы» ПДВ;
- предельно допустимые нормативы одного и того же вещества для некоторых растений и животных (в том числе имеющих продовольственное значение) могут быть существенно ниже, чем для человека;
- расчет большинства ПДВ делается на основании максимальных разовых ПДК, которые могут быть значительно выше среднесуточных.

Недостатки концепции предельно допустимых нормативов известны давно, и конструктивная постановка проблемы должна состоять не столько в критике устаревшего подхода, сколько в разработке комплекса методов, способных заменить существующие [5; 8; 9]. Кроме того, охрана окружающей среды предполагает не только оценку состояния здоровья населения в данный момент времени, но и прогнозирование последствий влияния загрязняющих веществ на здоровье жителей исследуемого региона.

В связи с этим необходимы развитие и апробация способов и методов оценки и про-

гнозирования социально-экологических рисков, позволяющих независимо от выбора критериев для оценки состояния здоровья проводить прогноз с учетом региональных природных, экономических, антропогенных и климатических особенностей территории [5; 8; 9].

Международная методология оценки риска предполагает, что, во-первых, канцерогенные эффекты при воздействии химических канцерогенов, обладающих генотоксическим действием, могут возникать при любой дозе, вызывающей инициирование повреждений генетического материала, и, во-вторых для неканцерогенных веществ и канцерогенов с негенотоксическим механизмом действия предполагается существование пороговых уровней, ниже которых вредные эффекты не возникают [6].

В последние годы накоплен богатый материал о влиянии неблагоприятных экологических факторов на здоровье населения, получены новые научные результаты о связи факторов окружающей среды и здоровья населения. Однако накопление информации не приводит к новым знаниям. Темпы эволюции информационных технологий значительно опережают эволюцию методологических основ экологии, охраны и управления состоянием окружающей среды – существующие методики и нормативы базируются на устаревших традиционных понятиях и представлениях, технологии подготовки и принятия решений отстают от достижений в математическом моделировании, информационных и вычислительных технологиях.

Кроме того, особенностью развития техносферы в последнее время является изменение ее системных свойств: возникновение рисков, обусловленных длинными причинно-следственными связями, их междисциплинарный характер, глобальные изменения техногенного характера, высокая чувствительность к «слабым воздействиям» и др. Это с неизбежностью приводит к необходимости использования системного подхода к анализу техногенных рисков и техносферной безопасности в целом с использованием методов системного анализа и информационных технологий.

Последние несколько лет идет активное развитие технологий искусственного интеллекта, имитирующих деятельность нейронов мозга – искусственные нейронные сети (ИНС) [5; 8; 9]. Применение искусственных нейронных сетей дает ряд преимуществ по сравнению с традиционным подходом, позволяя одновременно учитывать большое количество влияющих параметров, воздействующих на множество зависимых величин, автоматически синтезировать высокосложные аналитические модели по имеющимся базам данных, наиболее полно отражающие характерные для исследуемой системы причинно-следственные связи между параметрами, автоматически оценивать степень влияния каждого из воздействующих параметров на зависимые величины и корректировать полученную аналитическую модель с появлением новых данных путем «доучивания» нейросети [8-10].

Искусственная нейронная сеть представляет собой математический аппарат, позволя-

ющий строить алгоритмы обработки информации, обладающий уникальной способностью обучаться на примерах и «узнавать» в потоке «зашумленной» и часто противоречивой информации приметы ранее встреченных образов и ситуаций. ИНС позволяют находить скрытые зависимости между входными и выходными данными, которые остаются вне внимания классических методов [5; 9].

Моделирование систем с использованием ИНС осуществляется в три этапа: обучение, оценка результатов обучения и использование обученных сетей для прогнозирования [10]. На обучающем множестве происходит настройка сети, т.е. корректировка весовых коэффициентов нейронов пропорционально ошибке на выходе. Данные контрольного множества используются для кросс-проверки – на каждом шаге обучения сети рассчитывается ошибка для всего набора наблюдений из контрольного множества и сравнивается с ошибкой на обучающем множестве. Алгоритм обучения ИНС направлен на минимизацию ошибки на выходе сети, которая оценивается с помощью статистических показателей (таких как средняя абсолютная ошибка) (рис. 1). Наиболее эффективной признается сеть с наименьшей ошибкой.

Для проверки приемлемости нейросетевых технологий для оценки экологического риска построена модель влияния вредных выбросов на здоровье населения Красноярска. В качестве индикаторов состояния окружающей среды использовались концентрации загрязняющих веществ в воздухе по данным центра по мониторингу загрязнения окружающей среды ГУ «Красноярский ЦГСМ-Р», осуществляющего наблюдения за качеством атмосферного воздуха на 8 стационарных постах в г. Красноярске (табл. 1). Обработаны ежегодники «Состояние загрязнения атмосферного воздуха городов на территории Красноярского края, республик Хакасия и Тыва» с 1999 по 2010 г. [7].

