

УДК 539.3

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

Шарипов Д.К.

PhD, доцент кафедры,

Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Харазми,
тел.: +(99897) 775-37-12, e-mail: qushqor@mail.ru**Мурадов Ф.**

старший научный сотрудник-исследователь,

Научно-инновационный центр информационно-коммуникационных технологий,
тел.: +(99897) 925-05-65, e-mail: farrux1981@umail.uz**Равшанов З.Н.**

магистр,

Национальный университет Узбекистана,
тел.: +(99871) 237-62-34

В статье рассматривается актуальная проблема, связанная с решением задачи мониторинга и прогнозирования экологического состояния воздушного бассейна промышленных регионов, где имеет место нарушение баланса санитарной нормы окружающей среды вследствие большого количества выбросов вредных веществ. Для решения указанной задачи разработаны математическая модель, описывающая рассматриваемый процесс с помощью уравнений гидромеханики с соответствующими начальными и краевыми условиями и программное обеспечение для проведения комплексного исследования процесса переноса и диффузии загрязняющих веществ, выброшенные в окружающую среду из производственных объектов. Приведены результаты численных расчетов на ЭВМ. Для вывода математической модели объекта использовались основные законы механики и гидротермодинамики (уравнения сохранения массы и баланса сил) с учетом основных параметров, которые играют существенную роль в процессе распространения аэрозольных частиц в атмосфере: скорость ветра и его направления; рельеф местности; коэффициент поглощения вредных аэрозольных мелкодисперсных частиц в атмосфере; физико-механические свойства частиц и т.д. Получено дифференциальное уравнение для расчета скорости осаждения мелкодисперсных и аэрозольных частиц, распространяющихся в приграничном слое атмосферы.

Ключевые слова: математическая модель, перенос и диффузия вредных веществ, атмосфера, погодноклиматический фактор, гидромеханика, численный алгоритм, программное средство, вычислительный эксперимент.

MATHEMATICAL MODEL AND COMPUTING EXPERIMENT FOR MONITORING AND PREDICTING THE ENVIRONMENTAL STATE OF THE BORDER LAYER OF THE ATMOSPHERE

Sharipov D.K., Muradov F., Ravshanov Z.N.

The current problem is related to the solution of the problem of monitoring and forecasting the ecological state of the air basin of industrial regions, where there is a violation of the balance of the sanitary norm of the environment due to a large number of emissions of harmful substances. To solve the problem, a mathematical model has been developed that describes the process under consideration with the help of hydromechanical equations with the corresponding initial and boundary conditions and software for carrying out a complex study of the process of transport and diffusion of pollutants released into the environment from production facilities. The results of numerical calculations are presented. To derive the mathematical model of the object, the basic laws of mechanics and hydrothermodynamics (equations of mass conservation and balance of forces) were used, taking into account the main parameters that play an important role in the process of aerosol particles in the atmosphere: wind speed and direction; terrain relief; absorption coefficient of harmful aerosol fine particles in the atmosphere; physical and mechanical properties of particles, etc. A differential

equation was obtained for calculating the sedimentation rate of finely dispersed and aerosol particles propagating in the near-boundary layer of the atmosphere.

Keywords: mathematical model, transfer and diffusion of harmful substances, atmosphere, weather and climatic factor, fluid mechanics, numerical algorithm, the software, computational experiment.

ATMOSFERANING CHEGARAVIY QATLAMIDAGI EKOLOGIK HOLATINI MONITORING QILISH VA BASHORATLASH UCHUN MATEMATIK MODEL VA HISOBLASH EKSPERIMENTI

Sharipov D.K., Muradov F., Ravshanov Z.N.

Maqolada sanoat hududlarda katta miqdorda zararli moddalar chiqarilishi natijasida sanitar normalar balansi buzilgan hududlarning ekologik holatini monitoring qilish va bashoratlash masalalarini yechish bilan bog'liq muammolar ko'rib chiqiladi. Yuqorida ko'rsatilgan masala yechimi uchun matematik model va ko'rib chiqilayotgan jarayon dasturning tahlili gidromexanik tenglama boshlang'ich va chegaraviy shartlari bilan kompleks tahlil o'tkazish jarayonida ishlab chiqarish korxonalarini tomonidan atrof muhitga chiqarilgan zararli moddalarning ko'chishi va diffuziyasi EHMda hisoblash natijalari keltirilgan. Obyektning matematik model natijasi sifatida mexanikaning asosiy qoidalari va gidrotermodynamika (massa saqlanish va balans kuchi tenglamasi) asosiy parametrlari atmosferaga aerazol zarrachalarining tarqalishi jarayonida muhim rol o'ynovchi shamol tezligi va relyefi, yer maydoni relyefi, zararli kichik dispersion aerazol zarrachalarining yutilish koefitsiyenti va boshqalar hisobga olgan holda foydalanildi. Atmosferaning chegaraviy qatlamida tarqalgan kichik dispersion va aerazol zarrachalarining tarqalish tezligini aniqlash uchun tenglama ishlab chiqildi.

