
УДК 519.6:504.064

И.П. Каменева, А.В. Яцишин,

В.А. Артемчук, кандидаты техн. наук

Ин-т проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины
(Украина, 03164, Киев, ул. Генерала Наумова, 15,
тел. (044) 4249168, e-mail: andic@ua.fm)

Компьютерные средства оценивания экологических рисков с использованием структурного анализа данных мониторинга

Для оценивания и визуализации территориальных рисков предложено использовать методы структурного анализа данных мониторинга, позволяющие объединить многомерные данные из разных источников и обеспечить визуальное представление о факторах риска в графическом и картографическом виде. На основе этих методов разработаны методические и программные средства оценивания территориальных рисков для здоровья населения, обусловленных загрязнением атмосферного воздуха.

Для оцінювання та візуалізації територіальних ризиків запропоновано використовувати методи структурного аналізу даних моніторингу, які дозволяють поєднати багатомірні дані із різних джерел та забезпечити візуальне представлення факторів ризику в графічному та картографічному вигляді. На основі цих методів розроблено методичні та програмні засоби оцінювання територіальних ризиків для здоров'я населення, обумовлених забрудненням атмосферного повітря.

К л ю ч е в ы е с л о в а: экологический мониторинг, атмосферный воздух, структурный анализ данных, риски для здоровья, экологические карты.

Развитие общества на современном этапе в большой степени зависит от решения проблемы экологической безопасности. Устойчивое развитие и безопасность — две взаимосвязанные концепции, которые следует рассматривать как основу для выбора дальнейших путей развития Украины [1—2]. В настоящее время состояние экологической безопасности в Украине не соответствует европейским стандартам. В первую очередь, это высокие уровни загрязнения атмосферного воздуха в промышленных районах, где наиболее значительную массу выбросов от стационарных источников обеспечивают предприятия энергетики и металлургии: соответственно 33 и 28 % общего объема выбросов [3]. Общий уровень техногенных нагрузок на окружающую среду в Украине в несколько раз превышает аналогичные показатели в странах СНГ и Восточной Европы.

© И.П. Каменева, А.В. Яцишин, В.А. Артемчук, 2013

Действующие в нашей стране автоматизированные системы мониторинга атмосферы осуществляют только обработку данных с постов наблюдения, но не имеют аналитического обеспечения для определения и уточнения распределения техногенных нагрузок и рисков. Зарубежные аналоги стоят достаточно дорого и требуют дополнительных усилий для адаптации к нашим условиям. В связи с этим возрастает актуальность работ, ориентированных на создание методического и компьютерного обеспечения задач мониторинга и управления безопасностью, применение новых информационных технологий оценивания экологических рисков и принятия решений, направленных на регулирование и сокращение техногенных нагрузок на локальном, региональном и государственном уровнях.

Для информационной поддержки задач экологической безопасности предлагается использовать экспертно-аналитический подход к оцениванию и визуализации экологических рисков, связанных с техногенными нагрузками на атмосферный воздух. Этот подход разработан с учетом методических разработок, предложенных для анализа процессов устойчивого развития [1—2], а также принятых в настоящее время нормативных документов и рекомендаций по оцениванию экологических рисков.

Постановка задачи. Основная задача исследований — разработка методического и программного обеспечения для информационной поддержки задач экологической безопасности. Один из важных этапов решения этой задачи — разработка компьютерных средств оценивания уровней экологических рисков и их наглядного представления в виде электронных экологических карт.

Как известно, понятие риска отражает вероятностное представление о влиянии факторов окружающей среды на здоровье человека. Риск для здоровья определяется как вероятность развития негативных последствий для здоровья у отдельных индивидов, которые в той или иной форме испытали влияние определенного негативного фактора. Под экологическим риском в зарубежных публикациях и рекомендациях международных организаций понимается вероятность развития неблагоприятных эффектов в экологических и социально-экологических системах.

Анализ рисков можно определить как процесс получения информации, необходимой для предупреждения негативного влияния на здоровье человека, который включает этапы, связанные с оценкой риска, исследование возможностей управления риском и распространение информации о нем. Здоровье человека определяется сложным взаимодействием ряда факторов, таких как наследственность, социально-экономические условия, образ жизни, медицинское обслуживание и качество окружающей среды. Выявление отдельных факторов, негативно влияющих на здоровье, и оценка их вклада в развитие тех или иных заболеваний представляет собой достаточно сложную задачу. В то же время, на основе многолетних

данных мониторинга качества атмосферного воздуха для урбанизированных территорий, экспертных знаний и методов оценки риска для здоровья в зависимости от концентраций вредных примесей в атмосферном воздухе можно построить оценки вероятности развития ряда заболеваний для различных групп населения.