В качестве индикатора здоровья населения использовались данные санитарно-демографической статистики Территориального органа федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю (Красноярскстат) (табл. 2) [4].

Для построения нейросетевой модели использовалась программная система Matlab (версия 7.12.0.635). Обучение нейронной сети проводилось на данных за 1999-2008 гг., тестирование – на данных за 2009-2010 гг., прогнозирование – по данным за 2011 г.

Таблица 1

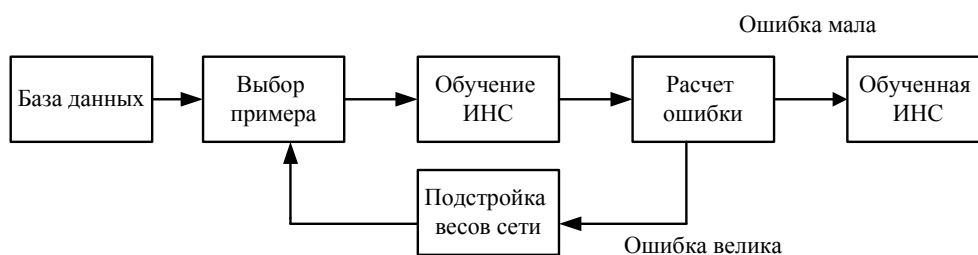


Рис. 1. Процесс обучения ИНС

Концентрация загрязняющих веществ в воздухе г. Красноярск в 1999-2011 гг.

Вещество	Бензол	Азота оксид	Марганец	Медь	Гидро-фторид	Ксилол	Серо-водород	Серо-углерод	Толуол	Окись углерода	Фенол	Никель
Ед. изм.	мг/м ³	мг/м ³	мкг/м ³	мкг/м ³	мг/м ³	мг/м ³	мкг/м ³	мкг/м ³	мг/м ³	мг/м ³	мкг/м ³	мкг/м ³
1999	0,080	0,020	0,040	0, 03	0,0030	0,050	1,0	15,000	0,045	1,500	1,0	0,0124
2000	0,030	0,020	0,035	0, 03	0,0030	0,070	1,0	1,000	0,030	1,300	1,0	0,0112
2001	0,023	0,027	0,030	0, 02	0,0030	0,013	0,0	0,000	0,014	1,786	1,0	0,0100
2002	0,015	0,029	0,040	0, 04	0,0030	0,012	0,0	0,000	0,012	1,592	1,0	0,0100
2003	0,025	0,018	0,040	0, 03	0,0030	0,018	0,0	0,000	0,030	1,400	1,0	0,0100
2004	0,015	0,039	0,080	0, 04	0,0010	0,028	0,0	0, 000	0,024	1,457	0,0	0,0100
2005	0,022	0,034	0,070	0, 04	0,0020	0,042	0,0	0,000	0,032	1,073	1,0	0,0200
2006	0,019	0,041	0,100	0, 05	0,0030	0,036	0,3	0,300	0,027	1,801	1,2	0,0200
2007	0,024	0,049	0,090	0, 07	0,0030	0,054	0,2	0,200	0,038	1,105	0,7	0,0200
2008	0,024	0,063	0,090	0, 05	0,0028	0,045	0,1	0,100	0,040	0,906	1,0	0,0200
2009	0,020	0,057	0,080	0, 09	0,0025	0,030	0,3	0,300	0,026	1,199	1,2	0,0000
2010	0,026	0,041	0,150	0, 08	0,0017	0,046	0,2	0,225	0,040	1,233	1,4	0,0100
2011	0,023	0,030	0,150	0, 06	0,0026	0,048	0,2	0,225	0,028	1,266	1,8	0,0100

Окончание табл. 1

Вещество	Свинец	Бенз(а) пирен	Хром	Формаль-дегид	Азота диоксид	Цинк	Пыль	Аммиак	Диоксид серы	Железо	Хлор	Гидро-хлорид	Этил-бензол
Ед. изм.	мкг/м ³	мг/м ³	мкг/м ³	мкг/м ³	мг/м ³	мкг/м ³	мг/м ³	мг/м ³	мг/м ³	мкг/м ³	мг/м ³	мг/м ³	мкг/м ³
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