Kalit so'zlar: matematik model, zararli moddalarning ko'chishi va diffuziyasi, atmosfera, ob-havo va iqlimga oid omillar, gidromexanika, sonli algoritim, dasturiy vosita, hisoblash tajribasi.

1. Введение

Мониторинг, прогнозирование и оценка загрязнения атмосферы и подстилающей поверхности земли пассивными и активными примесями, мелкодисперсными частицами и углекислыми газами, а также проектирование и размещение промышленных объектов с соблюдением предельно допустимых санитарных норм являются актуальными вопросами в проблеме охраны окружающей среды.

Анализ данных по состоянию окружающей среды за последние годы показывает, что интенсивный рост объема выбросов вредных веществ в атмосферу неизбежно вызывает дисбаланс экологического состояния. Это особенно заметно в государствах, отличающихся высоким темпом развития промышленности, например, Китай, Индия, Россия, США, Франция, Великобритания, Япония, Корея, Малайзия и др. Негативные последствия экологического дисбаланса возникают за счет увеличения загазованности атмосферы и концентрации вредных мелкодисперсных частиц, чем отрицательно воздействуют на живую систему – флору и фауну указанных регионов, а на глобальном уровне вносят лепту в изменение климата земного шара.

Потенциальные источники загрязнения атмосферного бассейна в промышленных регионах разделяются на стационарные и переменные.

Информацию и подробный анализ процессов загрязнения атмосферы промышленных городов и регионов, а также различие между загрязнениями, производимыми постоянными и мобильными переменными источниками можно подчеркнуть в работах многих зарубежных авторов, занимающихся проблемой охраны окружающей среды. Здесь же отметим, что стационарным (точечным) источником

загрязнения считается источник, постоянно находящийся в определенном месте. Например, дымовые трубы фабрик и заводов, теплоэлектростанций, технологических установок, отопительных котельных, печей и сушилок, вытяжные шахты, вентиляционные трубы, вытяжки, выбрасывающие мелкодисперсные вредные частицы и т.д. Статистическая обработка накопленных баз данных показала, что в промышленных регионах постоянными источниками в большом количестве выбрасываются в окружающую среду окислы азота, сернистый газ, угарный газ, серная кислота, фенолы и другие аэрозольные вещества в зависимости от специфики промышленного производства города и состава, используемого в нём топлива. Как известно, одним из основных свойств стационарных источников является то, что их выбросы вредных аэрозольных частиц (в отличие от мобильных источников) происходят, как правило, на большой высоте. Поэтому, процесс диффузии и переноса аэрозольных частиц в атмосфере, выбрасываемых производственными объектами, распространяется на большую территорию. В результате чего, за счет взаимодействия между собою вредных частиц, происходит рост их концентрации, и образуются области устойчивого загрязнения, распространяющихся на высоту до 180-200 м и более.

На рис. 1. приведены основные потенциальные источники загрязнения атмосферы промышленных регионов выбрасываемых в окружающую среду аэрозольных, мелкодисперсных, активных и пассивных вредных частиц.

В последнее время растет количество научно-исследовательских работ, направленных на разработку задач моделирования процессов переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере с целью

системного мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы промышленных регионов.



Рис. 1. Виды источников загрязнения атмосферы

Моделирование процессов распространения вредных веществ, проводится в передовых научных центрах и высших учебных заведениях мира, в число которых входят California Line Source Model, General Finite Line Source Model (США), Karlsruhe Institute of Technology, Institute of Applied Geosciences (Германия), Centre for Ecology and Hydrology, Centre for Water Science (Великобритания), Contaminants in the Air from a road, By the Finnish Meteorological Institute (Финляндия), National Institute of Hydrology, Waterloo Hydro geologic (Индия), Институт атмосферы физики им. А.М. Обузова, Институт вычислительной математики и математической геофизики (Россия), Научно-исследовательский и проектно-технологический институт “Атмосфера”, Национальный университет Узбекистана (Узбекистан).