Для анализа данных мониторинга и выявления наиболее опасных экологических проблем предлагается использовать известные методы и средства структурного анализа данных, которые формализованы и адаптированы для задач экологии [4—6]. Структурный анализ данных развивается в рамках более универсального направления, известного за рубежом как DATA MINING (DM) [7]. Оба подхода ориентированы на выявление и формальное описание знаний и закономерностей, получаемых на основе экспериментальных данных независимо от предметной области.

Структуры данных мониторинга представляют собой геометрическую конфигурацию точек, которые соответствуют разным состояниям исследуемых объектов в пространстве исходных параметров. В процессе анализа необходимо получить четкое представление об этой структуре. Множество статистических показателей, в которых может разобраться только опытный специалист, в результате анализа и упорядочивания совокупности таблиц различной размерности получает качественную интерпретацию, доступную для пользователя системы.

В практических задачах эколого-энергетического мониторинга и управления риском методы структурного анализа способствуют интеграции данных мониторинга, экспертных оценок и нормативно-правовых данных в единые многомерные структуры, представленные в компактном и удобном графическом виде. Формально задача структурного анализа данных экологического мониторинга описывается с помощью известных средств матричной алгебры. Множество состояний, или ситуаций, $\{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ может быть представлено как некоторая многомерная структура $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, где $x_i = (x_1^{(i)}, x_2^{(i)}, \dots, x_m^{(i)})$ — вектор значений анализируемых показателей (свойств) x_1, x_2, \dots, x_m , характеризующих экологическую ситуацию S_i . Многомерную структуру можно рассматривать также как матрицу попарных сравнений:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix},$$

где a_{ij} — мера сходства или различия ситуаций S_i и S_j , формально определяемая как геометрическое расстояние между точками в многомерном

пространстве признаков. В частности, для определения расстояния между парами признаков можно воспользоваться известной формулой эвклидова расстояния, где мера различия двух объектов, i и j , со значениями k -го признака x_{ik} и x_{jk} объектов i и j имеет вид

$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^K (x_{ik} - x_{jk})^2 \right]^{1/2}.$$

Полученное в результате анализа структурированное множество ситуаций можно интерпретировать на содержательном уровне. Если использовать общепринятую в области экологической безопасности терминологию по нормированию выбросов, то можно выделить территории (или ситуации) без превышения предельно допустимых норм (т.е. предельно допустимых концентраций вредных примесей), территории с превышением этих норм по одному параметру, территории с превышением норм по ряду параметров и так далее. Более универсальный способ интерпретации данных экологического мониторинга для территориальных систем можно получить с использованием современных представлений об экологическом риске и его приемлемых уровнях.

Далее будем рассматривать два основных направления визуализации структур данных экологического мониторинга: визуализация данных в виде экологических карт исследуемых территорий и визуализация графических образов, которые отображают распределение исследуемых структур данных в пространстве информативных признаков. Для данных, характеризующих экологическое состояние отдельных территориальных систем, наиболее удобным считается представление информации в виде карт техногенных нагрузок на исследуемые территории или карт рисков. Для сравнения нескольких различных ситуаций и прогнозирования используют серии тематических карт.

Для анализа и визуализации информации о множестве разнообразных ситуаций более эффективны технологии ДМ, ориентированные на построение шаблонов (эталонов). Шаблоны — это закономерности или особенности, свойственные выборкам данных, которые можно представить в простой и наглядной форме. Выбор шаблонов основан на выявленных в процессе анализа знаниях об экологическом состоянии исследуемых территорий, т.е. создается формальное описание приобретенного опыта, необходимого для принятия решений.

При решении задач экологического мониторинга в качестве шаблонов рассматриваются визуальные образы отдельных экологических состояний, отображенные в пространство информативных параметров. В некоторых

известных системах анализа данных, в частности в пакете «STATISTIKA» [8], реализованы возможности визуального анализа ситуаций для системы координат на плоскости (двумерный визуальный анализ) и в пространстве трех измерений (трехмерный визуальный анализ).

