

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЫЛИ Г. ЗЕСТАФОНИ ПРИ ФОНОВОМ ЗАПАДНОМ ТИХОМ, СЛАБОМ И СВЕЖЕМ ВЕТРАХ

^{1,2}Сурмава А. А., ³Гигаури Н. Г., ³Гвердцители Л. В., Инцкирвели Л. Н.

¹Институт геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета
им. Ив. Джавахишвили, Тбилиси, Грузия. E-mail: aasurmava@yahoo.com .

²Институт гидрометеорологии Грузинского технического университета, Тбилиси, Грузия.
E-mail: intskirvebi2@yahoo.com

³Грузинский технический университет, Тбилиси, Грузия. E-mail: natiagigauri18@yahoo.com.

1. Введение

Загрязнение объектов природной среды и связанное с ним здоровье населения остаётся одним из важных проблем всего мира, и Грузии в частности. Экологическое состояние природной среды является особенно неудовлетворительным в тех районах, где расположены крупные промышленные объекты. Г. Зестафони и прилегающие к нему территории относятся к числу таких регионов. Там расположен объект тяжёлой металлургии – завод ферросплавов и ряд средних и мелких объектов этого профиля. Множество крупных и мелких транспортных средств движется по Транс-кавказской магистрали, которая является частью Большого шёлкового пути и проходит через г. Зестафони. В результате, в атмосферу поступает большое количество пыли и другие аэрозоли.

Зестафонский регион, кроме индустриального и административного назначения имеет экономическое, культурно-рекреационное и туристическое назначение. Он известен как производитель высококачественных шампанских и сухих вин, в радиусе 50 км расположены курортные центры гг. Цхалтубо и Саирме, Боржоми-Харагаульский и Аджаметский национальные парки, пещеры Сатаплиа и Промете и др. Поэтому, исследование уровня загрязнения атмосферы и распространение пыли на территории Зестафонского региона имеет важное значение.

Одним основным направлением исследования загрязнения атмосферы является разработка математических моделей распространения субстанции в сплошной среде и их численное интегрирование. Особенно надо отметить полуэмпирическую теорию [1, 2], на базе которой разработано руководство [3], которое широко используется на практике в постсоветском пространстве.

В [4-8] разработаны нестационарные трёхмерные модели перенос-диффузии вещества в атмосфере и методы их интегрирования. Модели описывают процессы распространения, динамики и кинетики малых примесей и твердых аэрозолей в атмосфере.

Разработанные модели широко используются для решения многих практических экологических проблем. Среди них следует отметить исследование распространения отравляющих газов [9, 10], твердых аэрозолей, образовавшихся в результате лесных пожаров [11-13] на сложных [14-17] и урбанизированных территориях [18].

2. Постановка задачи

В представленной работе численно моделируется и исследуется распространение и распределение пыли г. Зестафони в случае фонового западного ветра в атмосфере прилегающей территории с площадью $94.4 \times 72 \text{ км}^2$. Регион имеет сложный рельеф. С севера, юга и востока

раположены Имеретинский, Гурийский и Лихский хребты, соответственно, а с запада – Колхидская низменность. Высота рельефа изменяется от 50 м до 2.5 км.

Для моделирования гидрометеорологических полей и распределения пыли в атмосфере над сложной орографией используется следующая рельефу вертикальная координата и система уравнений [19]:

а) для тропосферы:

$$\begin{aligned}
 \frac{du}{dt} &= -\frac{\bar{P}}{\bar{\rho}} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + lv + g(1+0.61q)\vartheta \frac{\partial z}{\partial x} + \mu \tilde{\Delta} u + \frac{1}{\rho h^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} \rho v \frac{\partial u}{\partial \zeta}, \\
 \frac{dv}{dt} &= -\frac{\bar{P}}{\bar{\rho}} \frac{\partial \varphi}{\partial y} - lu + g(1+0.61q)\vartheta \frac{\partial z}{\partial y} + \mu \tilde{\Delta} v + \frac{1}{\rho h^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} \rho v \frac{\partial v}{\partial \zeta}, \\
 \frac{\partial \varphi}{\partial \zeta} &= \frac{g}{RT}(1+0.61q)\vartheta h, \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial u h}{\partial x} + \frac{\partial v h}{\partial y} + \frac{\partial \tilde{w} h}{\partial \zeta} + \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dz} w h = 0, \\
 \frac{\partial \vartheta'}{\partial t} + u \frac{\partial \vartheta'}{\partial x} + v \frac{\partial \vartheta'}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial \vartheta'}{\partial \zeta} + S w &= \mu \tilde{\Delta} \vartheta' + \frac{1}{\rho h^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} \rho v \frac{\partial \vartheta'}{\partial \zeta} + \frac{L}{\rho C_p} \Phi_{con} - \frac{\partial \vartheta}{\partial t}, \\
 \frac{\partial q'}{\partial t} + u \frac{\partial q'}{\partial x} + v \frac{\partial q'}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial q'}{\partial \zeta} &= \mu \tilde{\Delta} q' + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \zeta} \rho v \frac{\partial q'}{\partial \zeta} - \frac{\partial Q}{\partial t}, \\
 \frac{\partial m'}{\partial t} + u \frac{\partial m'}{\partial x} + v \frac{\partial m'}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial m'}{\partial \zeta} + w_0 \frac{\partial m'}{\partial z} &= \mu \tilde{\Delta} m' + \frac{\partial}{\partial \zeta} \frac{\partial m}{\partial \zeta} \Phi_{con} - \frac{\partial M}{\partial t} - \frac{\partial N}{\partial t}, \\
 \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + (\tilde{w} - \frac{w_0}{h}) \frac{\partial C}{\partial \zeta} &= \mu \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{h^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} v \frac{\partial C}{\partial \zeta} \\
 w &= \frac{\partial z}{\partial t} + u \frac{\partial z}{\partial x} + v \frac{\partial z}{\partial y} + \tilde{w} h, \quad \frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial}{\partial \zeta}, \quad \Delta = \frac{\partial}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial y^2},
 \end{aligned} \tag{1}$$