В работе [1] разработана аналитическая модель процесс переноса примесей в атмосфере. Как подчеркивают авторы статьи, основные преимущества аналитической модели заключаются в её простой численной реализации на ЭВМ. С помощью аналитического решения можно получить фрагментарное распределение загрязняющих веществ в любой заданной области, не решая краевой задачи. Но здесь надо отметить, что аналитическая модель хорошо описывает процесс распространения выбросов в атмосфере при постоянных коэффициентах переноса и может быть использована в качестве теста для проверки численных расчетов и для оперативного получения предварительной информации о распространении примеси. Такие модели можно использовать в следующих целях: контроль источников загрязнения—быстрое измерение выбросов загрязнения; измерение переноса загрязнения – контроль в приземном слое и на высоте над обширными географическими районами.

В работе [2] создана математическая модель, заключающаяся в использовании системно-методических методов исследования, позволившая оценить качество приземного слоя атмосферного воздуха. Предложен численный алгоритм и создано новое программное обеспечение, удовлетворительно

описывающее процесс распространения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе ограниченной территории, заключающемся в использовании алгоритма коррекции потоков, результаты которой коррелируют с данными. В работе рассмотрены двумерное распространение вещества аэрозоля в нижнем слое атмосферы, где цепочка его превращения из одного химического состояния в другое состоит из трех звеньев. Принимая во внимание, что свободное химическое вещество в воздух (субстрат) сначала создают в ходе обратимой реакции воздушную смесь (комплекс), которая, в свою очередь, необратимо распадается, образуя вновь свободное химическое вещество и продукт.

Авторы показали не только систематизацию известных физико-химических свойств и закономерностей аэрозолей, но и необходимость более глубоких дальнейших исследований.

В работе [3] подробно дается комплексная оценка загрязнения атмосферного воздуха крупного промышленного города. В статье обобщены основные проблемы гигиенического и экологического характера, определяющие состояние основных объектов окружающей среды в крупном промышленном городе. Детально проанализированы такие аспекты экологической ситуации, как загрязнение атмосферного воздуха в мегаполисе. Изучены особенности формирования качества атмосферного воздуха на основе анализа ретроспективных данных о динамике поступления вредных веществ в атмосферу с валовыми выбросами ведущих промышленных предприятий мегаполиса, индивидуального жилого сектора. Дана оценка вклада автотранспорта в уровень загрязнения атмосферы. Установлены основные загрязнители атмосферного воздуха г. Алматы, определяющие наибольший вклад в экологический ущерб и риск здоровью населения.

В работе [4] представлена математическая модель процесса движения многокомпонентной воздушной среды в приземной слое для прибрежной зоны, учитывающая наличие зеленых насаждений. Кратко рассмотрен переход к двумерной модели для уравнений движения воздушной среды, в отсутствие градиента давления. Данный подход позволяет значительно уменьшить вычислительные затраты для численного решения сеточных уравнений диффузии-конвекции (движения) и сократить время выполнения операций обмена информацией межпроцессорных обменов при моделировании на многопроцессорных системах.

Статья [5] посвящена метод расчета процесса нейтрализации токсичного газа в атмосфере. Метод основывается на численном интегрировании двухмерного уравнения конвективно-диффузионного переноса примеси. Для расчета используется неявная разностная схема.

В статье [6] приведена численная модель и на ее основе построен метод расчета процесса распространения тяжелого токсичного газа в атмосфере. В качестве математической модели используется трехмерные уравнения переноса

примеси и потенциального течения воздушной среды. Расчет осуществляется с использованием неявных разностных схем. Приводятся результаты вычислительного эксперимента по моделированию загрязнения воздушной среды в случае аварийной утечки токсичного вещества.

В работе [7] разработаны численные модели, которые позволяют рассчитать 3D аэродинамику ветрового потока в условиях городской застройки и процесс массопереноса выбросов от автотрассы. Выполнены расчеты по определению зоны загрязнения, которая формируется возле зданий, расположенных вдоль автомагистрали. В работе рассмотрены эффективные численные модели, которые могут быть применены при разработке мероприятий по охране окружающей среды при эксплуатации автомобильного транспорта в городе. Разработанные модели позволяют оценить размеры, форму и интенсивность зоны загрязнения возле автомагистрали.