Методы оценивания рисков для здоровья населения. При оценивании экологического риска, связанного с загрязнением атмосферного воздуха, количественной мерой риска является вероятность реализации потенциальной опасности [3, 9]:

$$R = \sum_{i=1}^n W_i(C) P_i(C),$$

где $W_i(C)$ — условная вероятность нанесения вреда человеку при поглощении концентрации (дозы) C i -го опасного ингредиента; $P_i(C)$ — вероятность поглощения концентрации (дозы) C при наступлении неблагоприятных событий, связанных с загрязнением атмосферы i -м опасным ингредиентом; n — число возможных опасных ингредиентов в атмосферном воздухе; R — количественная мера риска. Функция $W_i(C)$ в большинстве случаев представляется в виде S-образной кривой и отражает связь «доза — эффект».

В соответствии с методическими рекомендациями [9, 10] анализ рисков для здоровья населения от загрязнения атмосферного воздуха включает четыре этапа, составляющих основу предлагаемого экспертно-аналитического подхода к оцениванию рисков на основе данных экологического мониторинга:

- 1) идентификация опасности отдельных факторов влияния;
- 2) оценка степени воздействия этих факторов;
- 3) установление зависимости доза — эффект;
- 4) характеристика рисков для здоровья населения.

На первом этапе проводится предварительный анализ данных, с учетом накопленного опыта и экспертных знаний выбираются наиболее информативные параметры для мониторинга техногенных нагрузок на исследуемые территории.

На втором этапе используются методы структурного анализа данных, позволяющие получить визуальное представление об исследуемых территориях в пространстве информативных параметров (индикаторов, или индексов) для определения территории с превышением допустимых норм.

На третьем этапе на основе соответствующих математических моделей определяются вероятностные оценки риска появления острых и хронических заболеваний, связанных с канцерогенным загрязнением атмосферы.

На четвертом этапе рассматриваются различные способы представления рисков: визуализация полученных распределений рисков с использованием картографической основы; гистограммы распределения рисков в пределах исследуемой территории, различные способы ранжирования и шкалирования полученных результатов.

На основе предлагаемого подхода разработаны алгоритмы и программные средства, реализующие различные сценарии анализа данных мониторинга, полученных из разных источников с учетом экспертных оценок допустимости тех или иных уровней рисков.

Риск токсических эффектов рассматривается как функция дозы токсического вещества, поступившего в организм представителя данной группы населения за всю жизнь. В случае загрязнения атмосферы дозу токсического вещества можно оценивать на основе данных о его концентрации в воздухе и времени пребывания людей в условиях повышенного загрязнения [11]. Следует различать два основных вида рисков для здоровья: риск немедленных токсических эффектов и риск хронических заболеваний.

Как известно, острая токсичность (немедленные токсические проявления) имеет ярко выраженный пороговый характер. Для оценки риска острых токсических эффектов может быть использована модель индивидуальных порогов действия. Применительно к загрязнению атмосферы эта модель имеет вид

$$RI_3 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{a+b \lg(C/\text{ПДК}_{\text{мр}})} \exp(-\tau^2/2) d\tau, \quad (1)$$

где a и b — параметры, зависящие от токсикологических особенностей вещества; C — концентрация токсической примеси в атмосфере, $\text{мг}/\text{м}^3$; $\text{ПДК}_{\text{мр}}$ — предельно допустимая концентрация (максимально-разовая), $\text{мг}/\text{м}^3$.

Риск хронической интоксикации рассчитывается для определенного промежутка времени (месяца, года или нескольких лет) по формуле

$$R_3 = 1 - \exp \left[-0,174 \left(\frac{C}{\text{ПДК}_{\text{сс}} K_3} \right)^\beta t \right], \quad (2)$$

где β — коэффициент, учитывающий особенности токсических свойств вещества; K_3 — коэффициент загрязнения, зависящий от класса опасности вещества; C — концентрация загрязняющих веществ в атмосфере, воздействующая в течение времени t , $\text{мг}/\text{м}^3$; $\text{ПДК}_{\text{сс}}$ — предельно допустимая концентрация (среднесуточная), $\text{мг}/\text{м}^3$.

В таблице приведены значения параметров, зависящих от класса опасности исследуемых веществ.

Канцерогенный риск. Оценка зависимости доза—эффект у канцерогенов с беспороговым механизмом действия осуществляется методом линейной экстраполяции реально наблюдаемых в эксперименте или в эпидемиологических исследованиях данных в область слабых воздействий и нулевого канцерогенного риска. Основным параметром для оценки риска воздействия канцерогенного компонента является фактор канцерогенного потенциала SF , или фактор наклона, определяющий степень нарастания канцерогенного риска с увеличением воздействующей дозы на одну единицу [10]. Фактор наклона отражает верхнюю, завышенную, крайне консервативную оценку канцерогенного риска за всю ожидаемую продолжительность жизни человека (70 лет). Значения SF устанавливаются отдельно для ингаляционного SF_i и перорального SF_0 поступления химических канцерогенов.

