



УДК 004:574

С.Ж. Рахметуллина, Е.М. Турганбаев, О.А. Передерий
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ
С УЧЕТОМ ФОТОХИМИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ**

Одна из важнейших проблем современности – охрана окружающей среды от отрицательного воздействия антропогенных источников. От правильного и своевременного решения данного вопроса зависят здоровье и благосостояние людей. Город Усть-Каменогорск представляет собой уникальную урбанизированную систему, перенасыщенную промышленными предприятиями различной техногенной ориентации. Ощутимый вклад в загрязнение окружающей среды вносят транспорт, предприятия химической, энергетической промышленности, предприятия цветной металлургии.

Разработка аналитической поддержки системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в промышленно развитых городах является одним из актуальных направлений развития информационных технологий экологического мониторинга и их инструментальных средств.

В работах [1], [2] рассмотрены этапы разработки информационно-аналитической системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха. Рассматривается модель переноса соединений серы, азота на основе решения уравнения турбулентной диффузии, так как эти химические соединения доминируют в атмосфере промышленного города.

В данной статье, рассматривается система автоматизации процесса расчета концентрации и прогноза состояния загрязнения атмосферного воздуха с учетом фотохимических трансформаций для соединений четырех газовых компонент: диоксида серы (SO_2), диоксида азота (NO_2), оксида азота (NO) и оксида углерода (CO). Математическое обеспечение системы включает: модель прогноза загрязнения атмосферного воздуха с учетом фотохимических трансформаций, базу нечетких продукционных правил для определения категории штормового предупреждения о неблагоприятных метеорологических условиях (НМУ), средства ГИС-технологий для визуализации результатов моделирования.

Система состоит из четырех подсистем:

- подсистема организации сбора и хранения данных, занимающаяся соответственно сбором, хранением данных в специальной базе данных (БД);
- подсистема прогноза загрязнения с учетом фотохимических трансформаций;
- подсистема оценки НМУ;
- подсистема формирования выходных документов, организующая формирование выходных документов с помощью приложения Microsoft Excel.

Структурно-функциональная модель системы представлена на рис. 1.

Информационное обеспечение системы содержит структурированные в виде реляционной БД экологические, метеорологические, географические данные, данные об источ-

никах загрязняющих веществ и их концентраций в ПНЗ, собранные и сохраненные в определенный период времени.