б) для активного слоя почвы:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} D(c) \frac{\partial C}{\partial z} - \frac{\partial E(c)}{\partial z}, \quad \frac{\partial T_s}{\partial t} = K_s \frac{\partial^2 T_s}{\partial z^2}, \quad \text{при } 0 > z > Z_s, \tag{2}$$

где t – время; x , y и z – оси декартовых координат, направленные на восток, север и вертикально вверх, соответственно; $\zeta = (z - \delta)/h$ – безразмерная вертикальная координата; δ – высота рельефа; $h = H - \delta$; $H(t, x, y)$ – высота тропопаузы; u , v , w и \tilde{W} – составляющие скорости ветра вдоль осей x , y , z и ζ , соответственно; $\vartheta = T'/\bar{T}$, $\varphi = P'/\bar{P}(z)$ – аналоги температуры и давления, соответственно; $\bar{T} = 300K$; T' , P' – отклонения температуры и давления от стандартного вертикального распределения $T(z) = \bar{T} - \gamma z$ и $\bar{P}(z)$, соответственно; γ – стандартный вертикальный градиент температуры; ϑ и θ – аналог температуры и фоновое значение аналога температуры, соответственно; $\vartheta' = \vartheta - \theta$; q и Q – массовая доля водяного пара и фоновая массовая доля водяного пара, соответственно; $q' = q - Q$; m и M – массовая доля облачной воды и фоновая массовая доля облачной воды, соответственно; $m' = m - M$; T_s – температуры почвы; C – концентрация пыли в атмосфере; $\rho(z)$ – стандартное вертикальное распределение плотности сухого воздуха; g – ускорение свободного падения; R – универсальная газовая постоянная для сухого воздуха; C_p – удельная теплоёмкость сухого воздуха при постоянном давлении; S – параметр термической устойчивости; L – скрытая теплота конденсации; Φ_{con} – скорость конденсации; μ – коэффициент горизонтальной турбулентности; ν –

коэффициент вертикального турбулентного обмена; $\partial N / \partial t$ – интенсивность выпадения осадков; D – коэффициент диффузии воды в почве; E – коэффициент фильтрации воды в почве; K – коэффициент теплопроводности в почве; $Z_s = 2$ м глубина почвы..

Коэффициент горизонтальной турбулентности определяется с помощью формулы $\mu = \Delta x \Delta y \sqrt{2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2}$, коэффициент вертикальной турбулентности выше приземного слоя атмосферы и определяется по формуле $\nu = (0.05 \Delta z)^2 \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 - \frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z}}$. В приземном слое воздуха метеорологические поля и коэффициент вертикальной турбулентности определяются с помощью метода параметризации [20]:

$$\frac{\partial |\vec{u}|}{\partial z} = \frac{u_*}{\chi z} \varphi_u(\zeta), \quad \frac{\partial p}{\partial z} = \frac{p_*}{z} \varphi_p(\zeta), \quad (p_* = \vartheta, q), \quad \zeta = \frac{z}{L}, \quad L = \frac{u_*^2}{\lambda \chi^2 \vartheta_*^2}, \quad (4)$$

$$|\vec{u}| = \frac{u_*}{\chi} f_u(\zeta, \zeta_u), \quad p - p_0 = p_* f_p(\zeta, \zeta_p), \quad \zeta_u = \frac{z_u}{L}, \quad \zeta_p = \frac{z_0}{L}, \quad \text{если } z \leq z_{sur},$$

где z_u - шероховатость; z_p - параметр, который зависит от свойства подстилающей поверхности и является известной функцией; z_{sur} и z_0 – известные постоянные; u_* – динамическая скорость; λ и χ параметры плавучести и постоянная Кармана; $\varphi_u(\zeta)$, $\varphi_p(\zeta)$, $f_u(\zeta, \zeta_u)$ и $f_p(\zeta, \zeta_p)$ являются универсальными функциями теории подобия.