Другим параметром для оценки канцерогенного риска является величина так называемого единичного риска UF , представляющего собой верхнюю, консервативную оценку канцерогенного риска у человека, подвергающегося на протяжении всей жизни постоянному воздействию анализируемого канцерогена в концентрации 1 мкг/м^3 .

При малых рисках для оценки канцерогенного воздействия используется уравнение

$$CR = LADD \cdot SF_i, \quad (3)$$

где $LADD$ — среднесуточная доза в течение жизни, $\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{день})$; SF_i — фактор наклона, $(\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{день}))^{-1}$; CR — канцерогенный риск. При использовании величины единичного риска UR расчетная формула принимает вид

$$CR = LADC \cdot UR, \quad (4)$$

где $LADC$ — средняя концентрация вещества в исследуемом объекте окружающей среды за весь период усреднения экспозиции.

Расчет по формулам (1)—(4) правомерен в случае относительно невысоких уровней воздействия канцерогена, находящихся на линейном участ-

Класс опасности вещества	Характеристика вещества	a	b	β	K_3
1	Чрезвычайно опасные	-9,15	11,66	2,40	7,5
2	Очень опасные	-5,51	7,49	1,31	6,0
3	Умеренно опасные	-2,35	3,73	1,00	4,5
4	Малоопасные	-1,41	2,33	0,86	3,0

ке зависимости доза—эффект. При несоблюдении этого условия (уровень риска $>0,01$) получаемые результаты могут только качественно характеризовать величину риска. При относительно высокой дозе канцерогена для расчета риска рекомендуется использовать следующее уравнение [3, 9]:

$$CR = 1 - \exp(-UR \cdot LADD). \quad (5)$$

Граничные значения концентраций, отделяющие линейный участок зависимости доза—эффект от нелинейного, приведены в базе данных и других источниках данных о канцерогенной активности химических соединений [9].

Определение индикаторов риска. Для оценивания рисков использованы данные мониторинга качества атмосферного воздуха, регулярно получаемые на постах наблюдения за загрязнением (ПНЗ) г. Киева и представленные в виде таблиц в ежемесячных отчетах [12]. Проведено исследование согласованности и достоверности исходных данных, полученных из разных источников. База данных (БД) [13] существенно расширена в результате добавления данных мониторинга за последние годы (рис. 1). Кроме того, получены и систематизированы данные, позволяющие учитывать характерные особенности застройки и рельефа местности.

Одна из основных задач анализа данных мониторинга — выбор информативных параметров (индикаторов), которые можно использовать в качестве экологических индексов для мониторинга опасных ситуаций. Известно, что негативное воздействие в отдельных ситуациях может усиливаться синергетическим эффектом от взаимодействия нескольких факторов риска. В некоторых случаях зону опасности (или нестабильности) можно определить по соотношениям между отдельными показателями. Удачный выбор индикаторов существенно упрощает анализ и качественную интерпретацию изменений экологического состояния, а также определение уровня устойчивости исследуемых территорий относительно техногенных нагрузок.

Предлагается два альтернативных подхода к выбору информативных параметров.

1. *Экспертный подход.* Выбор информативных параметров осуществляется с использованием экспертных знаний и результатов предварительного анализа данных мониторинга территориальных систем в различных регионах. Например, для анализа данных о загрязнении атмосферного воздуха в городах Украины использован индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) [12]. В качестве индикаторов риска рассмотрены кратности превышения допустимых концентраций для отдельных веществ, оказывающих токсическое воздействие на здоровье (диоксид азота, диоксид серы, оксид углерода, формальдегид, взвешенные частицы пыли).



Рис. 1. Структурная схема БД системы эколого-энергетического мониторинга

2. *Интеллектуальный анализ данных.* Выбор информативных параметров осуществляется с помощью методов выявления латентных знаний, используемых для формализации экспертных знаний в интеллектуальных системах [14]. В первую очередь, это методы факторного анализа и многомерного шкалирования. Многомерные методы анализа данных обеспечивают возможность перехода к обобщенным индексам (факторам или шкалам), используемым как индикаторы исследуемых состояний или тенденций к их изменению.