Таблица 2

Санитарно-демографическая статистика и результаты расчетов

Показатель	Число жителей	Рождаемость	Смертность общая	Больных злокачественными новообразованиями	Смертность от новообразований		
					наблюдаемая	расчетная	ошибка
Ед. изм.	тыс. человек	на 1000 человек		на 100 тыс. человек	на 100 тыс. человек		%%
1999	877,6	8,3	13,8	1042,0	207,10	207,18	-0,04
2000	875,9	8,6	14,1	1465,5	208,81	208,28	+0,25
2001	875,4	9,5	13,7	1512,5	205,50	204,80	+0,34
2002	912,1	10,7	14,0	1551,8	186,60	191,20	-2,47
2003	912,8	10,9	13,7	1588,9	195,77	191,20	+2,33
2004	917,2	10,9	12,8	1713,3	209,33	209,43	-0,05
2005	917,2	10,9	13,3	1811,3	205,29	202,65	+1,29
2006	921,7	11,1	11,9	1969,5	207,98	209,43	-0,70
2007	927,2	11,4	11,7	2094,3	211,90	209,45	+1,16
2008	937,2	12,7	11,4	2199,1	211,80	209,42	+1,12
2009	947,8	13,4	10,8	2336,5	204,80	205,13	-0,16
2010	971,6	13,5	11,0	2483,8	202,60	198,24	+2,15
2011	998,1	-	-	-	199,08	199,06	+0,01

Варьированием структуры и параметров нейронной сети и алгоритма обучения было

получено несколько моделей сети, из которых была отобрана лучшая по свойству обобщения (наименьшей ошибке на тестовой выборке). Выбранная сеть обладает послойной организацией и прямым распространением сигнала (многослойный персептрон) с тремя слоями: на 1 слое – 3 нейрона, на 2 и 3 слоях – по 2 нейрона с сигмоидальной активационной функцией нейронов. Средняя относительная ошибка по всем результатам составила 0,40%, средняя абсолютная ошибка – 0,93%, т.е. сеть обеспечивает хорошую сходимость расчетных и фактических значений (табл. 2).

На основе выбранной нейросетевой модели и соответствующих концентраций загрязняющих веществ за 2011 год был получен прогноз количества умерших от новообразований в 2011 году – 199,06 на 1000 человек, реальное количество равно 199,08.

Расчеты, выполненные на основе предлагаемого подхода, по-видимому, имеют большую степень неопределенности по сравнению с результатами, полученными при точном соблюдении требований научной медико-биологической экспертизы. Однако его несомненным преимуществом является то, что уже сейчас имеются все необходимые правовые, методические и информационные возможности для его внедрения в практику экологической экспертизы и контроля за состоянием природной среды. Кроме того, предложенный метод анализа риска может позволить, при необходимости, получить объективную количественную информацию о степени опасности конкретного действующего или проектируемого производственного объекта, выявить зоны и территории, где уровень риска превышает допустимые значения, при которых необходимо ужесточение контроля или принятия определенных мер по его снижению и обеспечению нормативной безопасности производственного персонала и населения [8; 9].

Приведенные результаты свидетельствуют, что применение нейросетевых технологий для решения прикладных экологических задач, связанных с обработкой информации и построением моделей, является перспективным направлением исследований.

Список литературы

1. Акимова Т.А., Кузьмин А.П., Хаскин В.В. Экология. Природа - Человек - Техника. - М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2001. - 343 с.
2. Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). – Екатеринбург : УИФ «Наука», 1994. - 282 с.
3. Гичев Ю.П. Здоровье человека как индикатор экологического риска промышленных регионов // Вестник Российской академии медицинских наук. – 1995. - № 8. - С. 52-54.

4. Здравоохранение в г. Красноярске в 2011 году. Статистический бюллетень № 8-5.2. – Красноярск : Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю, 2012. - 15 с.
5. Красногорская Н.Н. и др. Использование искусственных нейронных сетей при прогнозировании качества речной воды // Безопасность жизнедеятельности. – 2009. - № 4. - С. 15-21.
6. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду.
7. Состояние загрязнения атмосферного воздуха городов на территории Красноярского края, республик Хакасия и Тыва в 2010 г. - Красноярск, 2011. - 116 с.
8. Сугак Е.В., Кузнецов Е.В., Назаров А.Г. Информационные технологии оценки экологической безопасности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. - Т. 18. - № 12. - С. 39-45.
9. Сугак Е.В., Окладникова Е.Н., Кузнецов Е.Н. Вычислительные и информационные технологии анализа и оценки социально-экологических рисков // Экология и промышленность России. – 2008. - № 8. - С. 24-29.
10. Хайкин С. Нейронные сети. - М. : Вильямс, 2006. - 1104 с.

Рецензенты:

Хижняк С.В., д.б.н., профессор, Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск.

Войнов Н.А., д.т.н., профессор, Сибирский государственный технологический университет, г. Красноярск.