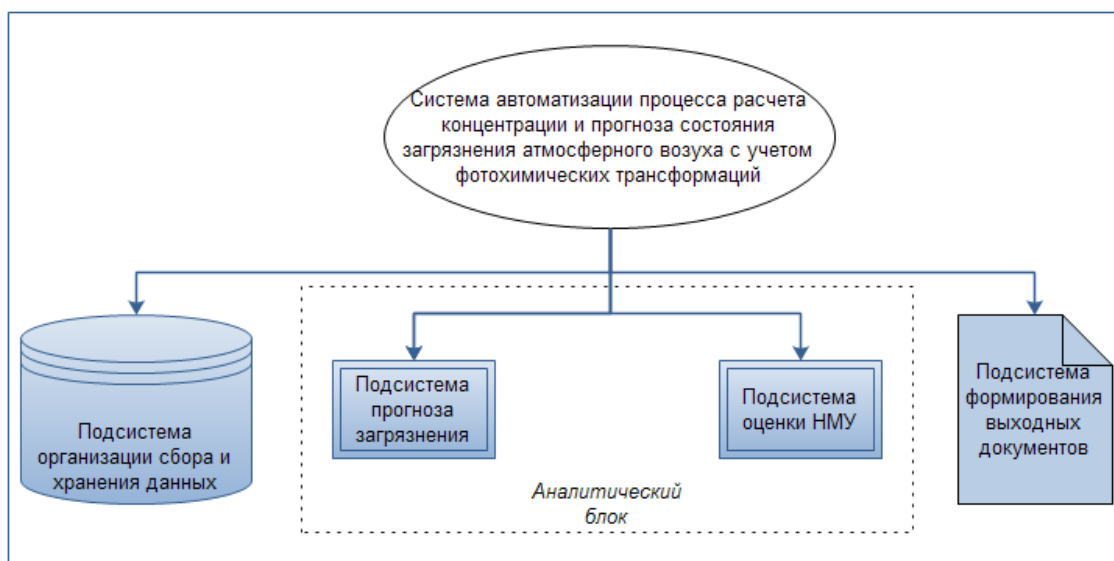


Рисунок 1 - Структурно-функциональная модель

Один из существующих подходов при моделировании распространения загрязняющих веществ заключается в том, что рассматривается уравнение переноса примеси [3], [4]. Компоненты скорости ветра, участвующие в уравнении переноса примеси, являются входными параметрами и определяются как постоянные величины. Рассматривается пограничный слой атмосферы высотой H , нижняя часть атмосферы представляет собой квазистационарный приземный слой высотой $h = h(x, y)$.

В прямоугольной области рассматривается следующая модель:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \text{div} \vec{u}c + Bc = F + \Delta c, \quad (1)$$

где c – концентрация загрязняющего вещества;

t – время;

B – оператор трансформации;

F – функция, описывающая источники примесей;

Δ – оператор, определяющийся по формуле

$$\Delta = \frac{\partial}{\partial x} \mu_1 \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_2 \frac{\partial}{\partial y}, \quad (2)$$

в котором μ_1, μ_2 – горизонтальные коэффициенты турбулентности,

а $\text{div} \vec{u}c$ определяется следующим равенством:

$$\text{div} \vec{u}c = u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y}, \quad (3)$$

где u, v – компоненты вектора скорости ветра в направлениях декартовых координат x и y .

Краевые условия:

$$c = c_0 \text{ при } x=0, X, y=0, Y. \quad (4)$$

Начальные условия при $t=0$ задаются по данным измерений и относятся к числу параметров настройки рассматриваемой модели.

В данной работе рассмотрена модель переноса для соединений четырех газовых компонент: диоксида серы (SO_2), диоксида азота (NO_2), оксида азота (NO) и оксида углерода (CO), на основе решения уравнения турбулентной диффузии, так как эти химические соединения присутствуют в атмосфере промышленного города.

Для реализации модели выбран метод расщепления. Идея метода заключается в том, что уравнение или система уравнений расщепляется на несколько более простых, решаемых последовательно на дробных шагах, в сумме составляющих один шаг по времени. Метод расщепления дает возможность для каждого уровня уравнения построить такие конечно-разностные схемы, которые учитывают пространственные и временные масштабы процессов, описываемых этими уравнениями. Схема аппроксимации модели по времени, исходя из принципов расщепления «по физическим процессам», на каждом временном шаге делится на следующие основные этапы: перенос субстанций вдоль траектории и турбулентный обмен; процесс фотохимических трансформаций.

Перенос субстанции вдоль траектории и турбулентный обмен:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \text{div} \vec{u}c = F. \quad (5)$$

Краевые условия:

$$c = c_0 \text{ при } x=0, x=X; \quad (6)$$

$$c = c_0 \text{ при } y=0, y=Y. \quad (7)$$

Решение уравнения переноса субстанций вдоль траекторий и турбулентного обмена служит начальным условием для задачи процесса фотохимических трансформаций.

Процесс фотохимической трансформации:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + Bc = 0. \quad (8)$$

Система уравнений решается при следующих краевых условиях:

$$c = c_0 \text{ при } x=0, x=X; \quad (9)$$

$$c = c_0 \text{ при } y=0, y=Y. \quad (10)$$

Для определения поля концентрации уточняется оператор B , который определяется кинетикой химических реакций.

Для решения первого уравнения воспользуемся методом компонентного расщепления. Эволюционная задача с помощью покомпонентного расщепления сводится к последовательному решению ряда задач, и далее каждое уравнение решается методом прогонки.

При решении задачи процесса фотохимических трансформаций уравнение (8) в дискретном виде будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{c_{i,j}^{n+1} - c_{i,j}^{n+1/2}}{\tau} + Bc_{i,j}^{n+1} = 0. \quad (11)$$

Оператор В определяется кинетикой химических реакций. При поглощении кванта света образуется электронно-возбужденная частица, отличающаяся от частицы в основном состоянии по свойствам, в том числе по способности к химическим превращениям. Химические превращения, протекающие под действием света в видимой и ультрафиолетовой области спектра, называются фотохимическими реакциями. При промышленных выбросах примесей происходит ряд сложных химических и фотохимических реакций, в результате которых образуются новые, еще более токсичные, вещества [4]. При численном моделировании учет фотохимических процессов заключается в расчете констант скоростей исходя из известных спектров поглощения этих веществ, интенсивности солнечного света с учетом зенитного угла падения. Для каждого промышленного района характерен определенный набор субстанций естественного и антропогенного происхождения, которые могут взаимодействовать между собой и трансформироваться.

