

Однако даже без учета этого в городе наблюдается повышение температуры подстилающей поверхности одновременно с температурой воздуха. Из многочисленных воздействующих факторов основным является то, что город, по существу, служит потенциалом для поглощения радиации и накопления тепла в нижних слоях атмосферы. И как следствие, городской «остров тепла» (ОТ) обуславливает максимальные значения температуры воздуха в районах, где шероховатость поверхности больше, за счет торможения воздушных потоков и замедления обмена лучистой и тепловой энергией с атмосферой. При хорошо развитом городском ОТ имеет место снижение фронтальной скорости с наветренной части города и увеличение с подветренной стороны. Повышение скорости – результат взаимодействия фонового барического градиента с ОТ, т. е. городской ОТ может влиять на атмосферные процессы, как в локальном, так и в региональном масштабе. Такой характер атмосферных процессов, в свою очередь, существенно воздействует на перенос и диффузию загрязняющих примесей. Для решения численной модели микроклимата промышленного города Усть-Каменогорска используются условия полученные из решения уравнения (1).

Библиографический список

1. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 319 с.
2. Пененко В.В., Алоян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. – Новосибирск: Наука, 1985. – 254 с.
3. Мадияров М.Н. Геоинформационная система для моделирования процесса загрязнения воздушного бассейна промышленного города // Вестник инженерной академии Республики Казахстан. – Алматы, 2007. №3(25). – С. 18–23.

УДК 519.6

Численная реализация модели процесса загрязнения атмосферы

М.Н. Мадияров, С.Ж. Сарсекеева

ВКГУ им. С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан

Существенное влияние на перенос веществ в атмосфере оказывают метеорологические условия и в первую очередь ветровой режим и температурная стратификация нижнего слоя атмосферы.

Учет результатов исследований загрязнения атмосферы и климатических условий, определяющих рассеивание веществ в атмосфере, необходим также при государственном планировании мероприятий по охране атмосферного воздуха, составлении долгосрочных планов развития экономики, для рационального размещения жилых районов и предприятий, производственные отходы которых могут влиять на состояние атмосферы.

В данной работе уравнения пограничного слоя атмосферы записываются в ортогональных криволинейных координатах. С помощью этих уравнений проведены численные расчеты переноса примесей вредных веществ в атмосфере промышленного города, с целью выявления мелкомасштабных стоячих вихрей воздушного потока, которые возникают при умеренных ветрах. В отличие от ранее рассмотренных работ здесь на боковых границах рассматриваемой области граничные условия ставятся вторым производным по нормали.

Основу рассматриваемой численной модели для города составляют пространственные негидростатические численные модели локальных атмосферных процессов и переноса примесей [1, 2]:

$$\frac{\partial \varphi'}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \varphi' = -(1 - \alpha) \frac{\partial \pi}{\partial q} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_u \frac{\partial \varphi'}{\partial z} \right) + \Delta \varphi' + F,$$

$$\sum_{i=1}^3 \frac{\partial \varphi^i}{\partial q_i} = 0.$$

$$\text{Здесь } \Delta = \frac{\partial}{\partial x} \mu_1 \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_2 \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \nu_u \frac{\partial}{\partial y}; \quad \bar{\mathbf{u}} - \text{вектор скорости ветра;}$$

$$(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = (u, v, \omega) \cdot \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial x}, \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial y}, \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial z} \right) = u \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial x} + v \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial y} + \omega \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial z}; \quad \lambda, S - \text{параметры}$$

конвекции и стратификации; μ_1, μ_2 – горизонтальные и ν_u – вертикальные коэффициенты турбулентности для количества движения; θ_x, θ_y – горизонтальные градиенты фоновой потенциальной температуры; $l = 2\bar{\omega} \sin \phi$ – параметр Кориолиса, которое обуславливается с вращением земли; $\bar{\omega}$ – угловая скорость вращения Земли; ϕ – широта; $z = z_1 - \delta(x, y)$, z_1 – высота над уровнем моря, уравнение $z_1 = \delta(x, y)$ описывает рельеф; δ_x, δ_y – производные по направлениям соответственно.