Программное обеспечение анализа рисков. На основе описанных методов и алгоритмов анализа данных мониторинга и оценивания рисков разработана автономная программно-информационная система автоматизации решения задач экологического мониторинга на региональном и локальном уровнях, которая обеспечивает комплексную оценку экологического состояния исследуемых территорий, математическое мо-

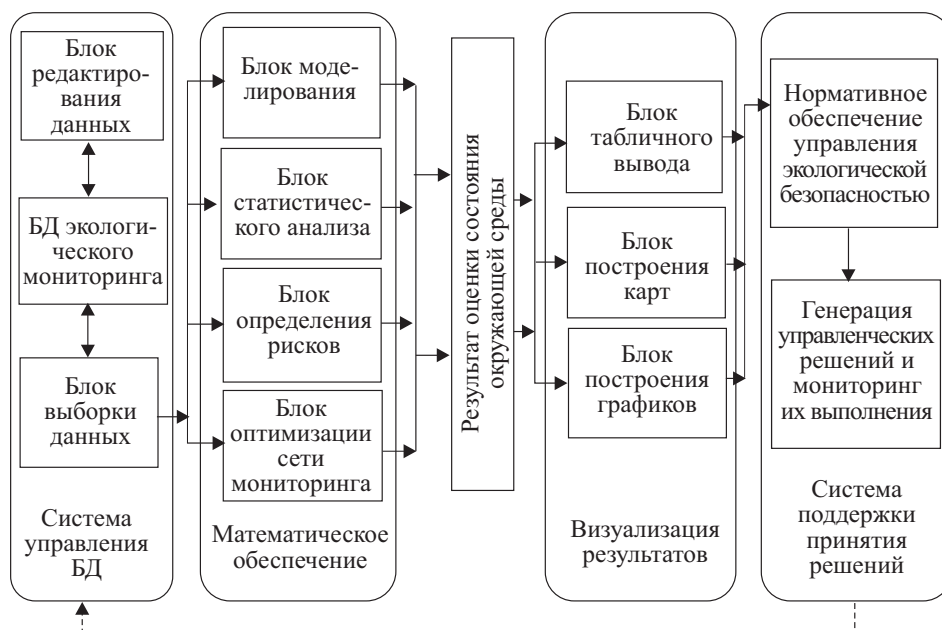


Рис. 2. Блок-схема программного обеспечения для анализа рисков

делирование техногенных нагрузок на город (или район) и оценивание рисков для здоровья населения, связанных с загрязнением атмосферного воздуха.

На рис. 2 представлена блок-схема программного обеспечения для анализа рисков, в которой слева помещены блоки, непосредственно взаимодействующие с БД. Это блок редактирования данных, где предусмотрено заполнение пропусков, и блок, формирующий выборку данных в соответствии с запросом, в котором формализован ряд условий, предъявляемых к данной выборке. Более детально вопросы, связанные с проектированием и разработкой БД, рассмотрены в [13].

В схему включены аналитические блоки, обеспечивающие работу алгоритмов анализа данных и оценивания рисков. Блок оценивания рисков дает возможность получить количественную оценку негативного воздействия техногенных загрязнений атмосферы на здоровье населения при различных видах рисков (риск острых токсических эффектов, риск хронических заболеваний, канцерогенный риск), рассчитываемых по формулам (1)–(5).

Блок математического моделирования техногенных нагрузок на атмосферу города от стационарных источников [15] обеспечивает использование математических моделей для определения и прогнозирования прост-

ранственного распределения выбросов от стационарных источников. Результаты моделирования используются для оценивания потенциального риска, связанного с плановыми выбросами или изменениями режима работы предприятий.

Блок оптимизации мониторинга [16] предназначен для решения задач, связанных с построением более эффективной системы мониторинга атмосферного воздуха и анализом способов оптимизации существующей системы.

В правой части схемы находятся блоки, обеспечивающие представление результатов анализа в различной форме и возможности их использования для поддержки принятия решений. Пример вывода результатов анализа показан на рис. 3.