Рассматривается следующая система уравнений относительно концентраций 22 газовых компонент [5]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_1}{\partial t} = & -k_{137}^* S_1 - k_6^* S_1 S_{25} - k_{77} S_1 S_{41} - k_{93} S_1 S_{63} - k_{115} S_1 S_{75} - k_{116} S_1 S_{73} - k_{134} S_1 S_{42} - \\ & - k_{135} S_1 S_{79} + k_{138} S_0 S_8 + k_{144} S_9 S_{12} + k_{145} S_9 S_{20} + k_{146} S_9 S_{10} - k_{147} S_1 S_8 - k_{148} S_1 S_{12} - \\ & - k_{149} S_1 S_2 - k_{150} S_1 S_4 - k_{151} S_1 S_{22} - k_{152} S_8 S_{23} - k_{156} S_1 S_{24}, \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_2}{\partial t} = & 2k_{22}^* S_{28} + k_{41}^* S_{29} + k_{43}^* S_{30} + k_{55}^* S_{36} + 2k_3^* S_7 S_{11} - k_{12} S_2 S_{25} + k_{13} S_4 S_{25} - k_{14} S_2 S_{12} - \\ & - 2k_{15} S_2 S_2 - 2k_{16} S_2 S_2 + k_{17} S_4 S_{12} - k_{18} S_2 S_4 - k_{23} S_2 S_{28} - k_{25} S_2 S_{21} + k_{26} S_4 S_{21} - k_{28} S_2 S_{20} - \\ & - k_{42} S_2 S_{29} - k_{44} S_2 S_{30} - k_{47} S_2 S_{32} + k_{48} S_{11} S_{32} - k_{57} S_2 S_{36} - k_{61} S_2 S_{34} - k_{65} S_2 S_{14} + k_{68} S_{13} S_{28} - \\ & - k_{71} S_2 S_{39} - k_{74} S_2 S_{44} - k_{82} S_2 S_{52} - k_{83} S_2 S_{54} - k_{87} S_2 S_{45} + k_{97} S_{11} S_{27} - k_{99} S_2 S_{65} - k_{101} S_2 S_{35} - \\ & - k_{104} S_2 S_{58} - k_{105} S_2 S_{58} - k_{125} S_0 S_2 S_{18} + 2k_{127} S_4 S_{27} - k_{129} S_2 S_{57} - k_{133} S_{12} S_{27} - k_{142} S_2 S_{16} - \\ & - k_{149} S_1 S_2 + k_{150} S_1 S_4 + k_{155} S_4 S_{22}, \end{aligned} \quad (13)$$

$$\frac{\partial S_3}{\partial t} = k_{149}^* S_1 S_2 - k_{154} S_3 S_{10}, \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_4}{\partial t} = & k_{46}^* S_{16} - k_{13} S_4 S_{25} + k_{14} S_2 S_{12} - k_{17} S_4 S_{12} - k_{18} S_2 S_4 - 2k_{19} S_4 S_4 - 2k_{20} S_0 S_4 S_4 - \\ & - 2k_{21} S_4 S_4 S_7 + k_{23} S_2 S_{28} - k_{26} S_4 S_{21} - k_{30} S_4 S_{20} - k_{31} S_4 S_{20} + k_{45} S_{16} - k_{54} S_4 S_{23} + k_{58} S_{10} S_{24} + \\ & + k_{64} S_{10} S_{37} + k_{66} S_0 S_{10} S_{27} + k_{68} S_{13} S_{28} - k_{73} S_4 S_{40} + k_{75} S_{10} S_{41} + k_{76} S_0 S_{16} + k_{85} S_{10} S_{43} - k_{94} S_4 S_{63} - \\ & - k_{108} S_4 S_{34} - k_{120} S_4 S_{27} - k_{127} S_4 S_{27} + k_{131} S_{10} S_{81} - k_{132} S_4 S_{27} - k_{150} S_1 S_4 + k_{154} S_3 S_{10} - k_{155} S_4 S_{22}, \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_5}{\partial t} = & k_6^* S_1 S_{25} + k_{93} S_1 S_{63} + k_{115} S_1 S_{75} + k_{116} S_1 S_{73} - k_{134} S_1 S_{42} + k_{135} S_1 S_{79} + k_{139} S_8 S_{10} + \\ & + k_{140} S_8 S_{12} + k_{147} S_1 S_8 + k_{148} S_1 S_{12} + k_{150} S_1 S_4 + k_{151} S_1 S_{22} + k_{152} S_1 S_{23} - k_{153} S_5 S_7 + k_{154} S_3 S_{10}, \end{aligned} \quad (16)$$