Система уравнений (1)–(2) для города решается со следующими граничными условиями:

$$u = u^0, \quad v = v^0, \quad \omega = \omega^0, \quad \theta = \theta^0 \quad \text{при } t = 0$$

$$\begin{aligned}
u &= f_u(t), \quad v = f_v(t), \quad \omega = 0, \quad \theta = f_\theta(t) \text{ на боковых границах при } u_n < 0 \\
\frac{\partial^2 u_n}{\partial n^2} &= 0, \quad \frac{\partial u_\tau}{\partial n} = 0, \quad \frac{\partial \theta}{\partial n} = 0 \text{ на боковых границах при } u_n > 0, \\
\frac{\partial u}{\partial z} &= 0, \quad \frac{\partial v}{\partial z} = 0, \quad \theta = 0, \quad \omega = 0 \text{ при } z = H, \\
h \frac{\partial u}{\partial z} &= a_u u, \quad h \frac{\partial v}{\partial z} = a_v v, \quad \omega = 0, \quad h \frac{\partial \theta}{\partial z} = a_\theta (\theta - \theta_0) \text{ при } z = h,
\end{aligned} \tag{3}$$

здесь $a_u = \frac{\phi_u(\xi_h)}{f_u(\xi_h, \xi_0)}$, $a_\theta = \frac{\phi_\theta(\xi_h)}{f_\theta(\xi_h, \xi_0)}$; H – условная высота пограничного слоя атмосферы; u_n , u_τ – величины скоростей: нормальной и касательной на боковые границы области. Соотношение $u_n < 0$ определяет решение той части боковой границы, где воздушные массы вносятся в рассматриваемую область, а $u_n > 0$ когда выносятся и условия $u = f_u(t)$, $v = f_v(t)$, $\theta = f_\theta(t)$, также условия в приземном слое атмосферы моделируют физический смысл происходящих процессов [3]. А остальные граничные условия требуют гладкости возмущений и выполнения уравнения неразрывности в окрестности границы интегрируемой области. Вторые производные нормали обеспечивают неизменности направлении и ускорении ветра на выходных границах.

В качестве физической области была рассмотрена территория города Усть-Каменогорска размером $22 \cdot 10^3 \times 20 \cdot 10^3$ м² и высотой 2500 м, нижняя граница совпадает с рельефом местности. Во всей физической области построена ортогональная криволинейная сетка, которая с высотой выпрямляется и на верхней границе является плоскостью.

Для учета орографии местности перейдем от декартовой системы координат (x, y, z) в вычислительную область (ξ, η, ζ) , обозначив через $\xi = x$, $\eta = y$, $\zeta = z - \delta(x, y)$, здесь ξ, η взаимно ортогональны и направлены вдоль рельефа, а $\delta(x, y)$ – функция описывающая рельеф.

Тогда (1), (2) преобразуются в следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \varphi'}{\partial \tau} + \xi_x \hat{u} \frac{\partial \varphi'}{\partial \xi} + \eta_y \hat{v} \frac{\partial \varphi'}{\partial \eta} + \zeta_z \hat{w} \frac{\partial \varphi'}{\partial \zeta} + (1 - \alpha) \left(\xi_x \frac{\partial \hat{\pi}}{\partial \xi} + \zeta_x \frac{\partial \hat{\pi}}{\partial \zeta} \right) = \\
= \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\mu_x \frac{\partial \varphi'}{\partial \xi} \right) \xi_x^2 + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\mu_y \frac{\partial \varphi'}{\partial \eta} \right) \eta_y^2 + \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(\nu \frac{\partial \varphi'}{\partial \zeta} \right) \zeta_z^2 + \Phi_{\varphi'} + F_{\varphi'}
\end{aligned}$$

$$\xi_x \frac{\partial \hat{u}}{\partial \xi} + \zeta_x \frac{\partial \hat{u}}{\partial \zeta} + \eta_y \frac{\partial \hat{v}}{\partial \eta} + \zeta_y \frac{\partial \hat{v}}{\partial \zeta} + \zeta_z \frac{\partial \hat{w}}{\partial \zeta} = 0.$$