Блок построения карт обеспечивает пространственное представление данных мониторинга и результатов моделирования в виде электронных карт техногенных нагрузок и карт рисков. Картографическая интерпретация математических расчетов приводит их к виду, наиболее удобному для использования в системах принятия решений, и в то же время является

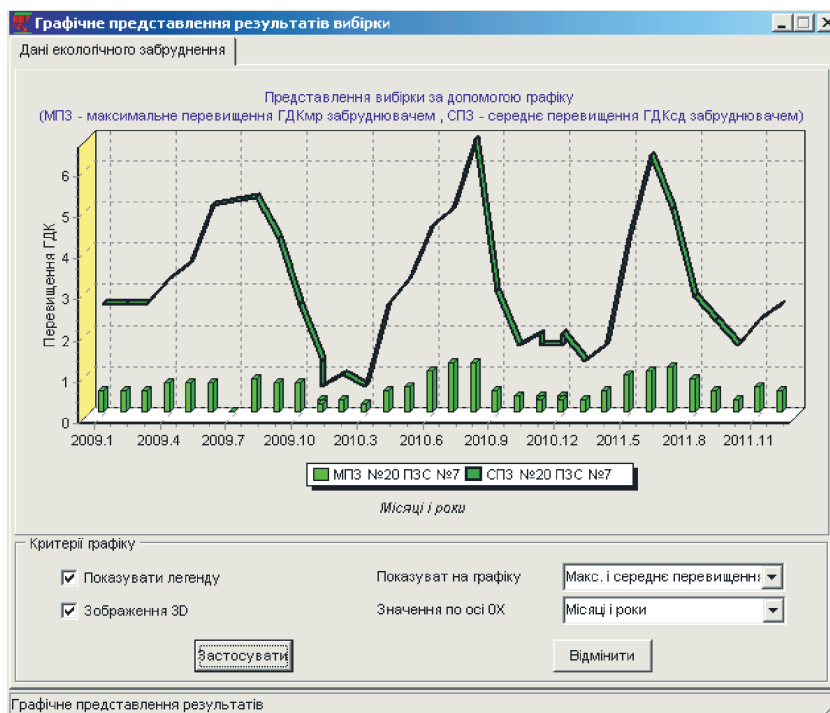


Рис. 3. Динамика уровней концентрации формальдегида по данным, полученным на посту мониторинга № 7 (2009—2011 гг.) (экранный форма)

инструментом пространственного анализа и содержательной интерпретации результатов исследования для конкретных территорий.

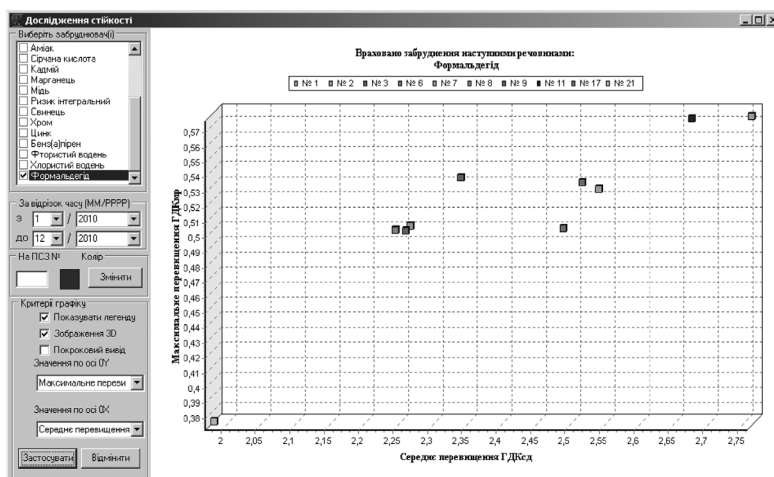
Разработаны компьютерные технологии перехода от пространственного распределения уровней техногенных нагрузок (концентраций примесей) к распределению индивидуальных рисков, связанных с влиянием этих нагрузок. Таким образом, компьютерное моделирование завершается оценкой и визуализацией уровней техногенных рисков, рассматриваемых как критерии для принятия управленческих решений.

Результаты исследования. Предложенные методы и компьютерные средства апробированы на реальных данных мониторинга состояния атмосферы и техногенных нагрузок от промышленных предприятий г. Киева. На основе данных мониторинга состояния атмосферного воздуха за 2006 — 2011 гг. построены карты и гистограммы территориального распределения техногенных нагрузок и рисков для здоровья населения, связанных с высокими концентрациями формальдегида в г. Киеве. В частности установлено, что среднемесячные концентрации диоксида азота (второй класс опасности) более чем в два раза превышают ПДК. Наиболее опасные концентрации этой примеси зафиксированы в январе и в июле (в летний период — до шести ПДК). Поэтому в дальнейших исследованиях в качестве индикаторов экологического состояния атмосферного воздуха в г. Киеве, помимо соединений азота и парниковых газов, рекомендуемых международными документами, рассматривались формальдегид и ИЗА.