Фоновые значения полей температуры и давления выбраны так, чтобы моделировать обтекание рельефа восточными стационарными фоновыми ветрами. Скорости фоновых ветров на уровне приземного слоя атмосферы ($z = 100$ м от поверхности земли) равны 1; 5 и 10 м/с для тихого, слабого и свежего ветров, соответственно. С удалением от поверхности земли скорость ветра растёт и на высоте 9 км равна 20 м/с. Фоновое значение относительной влажности равно 40 %, фоновое значение массовой доли водности равно нулю.

Источником загрязнения является городская пыль. Её максимальная среднемесячная одноразовая концентрация на высоте 2 м на территории г. Зестафони, по данным Национального агентства окружающей среды Грузии, равна 0.8 мг/м^3 [21].

Численное интегрирование уравнений (1) осуществлено с помощью схемы Ф. Шумана и Л. Говермейла [22], а уравнений (2) – с помощью схемы Кранка-Никольсона и метода расщепления [23]. Использована прямоугольная конечно – разностная сетка, с горизонтальными шагами 800 м и вертикальным шагом 1/31. Высота приземного слоя равна 100 м от уровня почвы. В приземном слое атмосферы количество вертикальных уровней равно 17, а вертикальный шаг сетки меняется от 2 м до 15 м. Шаг по времени равен 10 сек.

3. Результаты моделирования

На рис. 1 показаны рассчитанные концентрации пыли на уровнях $z = 2, 100, 600$ и 1000 м от поверхности земли, полученные при $t = 24$ час в случае фонового тихого западного ветра. Концентрации пыли даны в единицах предельно допустимой концентрации (пдк) Для пыли пдк = 0.5 мг/м^3 . Из рис. 1 а, б видно, что на высоте 2 и 100 м концентрация максимальна в пределах города и в непосредственной его близости. Облако пыли в приземном слое атмосферы имеет цилиндрическую форму, которая деформирована в северном и южном направлениях. На высоте 2 м наибольшее значение концентрации 1-2 пдк получен на территории около 12 км^2 . С удалением от поверхности земли эта зона уменьшается и на высоте 100 м становится равной 3 км^2 .