$$\frac{\partial S_6}{\partial t} = k_{153} S_5 S_7, \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_7}{\partial t} = & -k_3 S_7 S_{11} + k_{16} S_2 S_2 + k_{18} S_2 S_4 + k_{23} S_2 S_{28} - k_{38} S_7 S_{31} + k_{42} S_2 S_{29} + k_{44} S_2 S_{30} + \\ & + k_{47} S_2 S_{32} + k_{57} S_2 S_{36} + k_{61} S_2 S_{34} + k_{71} S_2 S_{39} + k_{74} S_2 S_{44} + k_{82} S_2 S_{52} + k_{83} S_2 S_{54} + k_{87} S_2 S_{45} + \\ & + k_{99} S_2 S_{65} + k_{101} S_2 S_{35} + k_{104} S_2 S_{58} + k_{129} S_2 S_{57} + k_{132} S_4 S_{27} + k_{142} S_2 S_{16} - k_{153} S_5 S_7, \end{aligned} \quad (18)$$

$$\frac{\partial S_8}{\partial t} = k_{137} S_1 - k_{138} S_0 S_8 - k_{139} S_8 S_{10} - k_{140} S_8 S_{12} - k_{141} S_8 S_{14} - k_{143} S_8 S_{18} - k_{147} S_1 S_8, \quad (19)$$

$$\frac{\partial S_9}{\partial t} = k_{141} S_8 S_{14} - k_{144} S_9 S_{12} - k_{145} S_9 S_{20} - k_{149} S_9 S_{10} + k_{147} S_1 S_8,$$

(20)

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_{10}}{\partial t} = & k_1 S_{12} + k_4 S_{12} + k_{34} S_{22} + k_{56} S_{36} - k_3 S_0 S_{10} S_{25} + k_9 S_{20} S_{25} + k_{10} S_{22} S_{25} + 2k_{11} S_{12} S_{25} + \\ & + k_{12} S_2 S_{25} + k_{13} S_4 S_{25} + k_{14} S_2 S_{12} + 2k_{17} S_4 S_{12} + k_{18} S_2 S_4 + k_{19} S_4 S_4 + k_{20} S_0 S_4 S_4 + k_{21} S_4 S_4 S_7 + \\ & + k_{24} S_{12} S_{21} + k_{29} S_{12} S_{20} + k_{30} S_4 S_{20} + k_{36} S_{20} S_{22} + k_{37} S_{22} S_{22} - k_{50} S_{10} S_{33} + k_{52} S_{23} S_{23} + k_{53} S_{23} S_{23} + \\ & + k_{54} S_4 S_{23} - k_{58} S_{10} S_{24} - k_{64} S_{10} S_{37} - k_{66} S_0 S_{10} S_{27} + k_{69} S_{42} S_{79} + k_{73} S_7 S_{40} - k_{75} S_{10} S_{41} - k_{78} S_{10} S_{41} + \\ & + k_{81} S_{81} + k_{84} S_{63} S_{63} - k_{85} S_{10} S_{43} + k_{94} S_4 S_{63} - k_{98} S_{10} S_{60} + k_{106} S_{42} S_{80} + k_{109} S_{23} S_{63} + k_{110} S_{23} S_{63} + \\ & + k_{112} S_{40} S_{40} + k_{113} S_{40} S_{40} + k_{114} S_{40} S_{40} + k_{119} S_{42} S_{42} + k_{120} S_4 S_{27} - k_{131} S_{10} S_{81} + k_{133} S_{12} S_{27} - \\ & - k_{139} S_8 S_{10} + k_{140} S_8 S_{12} + k_{142} S_2 S_{16} + k_{144} S_9 S_{12} - k_{146} S_9 S_{10} + k_{148} S_1 S_{12} - k_{154} S_3 S_{10} + k_{155} S_4 S_{22}, \end{aligned}$$