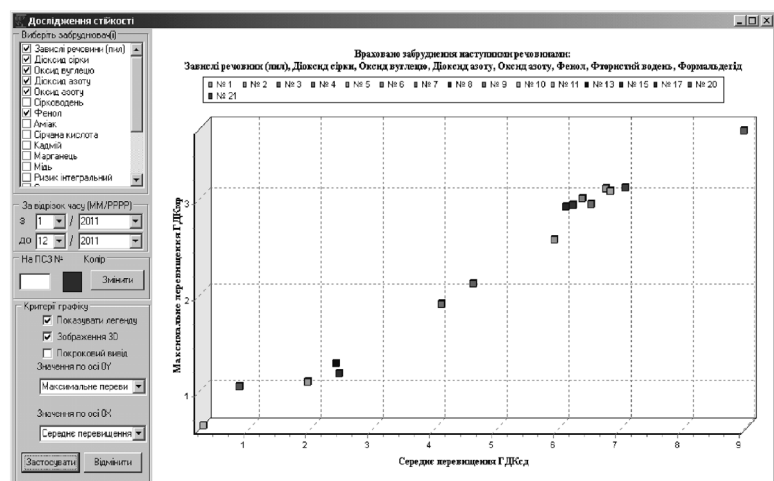
На рис. 4, а, представлены результаты ранжирования данных мониторинга по уровням превышения допустимых норм для концентрации формальдегида в атмосферном воздухе, визуализированные в виде двумерной шкалы в соответствии с размещением стационарных пунктов, на которых было проведено измерение концентраций примесей формальдегида в атмосферном воздухе. На рис. 4, б, приведены аналогичные результаты, полученные по основным факторам риска, измеряемым на постах г. Киева, для ИЗА, рассчитанного по формуле

$$I = \sum_{i=1}^n \left(\frac{q_i}{\text{ПДК}_{\text{cci}}} \right)^{C_i}, \quad (6)$$

где q_i — концентрация i -го загрязняющего вещества; n — количество исследуемых веществ; C_i — безразмерный коэффициент, с помощью которого уровень загрязнения j -м веществом приводится к уровню загрязнения веществом третьего класса опасности. Для веществ первого класса опасности $C_i = 1,7$, для веществ второго класса — $C_i = 1,3$, для третьего класса — $C_i = 1,0$, для четвертого — $C_i = 0,9$.



а



б

Рис. 4. Визуализация данных по превышению норм для формальдегида (а) и для ИЗА (б) на постах сети мониторинга (2010 г.) (экранная форма)

На рис. 3 показана динамика уровней загрязнения атмосферы формальдегидом в районе Бессарабской площади г. Киева за последние три года. Видны пиковые среднемесячные значения ПДК, наблюдаемые в летние месяцы. Ретроспективные исследования показали, что такие колебания уровней концентрации формальдегида наблюдаются ежегодно, начиная с 2007 г. Предполагается, что они связаны с активизацией строительных и ремонтных работ, но для выяснения конкретных источников таких ПДК требуются дополнительные исследования.

На основе данных мониторинга состояния атмосферного воздуха в г. Киеве за 2011 г. [12] построены карты территориального распределения рисков хронической интоксикации населения в летний период. На рис. 5 (см. вклейку) представлена карта распределения рисков хронических заболеваний, связанных с реальным ПДК формальдегида, и шкала уровней риска. В данном случае риск достигает 0,2, и это означает, что наличие формальдегида в наблюдаемых количествах существенно повышает (на 20 %) опасность возникновения хронических заболеваний для наиболее уязвимых категорий населения (детей, стариков и людей со слабым здоровьем).

На рис. 6 (см. вклейку) показана карта хронической интоксикации населения в летний период от нескольких вредных примесей, включая формальдегид. Эта карта отличается от предыдущей тем, что в качестве фактора риска для населения был рассчитан комплексный показатель загрязнения атмосферы ИЗА. Таким образом, использование ИЗА в качестве индикатора привело к увеличению значений рисков от загрязнения атмосферы для населения в два раза.

На рис. 7 (см. вклейку) приведена карта распределения уровней канцерогенного риска, рассчитанных по формуле (3), для примесей формальдегида в атмосферном воздухе в июне 2011 г., а на рис. 8 показано распределение канцерогенных рисков для населения г. Киева, полученное по результатам анализа данных, с учетом экспертных оценок приемлемого уровня допустимого риска.

Выводы

Предложенные методические и программные средства, основанные на структурном анализе данных мониторинга, обеспечивают дополнительные возможности для оценивания и визуального представления техногенных рисков, связанных с загрязнением атмосферного воздуха на региональном и локальном уровнях.