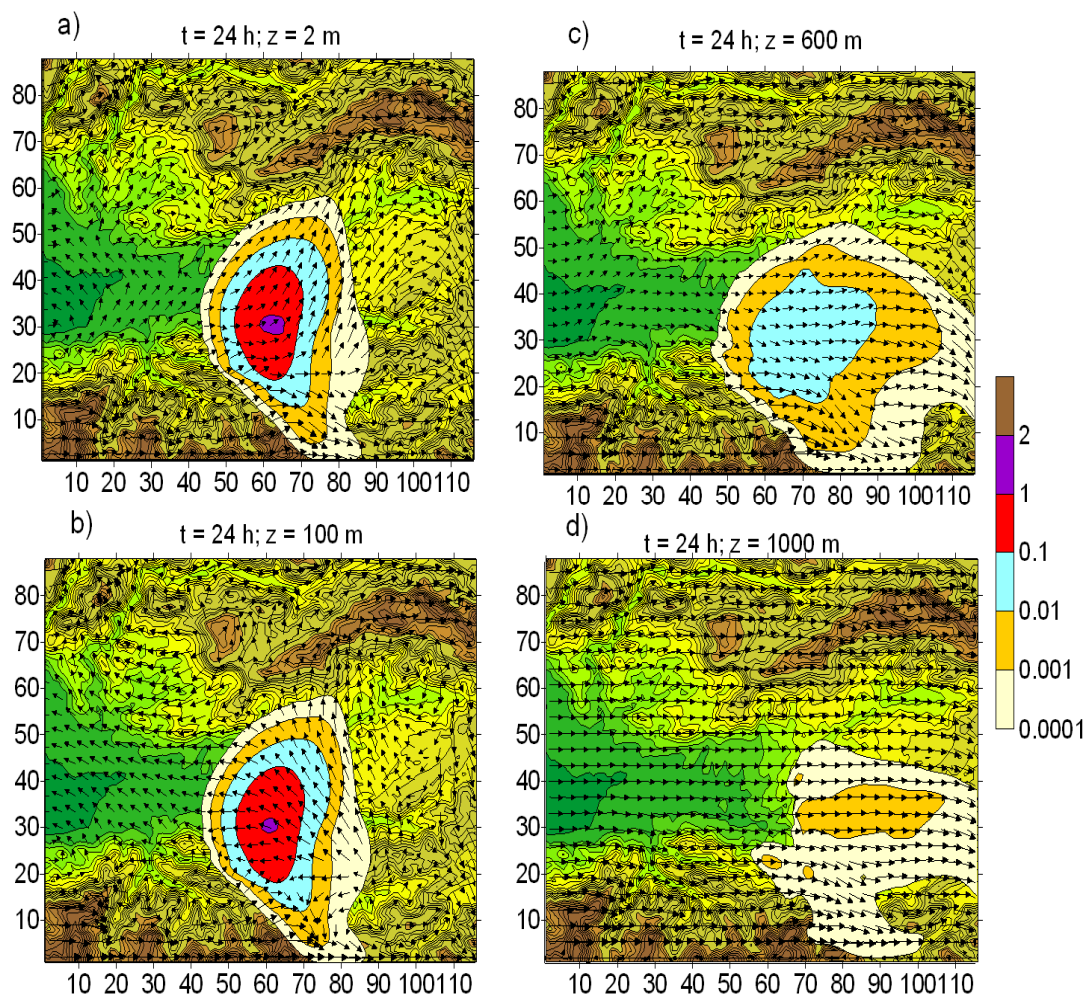


Рис. 1. Поля скорости ветра и концентрации пыли (в пдк) на высотах $z = 2, 100, 600$ и 1000 м в случае фонового тихого ветра при $t = 24$ час.

Городская пыль, распространена как вдоль локального ветра, так и в противоположном направлении. В приземном слое динамическое сопротивление рельефа с фоновым потоком приводит к изменению направления ветра, усилению течения вдоль межхребетных ущелий и распространению пыли вдоль рек Квирила и Чхеримела. В наветренной к городу стороне пыль переносится за счёт горизонтального турбулентного перемешивания. Выше приземного слоя воздуха преобладающим становится адвективный перенос пыли и она распространена на значительном расстоянии от города (рис. 1 с, d).

На рис. 2 показаны поля скорости ветра и концентрации пыли в XOZ плоскости, проходящей через город в пограничном трёхкилометровом слое атмосферы. Из рис. 2 видно, что городская пыль рассеяна в области толщиной 2 км. Концентрация 0.1-1 пдк получена в слое толщиной и длиной равным около 0.8 км и 12 км, 0.01-0.1 пдк – в слое толщиной 1.2 км и длиной 20 км, а 0.001-0.01 пдк в слое толщиной 2 км и длиной 30 км. На наветренной городу стороне пыль диссипирована на расстояние около 6 км. В вертикальном плане зона максимальной концентрации находится в центре облака пыли и постепенно уменьшается к перифериям.

В случае фонового слабого ветра пыль распространена на значительно большем расстоянии от города, чем в случае фонового тихого ветра (рис. 3). При этом, пыль распространена как вдоль фонового течения, так и в поперечном направлении. Меридионально ориентированный Лихский хребет заставляет растечься воздушному потоку в меридиональном направлении. В результате растёт горизонтальный градиент скорости ветра, интенсифицируется турбулентный перенос пыли в меридиональном направлении, и происходит расширение облака пыли в ширину. В

приземном слое адвективный перенос преобладает над турбулентной диффузией пыли. Поэтому пыль перенесена лишь на незначительное расстояние на наветренную к городу сторону.

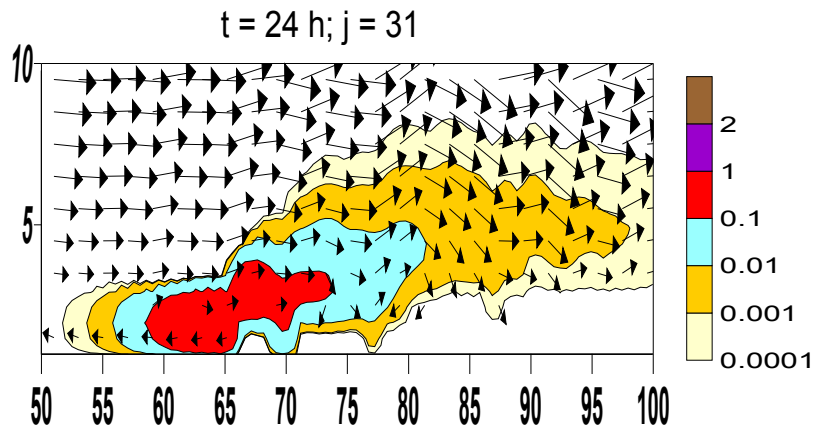


Рис. 2. Поля скорости ветра и концентрации пыли (в пдк) в XOZ плоскости в случае фонового тихого ветра при $t=24$ час.

Пыльное облако обтекает рельеф как единая система в пограничном двухкилометровом слое атмосферы (рис. 4). Основная масса пыли концентрирована в её центральной части. Толщина слоя наибольшей концентрации (0.1-1 пдк) приблизительно равна 500 м, а длина – 25 км. Этот слой пыли с удалением от города, под действием вертикальных потоков воздуха, сформированных из-за влияния сложной орографии, постепенно разбивается на отдельные образования.