(21)

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_{13}}{\partial t} = & k_{27} S_{20} + k_{33} S_{22} + k_2 S_0 S_{11} + k_{16} S_2 S_2 - k_{67} S_{13} S_{33} - k_{68} S_{13} S_{28} - k_{86} S_{13} S_{58} - k_{100} S_{13} S_{61} + \\ & + k_{132} S_4 S_{27} + k_{139} S_8 S_{10} + k_{146} S_9 S_{10}, \end{aligned} \quad (22)$$

$$\frac{\partial S_{14}}{\partial t} = k_{60} S_{34} + k_{64} S_{10} S_{37} - k_{65} S_2 S_{14} - k_{141} S_8 S_{14},$$

(23)

$$\frac{\partial S_{15}}{\partial t} = k_{65} S_2 S_{14} + k_{141} S_8 S_{14},$$

(24)

$$\frac{\partial S_{16}}{\partial t} = k_{31} S_4 S_{20} - k_{45} S_{16} - k_{46} S_{16} - k_{76} S_0 S_{16} - k_{142} S_2 S_{16},$$

(25)

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_{20}}{\partial t} = & -k_{27} S_{20} + k_{33} S_{22} + k_{40} S_{31} + k_{43} S_{30} + k_{46} S_{16} + k_7 S_{21} S_{25} - k_8 S_{20} S_{25} - k_9 S_{20} S_{25} + \\ & + k_{10} S_{22} S_{25} + k_{24} S_{12} S_{21} + k_{26} S_4 S_{21} - k_{28} S_2 S_{20} - k_{29} S_{12} S_{20} - k_{30} S_4 S_{20} - k_{31} S_4 S_{20} + 2k_{32} S_{21} S_{22} - \\ & - k_{35} S_{20} S_{22} + 2k_{37} S_{22} S_{22} + k_{39} S_{31} + k_{42} S_2 S_{29} + k_{45} S_{16} + k_{51} S_{21} S_{23} + k_{70} S_{21} S_{40} + k_{72} S_{21} S_{42} + \\ & + k_{76} S_0 S_{16} + k_{91} S_{21} S_{63} - k_{92} S_{20} S_{63} + k_{95} S_{64} + k_{117} S_{21} S_{75} + k_{126} S_{21} S_{80} + k_{130} S_{21} S_{79} + \\ & + 2k_{136} S_{21} S_{83} + k_{140} S_2 S_{16} - k_{145} S_9 S_{20} + k_{151} S_1 S_{22} + k_{155} S_4 S_{22}, \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_{21}}{\partial t} = & k_{27}^* S_{20} + k_{34}^* S_{22} + k_{41}^* S_{29} - k_7 S_{21} S_{25} + k_9 S_{20} S_{25} - k_{24} S_{12} S_{21} - k_{25} S_2 S_{21} - k_{26} S_4 S_{21} - \\ & - k_{32} S_{21} S_{22} + k_{36} S_{20} S_{22} - k_{31} S_{21} S_{23} - k_{70} S_{21} S_{40} - k_{72} S_{21} S_{42} - k_{91} S_{21} S_{63} - k_{117} S_{21} S_{75} - \\ & - k_{126} S_{21} S_{80} - k_{130} S_{21} S_{79} - k_{136} S_{21} S_{83} + k_{145} S_9 S_{20}, \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_{22}}{\partial t} = & -k_{33}^* S_{22} - k_{34}^* S_{22} + k_{40}^* S_{31} + k_8 S_{20} S_{25} - k_{10} S_{22} S_{25} + k_{29} S_{12} S_{20} - k_{32} S_{21} S_{22} - \\ & - k_{35} S_{20} S_{22} - k_{36} S_{20} S_{22} - 2k_{37} S_{22} S_{22} + k_{39} S_{31} + k_{44} S_2 S_{30} - k_{62} S_{22} S_{34} - k_{79} S_{22} S_{49} - \\ & - k_{89} S_{22} S_{45} - k_{151} S_{12} S_{22} - k_{155} S_4 S_{22}, \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_{27}}{\partial t} = & k_{56}^* S_{36} + k_{59}^* S_{34} + k_{12} S_2 S_{25} + k_{65} S_2 S_{14} - k_{66} S_0 S_{10} S_{27} + k_{67} S_{13} S_{33} + \\ & + k_{97} S_{11} S_{38} - k_{120} S_4 S_{27} - k_{127} S_4 S_{27} - k_{132} S_4 S_{27} - k_{133} S_{12} S_{27}, \end{aligned} \quad (29)$$