В результате предварительного анализа данных мониторинга выявлены наиболее информативные показатели загрязнения атмосферного воздуха в г. Киеве, которые существенно превышают допустимые нормы и являются факторами риска возникновения ряда острых и хронических заболеваний. Построены карты пространственного распределения рисков приобретения хронических и канцерогенных заболеваний, связанных с повышением концентраций формальдегида.

The authors consider the problem of estimation and visualization of regional risks. The methods of structural analysis of monitoring data are proposed, allowing one to combine multidimensional data from multiple sources and to provide a visual representation of the risk factors in the graphic and cartographic form. The methodology and software for evaluation of the territorial public health risks due to air pollution have been developed using these methods.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Zgurovsky M.* The Sustainable Development Global Simulation: Quality of Life and Security of the World Population. — Kiev : Publishing House «Polytechnica», 2007. — 218 с.
2. *Аналіз* сталого розвитку — глобальний і регіональний контексти. У 2-х ч./ Ч. 2. Україна в індикаторах сталого розвитку. Міжнар. рада з науки (ICSU) [та ін.]; наук. кер. М. З. Згуровський. — Київ : НТУУ «КПІ», 2010. — 216 с.
3. *Звягинцева А.В.* Обоснование методов оценки и прогнозирования риска воздействий вредных веществ при загрязнении атмосферы промышленных городов. Дис. ... канд. тех. наук. — Донецк, 2006. — 207 с.
4. *Serdiutskaya L.F., Kameneva I.P.* Multivariate Statistical Analysis in Problems of Environmental Simulation // *Engineering Simulation*. — 2000. — Vol. 17. — P. 193—204.
5. *Сердюцкая Л.Ф., Каменева И.П.* Системный анализ и математическое моделирование медико-экологических последствий аварии на ЧАЭС и других техногенных воздействий. — Киев : «Медэкол», 2000. — 173 с.
6. *Каменева И.П., Яцишин А.В.* Модели и методы анализа экологической безопасности урбанизированных территорий с использованием технологий геоинформационных систем // *Электрон. моделирование*. — 2011. — 33, № 3. — С. 95—107.
7. *Дюк В., Самойленко А.* Data Mining. Учебный курс. — СПб. : Питер, 2001. — 366 с.
8. *Боровиков В.* STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. — СПб. : Питер, 2003. — 688 с.
9. *Онищенко Г.Г., Новиков С.М., Рахманин Ю.А. и др.* Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. — М. : НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. — 408 с.
10. *Методичні рекомендації «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря».* Наказ МОЗ від 13.04.2007 № 184.
11. *Альмов В.Т., Тарасова Н.П.* Техногенный риск: Анализ и оценка: Учеб. пос. для вузов. — М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. — 118 с.
12. *Щомісячний бюлетень забруднення атмосферного повітря в Києві та містах Київської області.* — Київ : Центральна геофізична обсерваторія, 2006. — 2011 с.
13. *Каменева І.П., Артемчук В.О.* База даних еколого-енергетичного моніторингу: проектування та створення // *Зб. наук. праць Ін-ту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова*. — Київ : ПІМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2009. — № 50. — С. 66—72.
14. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. — СПб. : Питер, 2001. — 384 с.
15. *Попов О.О.* Математичне та комп'ютерне моделювання техногенних навантажень на атмосферу міста від стаціонарних точкових джерел забруднення: Автореф. дис. ... канд. техн. наук — Київ, 2010. — 20 с.
16. *Артемчук В.О.* Математичні та комп'ютерні засоби для вирішення задачі розміщення пунктів спостережень мережі моніторингу стану атмосферного повітря: Автореф. дис. ... канд. техн. наук — Київ, 2011. — 20 с.

Поступила 26.06.13;
после доработки 22.10.13

КАМЕНЕВА Ирина Петровна, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. Ин-та проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины. В 1976 г. окончила Киевский национальный университет им. Т.Г. Шевченко. Область научных исследований — математическое моделирование, анализ данных, информационные технологии.

ЯЦИШИН Андрей Васильевич, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. Ин-та проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины. В 2002 г. окончил Киевский национальный университет им. Т.Г. Шевченко. Область научных исследований — математическое моделирование и численные методы, информационные технологии.

АРТЕМЧУК Владимир Александрович, канд. техн. наук, докторант Ин-та проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины. В 2008 г. окончил Житомирский государственный технологический университет. Область научных исследований — математическое моделирование и численные методы, информационные технологии.