Качественно аналогичная картина переноса пыли получена и в случае фонового свежего ветра. Отличие – количественное. В случае фонового сильного ветра распространение пыли происходит более интенсивно, увеличена площадь запыленной территории. Получено, что средняя скорость переноса пыли составляет около 0.8 части фоновой скорости ветра.

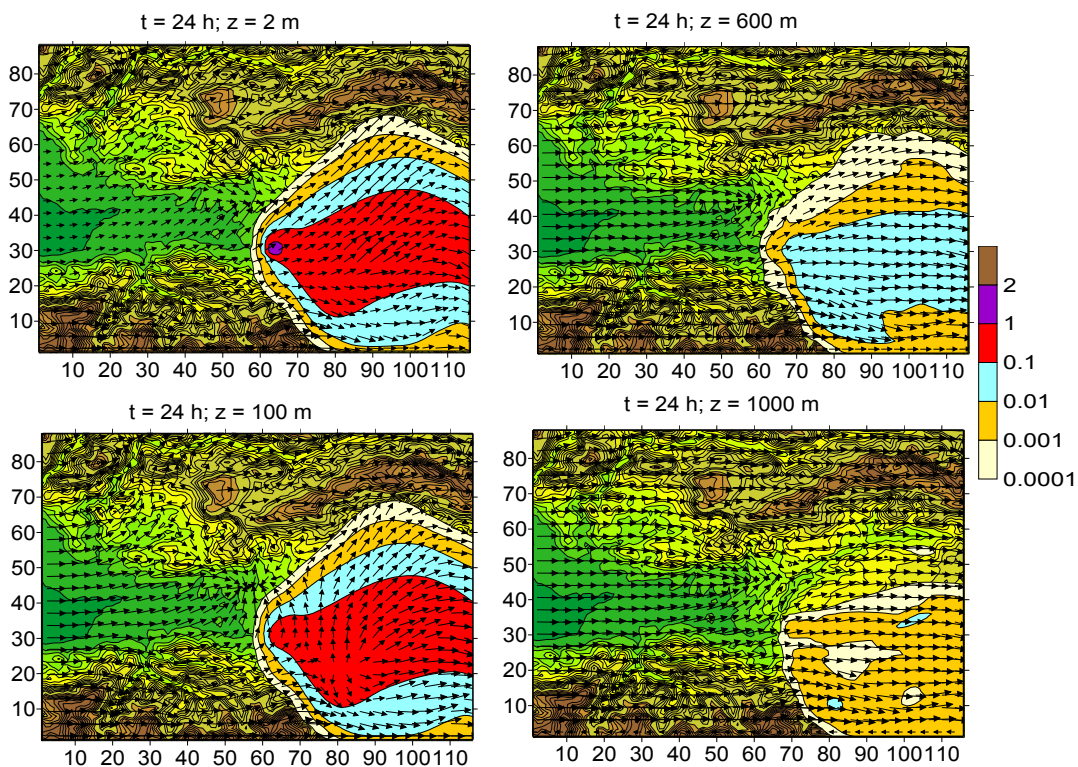


Рис. 3. Поля скорости ветра и концентрации пыли (в пдк) на высотах $z=2, 100, 600$ и 1000 м в случае фонового слабого ветра при $t=24$ час.

На рис. 5 показаны эпюры концентрации $C(x)$ на высотах $z = 2, 100$ и 600 м от поверхности земли в XOZ плоскости, проходящей через город в случае фонового тихого ветра, когда $t=24$ час. Из рис. 6 видно, что вертикальное изменение концентрации пыли имеет место в области, удалённой до 5 км от источника загрязнения в слое толщиной 600 м.

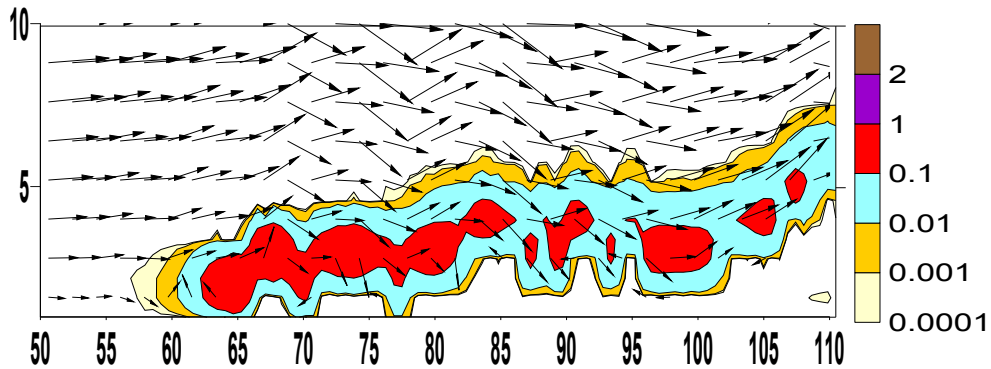


Рис. 4. Поля скорости ветра и концентрации пыли (в пдк) в XOZ плоскости в случае фонового слабого ветра при $t = 24$ час.