$$\frac{\partial S_{28}}{\partial t} = -k_{22}^* S_{28} + k_{19} S_4 S_4 + k_{20} S_0 S_4 S_4 + k_{21} S_4 S_4 S_7 - k_{23} S_2 S_{28} - k_{68} S_{13} S_{28}, \quad (30)$$

$$\frac{\partial S_{29}}{\partial t} = -k_{41}^* S_{29} + k_{25} S_2 S_{21} + k_{30} S_4 S_{20} - k_{42} S_2 S_{29}, \quad (31)$$

$$\frac{\partial S_{30}}{\partial t} = -k_{43}^* S_{30} + k_{28} S_2 S_{20} + 2k_{38} S_7 S_{31} - k_{44} S_2 S_{30} + k_{62} S_{22} S_{34} + k_{89} S_{22} S_{45}, \quad (32)$$

$$\frac{\partial S_{31}}{\partial t} = -k_{40}^* S_{31} + k_{35} S_{20} S_{22} - k_{38} S_7 S_{31} - k_{39} S_{31}, \quad (33)$$

где $(S_1-S_{10}, S_{13}-S_{16}, S_{20}-S_{22}, S_{27}-S_{31})$ – вектор массовых концентраций примесей ($SO_2, OH, HSO_3, NO_2, SO_3, H_2SO_4, H_2O, SO_2^*, SO, O_2, O, CO, CO_2, HNO_4, NO_2, NO, NO_3, H, H_2O_2, HNO_2, HNO_3, N_2O_5$) соответственно [17];

$S_0, S_{11}, S_{12}, S_{18}, S_{19}, S_{23}-S_{25}, S_{32}-S_{45}, S_{49}, S_{52}, S_{54}, S_{57}, S_{58}, S_{60}, S_{61}, S_{63}-S_{65}, S_{73}, S_{75}, S_{79}-S_{81}, S_{83}$ – массовые концентрации примесей $M, O(^1D), O_3, C_3H_6, CH_3O_2, CH_3O, O(^3P), CH_4, CH_3, CH_2O, CH_3OH, CH_3OOH, HCO, H_2, C_2H_6, C_2H_5O_2, C_2H_5O, n-C_3H_7O_2, n-C_3H_7O, C_2H_5OOH, CH_3CHO, C_2H_4, HOCH_2CHO, C_3H_8, CH_3COCH_3, CH_3SCH_3, CH_3CO, CH_3SSCH_3, CH_3CO_3, CH_3CO_3NO_2, CH_3COO_2H, CH_3CHO_2, CH_2O_2, CH_3COCH_2O_2, HOCH_2CHO_2CH_3, CH_3COCH_2O, O_2C_2H_4ONO_2$ соответственно; k_{ij} – константы скоростей реакций.

При решении системы уравнений кинетики используется модификация полуявной двухшаговой схемы с хорошими стабилизирующими свойствами [6].

На рис. 2, 3 представлены результаты работы программного приложения.