Здесь

$$\varphi' = (\hat{u}, \hat{v}, \hat{w}, \hat{\theta}, \hat{\phi}); \quad \alpha = (0, 0, 0, 1, 1);$$

$$\begin{aligned} \Phi_{\varphi'} = & - \left(\zeta_x \hat{u} + \zeta_y \hat{v} \right) \frac{\partial \varphi'}{\partial \zeta} + \mu_x \frac{\partial \varphi'}{\partial \xi} \xi_{xx} + \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(\mu_x \frac{\partial \varphi'}{\partial \xi} \right) \xi_x \zeta_x + \mu_x \frac{\partial \varphi'}{\partial \zeta} \zeta_{xx} + \\ & + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\mu_x \frac{\partial \varphi'}{\partial \zeta} \right) \xi_x \zeta_x + \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(\mu_x \frac{\partial \varphi'}{\partial \zeta} \right) \zeta_x^2 + \mu_y \frac{\partial \varphi'}{\partial \eta} \eta_{yy} + \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(\mu_y \frac{\partial \varphi'}{\partial \eta} \right) \eta_y \zeta_y + \\ & + \mu_y \frac{\partial \varphi'}{\partial \zeta} \zeta_{yy} + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\mu_y \frac{\partial \varphi'}{\partial \zeta} \right) \eta_y \zeta_y + \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(\mu_y \frac{\partial \varphi'}{\partial \zeta} \right) \zeta_y^2 + \nu \frac{\partial \varphi'}{\partial \zeta} \zeta_{zz} \\ F_{\varphi'} = & \left(l \hat{v}, -l \hat{u}, \lambda \hat{\theta}, -\hat{u} \left(S \zeta_x + \xi_x \hat{\theta}_\xi + \zeta_x \hat{\theta}_\zeta \right) - \hat{v} \left(S \zeta_y + \eta_y \hat{\theta}_\eta + \zeta_y \hat{\theta}_\zeta \right), f \right). \end{aligned}$$

При численной реализации систем уравнений (4)–(5) используется метод расщепления по физическим процессам.

На рисунке 1 представлены результаты численного расчета уравнений пограничного слоя атмосферы при ветре с юго-восточной стороны со скоростью 5 м/с [3].

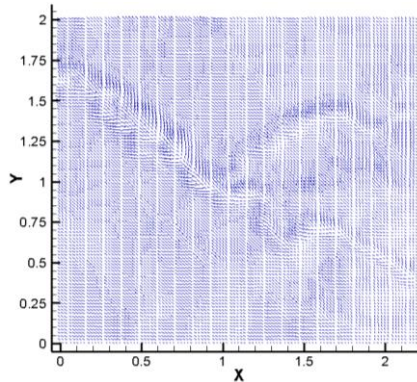


Рисунок 1 – Результаты численного расчета уравнений ПСА при ветре с юго-восточной стороны со скоростью 5 м/с.

Как видно, при умеренных ветрах его направление особо не отклоняется и только притормаживается перед водными поверхностями, так как существует перепад температур воздуха над водой и над сушей. А после водной поверхности ветер усиливается так же за счет градиента давления.

Библиографический список

1. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 319 с.
2. Пененко В.В., Алюян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. – Новосибирск: Наука, 1985. – 254 с.
3. Мадияров М.Н. Геоинформационная система для моделирования процесса загрязнения воздушного бассейна промышленного города // Вестник инженерной академии Республики Казахстан. – Алматы, 2007. №3(25). – С. 18–23.

УДК 519.8

Анализ динамики экологической ситуации в районах Алтайского края на основе моделей линейной регрессии

А.С. Маничева
АлтГУ, г. Барнаул

Исследование экологической ситуации в районах Алтайского края в динамике позволит, во-первых, оценить эффективность мер природоохранной политики края, во-вторых, определить факторы, ухудшающие экологию в большей степени по сравнению с прочими факторами; в-третьих, определить районы с неблагоприятной экологической ситуацией и требующие по этой причине большего внимания. Изучению этих вопросов посвящено много публикаций, например, [1, 2]. Данная работа продолжает серию исследований, начатых в [3, 4].

Рассмотрим в качестве факторов окружающей среды, характеризующих экологическую ситуацию как результат влияния антропогенного воздействия, следующие показатели по 56 районам Алтайского края за 2014–2017 гг.:

1. Количество объектов, имеющих стационарные источники загрязнения атмосферного воздуха, единиц (П1).
2. Выброшено в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников, всего (тыс. тонн) (П2).
3. Выброшено в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников, – твердые вещества (тыс. тонн) (П3).
4. Выброшено в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников, – газообразные и жидкие вещества (тыс. тонн) (П4).
5. Общее количество загрязняющих веществ, отходящих от всех стационарных источников (тыс. тонн) (П5).