На рис. 6 показаны поля поверхностной плотности пыли ($\text{мг}/\text{м}^2$), осажженной на поверхность земли. Из этого рисунка видно, что максимальное осаждение имеет место

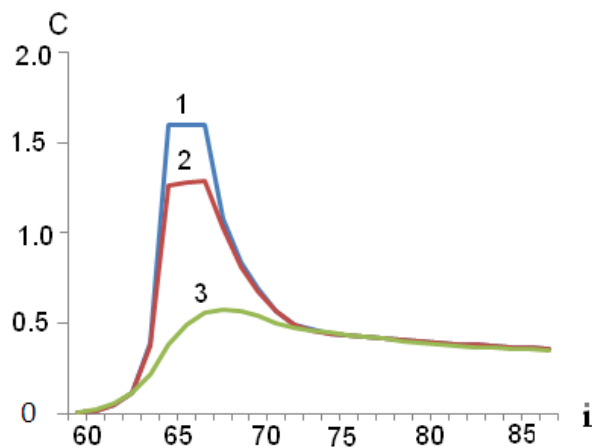


Fig. 5. Графики концентрации $C(x)$ в XOZ плоскости

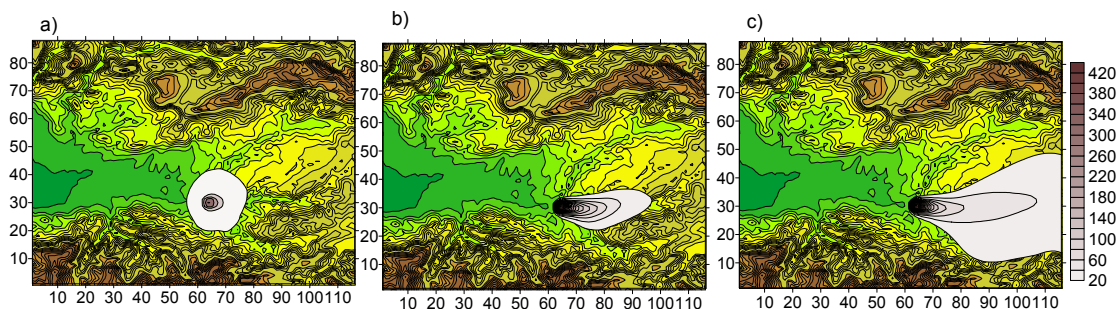


Рис. 6. Поля поверхностной плотности пыли ($\text{мг}/\text{м}^2$), осажженной на поверхность земли за 24 часа в случаях фоновых тихого – а), слабого -b) и свежего -c) ветров.

на территории г. Зестафони. Максимальные значения поверхностной плотности получены в пределах города. За 24 часа их значения для всех рассмотренных случаев приблизительно одинаковы и равны $400 \text{ мг}/\text{м}^2$. При фоновых тихом и слабом ветрах территории осаждения

пыли имеют круговую и эллипсоидальную формы, соответственно, их площади приблизительно одинаковы и равны – около 200 км². В случае фонового свежего ветра зона осаждения значительно больше и имеет форму расширенной в средней части полосы. Длина полосы больше 50 км, ширина приблизительно равна 28 км.

4. Заключение

С помощью численного моделирования исследованы некоторые особенности диффузии городской пыли в атмосфере над прилегающей территорией индустриального центра – г. Зестафони. Смоделировано распространение пассивной примеси в трёх наиболее характерных метеорологических ситуациях – при фоновых тихом, слабом и свежем западных ветрах. Для моделирования использованы данные натурных наблюдений Национального агентства окружающей среды Грузии. Получено, что в случае фонового слабого ветра концентрация пыли максимальна (1- 2 пдк) в стометровом приземном слое воздуха над городом. В слое 100-600 м концентрация повышенная. Выше этого слоя концентрация уменьшается и на высоте 2.5 км становится меньше 0.0001 пдк. Горизонтальная протяжённость запыленной области приблизительно равна 30 км. В случаях фоновых слабого и свежего ветров получены качественно и количественно отличные распределения пыли.

Меридионально ориентированный хребет Лихи оказывает сопротивление перемещению пыльного облака и вызывает расширение зоны запыленности в меридиональном направлении и уменьшает скорость адвективного переноса на 80%. Влияние орографии проявляется в изменении направления и распространения пыли в межхребтовых ущельях вдоль рек Квирила и Чхеримела.