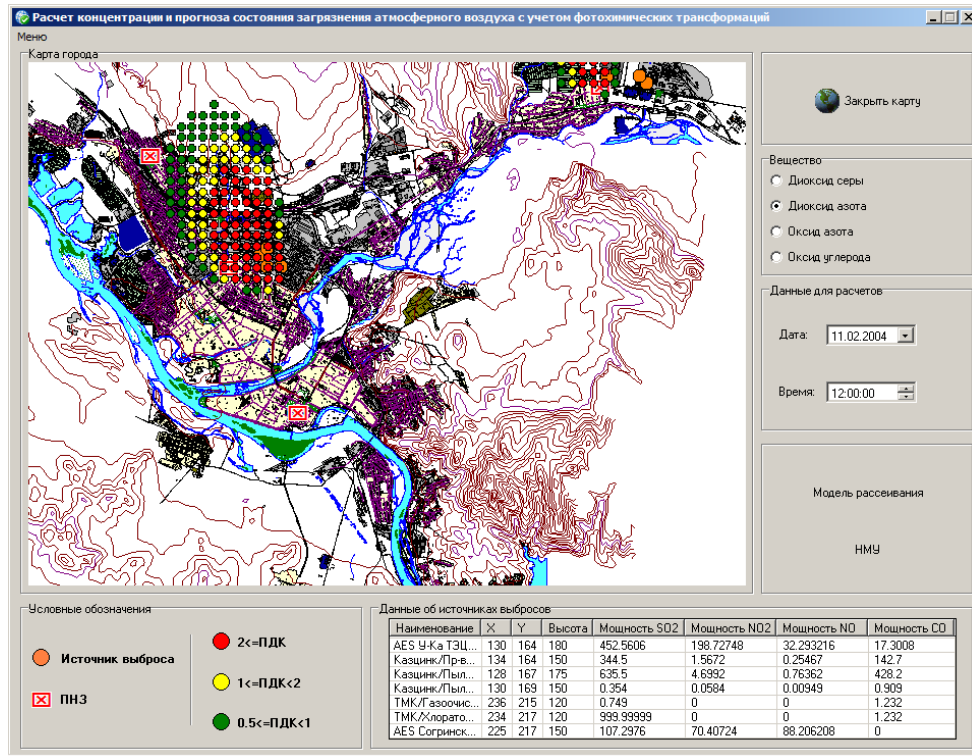


Рисунок 2 - Визуализация распространения примеси диоксида азота

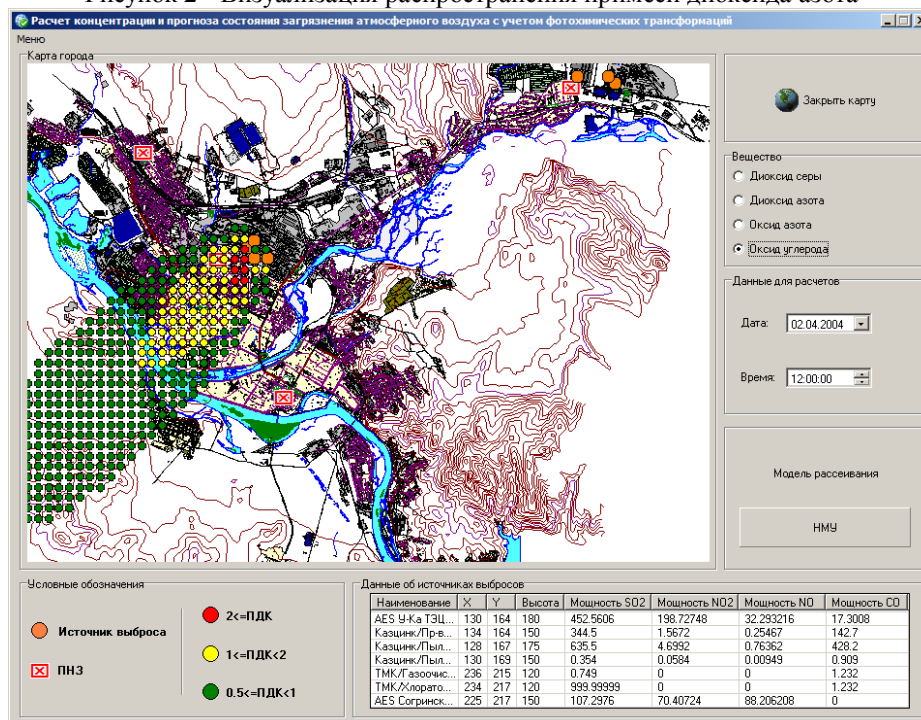


Рисунок 3 - Визуализация распространения примеси оксида углерода

Поле ветра соответствует данным с пунктов наблюдения на выбранную дату. Система реализована в виде приложения Windows в среде Delphi, для визуализации использован пакет MapInfo, межпрограммное взаимодействие с которыми осуществлено с помощью технологии Automation и специального компонента сервера ГИС MapInfo. Нечеткая база правил оценки НМУ реализована с использованием программного средства MATLAB. Выполнение нечеткого вывода реализовано на основе алгоритма Мамдани (Mamdani).