Городская пыль переносится как единое облако. Пыльное облако по вертикали протягивается до 2.5 км, а ее длина достигает более 50 км. Зона наибольшей концентрации находится в центральной части облака и имеет толщину около 600 м.

В случае тихого ветра пыль, под действием горизонтальной турбулентной диффузии, распространяется также и в противоположном воздушному потоку направлении. При фоновых слабом и свежем ветрах преобладающим является адвективный перенос пыли.

Полученные результаты требуют проверки на точность. Поэтому запланировано проведение измерений концентрации пыли в г. Зестафони и в прилегающих территориях.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке национального научного фонда им. Шота Руставели –Грант– № PhD_F17_192.

Литература

1. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Гидрометеоздат, Ленинград. 1975. 448 с.
2. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Гидрометеоздат, Ленинград. 1985. 272 с.
3. Методика расчёта концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. Гидрометеоздат, Ленинград. 1987.
4. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. Наука, Москва. 1982. 319 с.
5. Пененко В.В., Алоян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. Наука, Новосибирск. 1985. 254 с.
6. Алоян А.Е., Пененко В.В., Козодеров В.В. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды в кн. Современные проблемы вычислительной математики и математического моделирования, т.2, Математическое моделирование. Наука, Москва. 2005. С. 279-351.

7. Алоян А. Е., Арутинян В. О. Моделирование эволюции газовых примесей в атмосферных дисперсных средах. www.sccc.ru/Conf/mmg2008/papers/aloyan.doc.
8. Алоян А.Е. Моделирование динамики и кинетики газовых примесей и аэрозолей в атмосфере. Наука, Москва. 2008. 415 с.
9. Гришин А. М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Наука, Новосибирск. 1992. 408 с.
10. Алоян А.Е. Моделирование динамики аэрозолей при лесных пожарах. Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2009. Т. 45. № 1. С. 62-75.
11. Long J., Cheng S., Li J., Chen D., Zhou Y., et al. A Monitoring and Modeling Study to Investigate Regional Transport and Characteristic of PM_{2.5} Pollution. *Aerosol and Air Quality Research*. 2013. V.13. PP. 943-956.
12. Ginoux P., Chin M., Tegen I., Prospero J. M., Holben B. et al. Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model. *J. of the Geophysical Research*. 2001. V.106. PP. 255-273.
13. Perez C., Hausten K., Janjic Z., Jorba O., Huneus N., et al. Atmospheric dust modeling from meso to global scales with the online NMMB/BSC-Dust model-Part 1: Model description, annual simulations and evaluation. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2013. V. 11. PP. 13001-13027. doi:10.5194/acp-11-13001-2011.
14. Шлычков В.А., Мальбахов В.М., Леженин А.А. Численное моделирование атмосферной циркуляции и переноса загрязняющих примесей в Норильской долине. *Оптика атмосферы и океана*. 2005. Т. 18. № 5–6. С. 490–496.
15. Surmava A. A., Mishveladze B. A., Davitashvili T. Numerical modeling of the pollution transfer in the Caucasus atmosphere from hypothetical source in case of the background western wind. *Journal of the Georgian Geophysical Society*. 2009. 13B. PP. 15-21.
16. Surmava A. A. Numerical investigation of the modeling of transportation and deposition of the radioactive pollution in the Caucasian Region in case of the hypothetical accident on the Armenian Nuclear Power Plant. *Journal of the Georgian Geophysical Society*. 2012. 15B. PP. 32-45.
17. Kordzadze A., Surmava A., Kukhalashvili V. Numerical investigation of the air possible pollution in case of large hypothetical accidents at some industrial territories of the Caucasus. *Journal of the Georgian Geophysical Society*. 2013. 16 B. PP. 13-23.
18. Селегей Т. С., Шлычков В. А., Леженин А. А., Мальбахов В. М. Модель локального прогноза формальдегидного загрязнения атмосферы в г. Томск на основе статистических и гидродинамических методов. *Метеорология и гидрология*. 2012. № 4. С. 35-44.
19. Кордзадзе А. А., Сурмава А. А., Деметрашвили Д. И., Кухалашвили В. Г. Численное исследование влияния рельефа Кавказского региона на распределения гидрометеорологических полей. *Известия АН СССР, Физика атмосферы и океана*. 2007. Т. 43. No. 6. С. 783-791.
20. Казаков А. Л., Лазриев Г. Л. О параметризации атмосферного пограничного слоя атмосферы и активного слоя почвы. *Известия АН СССР, Физика атмосферы и океана*. 1978. Т. 14. No. 3. С. 257-265.
21. Ed. Georgian National Environmental Agency. Short review of Georgia environment pollution. 2017. www.nea.gov.ge (in Georgian).
22. Shuman F. G., Hovermale L. R. An operational six-level primitive equation model. *J. Applied Mechanics*. 1968. V. 7. No. 4. PP.525-547.
23. Марчук Г. И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Гидрометиздат, Ленинград. 1974. 304 с.

**ქ. ზესტაფონის მტვერის გავრცელების რიცხვითი მოდელირება
ფონური დასავლეთის წყნარი, სუსტი და ზომიერი ქარის დროს
სურმავა ა., გიგაური. ნ., გვერდწითელი. ლ., ინჭკირველი ლ.**

რეზიუმე

მეზომასშტაბის ატმოსფერული პროცესების არაწრფივი არასტაციონარული განტო-
ლებათა სისტემის და პასიური მინარევის ატმოსფეროში გადატანა-დიფუზიის განტოლე-
ბის რიცხვითი ინტეგრირებით გამოკვლეულია ქალაქში არსებული მტვერის გავრცელება
საქართველოს რთული რელიეფის მქონე რეგიონში – იმერეთში. ატმოსფეროს დაბინძუ-
რების წყაროს წარმოადგენს ინდუსტრიული ცენტრის – ქ. ზესტაფონის მტვერი. მიღებუ-
ლია მტვერის განაწილების ველი სუსტი, საშუალო და ძლიერი ფონური დასავლეთის ქარის
დროს. ნაჩვენებია, რომ გაბნეული მტვერი ძირითადად კონცენტრირებულია ატმოსფეროს
სასაზღვრო ფენაში. მაქსიმალური კონცენტრაციის არე მდებარეობს მიწის ზედაპირიდან
100-600 მ ფარგლებში. 600 მ ზევით მცირდება კონცენტრაციის მნიშვნელობა და იზრდება
მისი გავრცელების არე.

გამოკვლეულია ლოკალური რელიეფის გავლენა დამტვერიანების ღრუბლის ფორ-
მაზე. სუსტი ქარის დროს ადგილი აქვს მტვერის ღრუბლის დეფორმაციას. დეფორმაციის
მიზეზს წარმოადგენს მერიდიანულად ორიენტირებული ქედების ზემოქმედება ფონურ
ქარზე. საშუალო და ძლიერი ფონური ქარების დროს ოროგრაფიის გავლენა სუსტია. მტვე-
რი ძირითადად ვრცელდება ფონური ქარის მიმართულებით.

შესწავლილია ადვექციური და ტურბულენტური პროცესების როლი მტვერის გავრცე-
ლების პროცესში. განსაზღვრულია ქალაქის მტვერიანობის გავლენის ზონები და ნიადაგზე
დაფენილი მტვერის ზედაპირული სიმკვრივე.

**Численное моделирование распространения пыли г. Зестафони при
фоновом западном тихом, слабом и свежем ветрах**

Сурмава А. А., Гигаური Н. Г., Гвердцители Л. В., Инцкирвели Л. Н

Реферат

Путём численного интегрирования нелинейных нестационарных уравнений мезометеоро-
логии и уравнения переноса-диффузии пассивного вещества в атмосфере исследовано рас-
пространение пыли г. Зестафони на территории Имеретинского региона. Показано, что пыль г.
Зестафони рассеивается в основном в пограничном слое атмосферы. Область максимальной
концентрации находится на уровне 100-600 м. Выше 600м уменьшается концентрация и уве-
личивается площадь распространения пыли. Исследовано влияние локального рельефа на
форму облака загрязнения. В случае слабого фонового ветра происходит деформация облака
пыли. Причиной деформации является влияние меридионально ориентированных горных
хребтов. При фоновом слабом ветре происходит перенос пыли в меридиональном направлении
вдоль горных ущелий и деформации пылевого облака. В случаях фоновых среднего и сильного
ветров влияние локальной орографии слабее. Пыль в основном переносится вдоль фонового
течения, постепенно расширяясь в ширину.

Изучены вклады адвективного и турбулентного факторов в процесс распространения запыленности. Определены зоны влияния городского загрязнения, область выпадения и количество осаждаемой пыли на поверхность почвы.

Numerical modeling of Zestafoni city dust distribution in case of background western, light air, gentle and fresh breezes

Surmava A., Gigauri N., Gverdtsiteli L., Intskirveli L.

Abstract

By numerical integration of the non-linear non-stationary system of equations of the mesoscale atmospheric processes and equation of diffusion of a passive contaminant the distribution of the dust of industrial town in the atmosphere is investigated. The source of pollution is the dust formed on the territory of city Zestafoni. The influence of local relief on the form of the pollution cloud is investigated. In case of a background Light air the shape of the contaminant cloud is significantly deformed. The deformation is caused by dynamical action of meridionally oriented mountain ridges. In cases of the background Gentle and Fresh breezes an influence of the relief on the distribution of pollution is negligible. The dust is distributed along the background wind.

The role of advective and turbulence processes in the distribution of dust, the zones of influence of Zestafony city dust on the pollution of air around the city and surface density of sediment dust are investigated.