Таким образом, разработана автоматизированная система расчета концентрации и прогноза загрязнения атмосферного воздуха с учетом фотохимических трансформаций, математическое обеспечение которой включает в себя модель прогноза загрязнения атмосферного воздуха с учетом фотохимических трансформаций, базу нечетких продукционных правил для определения категории штормового предупреждения о НМУ, средства ГИС-технологий для визуализации результатов моделирования. Проводить прямое количественное сравнение полученных результатов с реальными данными пунктов наблюдений можно лишь приблизительно по причине допущения (квазистатичность, не учитывание рельефа местности, температура искажения, связанные с граничными условиями. Кроме того, принимались зарегистрированные источники, т. е. оценка загрязнения воздушного бассейна города, не учитывался режим интенсивности источников считалась постоянной. В связи с вышесказанным, решение задачи компьютерного моделирования загрязнения атмосферного воздуха с учетом сложного комплекса параметров является актуальным и определяет перспективу дальнейших исследований.

по СТРАНИЦАМ



Список литературы

1. Рахметуллина С.Ж. Разработка информационной системы мониторинга атмосферных загрязнений / С.Ж. Рахметуллина, Е.М. Турганбаев, С.Б. Саиров // Региональный вестник Востока. - 2009. - № 4.
2. Рахметуллина С.Ж. Подсистема прогноза информационной системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха / Поиск. - 2010. - № 2.
3. Рахметуллина С.Ж. Численное решение задачи распространения примеси с учетом фотохимических превращений / С.Ж. Рахметуллина, Е.М. Турганбаев, А.В. Куаньшева // Вестник ВКГТУ. - 2009. - № 3.
4. Марчук Г.И. Численная модель микроклимата города / Г.И. Марчук, В.В. Пененко, А.Е. Алоян, Г.Л. Лазриев // Метеорология и гидрология. - 1979. - № 8. - С. 5-15.
5. Моделирование мезомасштабных гидротермодинамических процессов и переноса антропогенных примесей в атмосфере и гидросфере региона оз. Байкал / В.К. Аргучинцев, А.В. Аргучинцева. - Иркутск: Изд. Иркутского гос. ун-та, 2007. - 255 с.
6. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена / В.М. Пасконов, В.И. Полежаев, Л.А. Чудов. - М.: Наука, 1984. - 288 с.

Получено 1.09.11

УГЛЕРОД И ДРУГИЕ

Во ФГУП «НИИГРАФИТ» создают материалы с необычными свойствами. Например, силицированный графит. Это антифрикционный материал с коэффициентом трения, не превышающим 0,05, предназначенный для эксплуатации в экстремальных условиях. Ему не страшна даже температура 500 °С, он может работать при относительных скоростях скольжения 200 м/с и нагрузках до 15 МПа. Силицированный графит не теряет работоспособности в растворах щелочей, кислот, включая плавиковую, и даже в расплавах металлов.

Из него изготавливают уплотнительные кольца, подшипники и подпятники скольжения для насосов, химических реакторов и другого оборудования.

Другой антифрикционный материал – фторопласт с добавками искусственного графита. Для работы ему не нужна смазка, и хотя он не так стоек к внешним воздействиям, как силицированный графит (рабочая температура ограничена 180 °С, а скорость скольжения 5 м/с), но обладает другими весьма ценными свойствами. Так, он химически чрезвычайно инертен, поэтому детали из него можно использовать в медицинском оборудовании и при изготовлении пищевых продуктов.

Материал выпускается в заготовках, представляющих собой толстостенные трубки (толщина стенок 15 мм) с наружным диаметром 50 мм.

«Наука и жизнь» № 3, 2011