Статья [8] посвящена построению двумерной математической модели движения воздушной среды, а также написанию программного комплекса, реализующего разработанные алгоритмы. Для адекватного математического описания процессов, происходящих в атмосфере, требуется решить проблему построения ее физической модели, поскольку она существенным образом влияет на построение поля ветра и на описание переноса, происходящего в воздушной среде. Физические свойства атмосферного воздуха (температура, влажность, подвижность, атмосферное давление) нестабильны и связаны с климатическими особенностями географического региона. В работе представлена аппроксимация задачи по временной переменной, построена двумерная модель аэродинамики и приведены результаты численных экспериментов.

В статье [9] рассматриваются основные проблемы, возникающие при оценке качества атмосферы промышленных городов. Предлагается модель позволяющая учитывать уровень загрязнения атмосферы и прогнозировать возникновение той или иной экологической ситуации с учетом ряда факторов влияющих на изменение концентрация загрязняющих веществ в атмосфере промышленных городов.

В работе [10] разработана математическая численная модель, а на ее основе создан пакет прикладных программ, позволяющий оперативно проводить вычислительные эксперименты по оценке уровня загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта на улицах города при наличии нескольких зданий, расположенных по схеме «уличный каньон». В результате проведенных исследований были установлены закономерности по изменению концентрации оксида углерода возле рассматриваемой группы зданий при различной интенсивности выброса загрязнителя. Разработана численная модель, позволяющая учесть гидродинамическое влияние группы зданий на рассеивание загрязняющих веществ при изменении

величины скорости ветра и вертикального коэффициента диффузии с высотой.

Подробный анализ научных работ связанные с проблемой математического моделирования процесса переноса и диффузии аэрозольных частиц в атмосфере, что при математическом моделировании и исследования процесса распространения вредных веществ в атмосфере, во первых, не рассмотрена изменения скорость осаждения аэрозольных частиц которая изменяется со временем и в зависимости от изменения скоростей воздушного потока воздуха, во вторых во всех приведенных математических моделях процесса коэффициент поглощения аэрозольных частиц брались постоянными, в третьих, предполагались, что распространение вредных веществ, выброшенных из источников, не достигает рассматриваемых границ области решения задачи и отсутствует приток и отток вредных веществ через них.

В настоящей работе при исследовании процесса переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере предприняты усилия для восполнения данных пробелов.

Исходя из сказанного, целью настоящей работы является разработка математической модели и численного алгоритма решение задача переноса и диффузии аэрозольных выбросов в пограничном слое атмосфере.

2. Постановка задачи

Для исследования процесса переноса и диффузии аэрозольных частиц в атмосфере с учетом существенного параметра – скорости осаждения мелкодисперсных частиц w_g рассмотрим математическую модель описывающий на основе закона гидромеханики с помощью многомерного дифференциального уравнения в частных производных [11-13]

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} + (w - w_g) \frac{\partial \theta}{\partial z} + \sigma \theta = \mu \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \delta_{i,j} Q; \quad (1)$$

$$\frac{\partial w_g}{\partial t} = \frac{m \cdot g - 6 \cdot \pi \cdot k \cdot r \cdot w_g - 0,5 \cdot c \cdot \rho \cdot s \cdot w_g^2}{m} \quad (2)$$

и соответствующим им начальным и граничным условиями:

$$\theta(x, y, z, t)|_{t=0} = \theta^0(x, y, z); \quad w_g(0)|_{t=0} = w_g^0; \quad (3)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=0} = \mu(\theta_t - \theta); \quad \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=Lx} = \mu(\theta_t - \theta); \quad (4)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial y} \Big|_{y=0} = \mu(\theta_t - \theta); \quad \frac{\partial \theta}{\partial y} \Big|_{y=Ly} = \mu(\theta_t - \theta); \quad (5)$$

$$k \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=0} = \beta \cdot \theta - f_0(x); \quad \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=H_z} = k(\theta_t - \theta)0. \quad (6)$$

Здесь θ - концентрация вредных веществ в атмосфере; θ_0 - первичная концентрация вредных

веществ в атмосфере; x, y, z - система координат; u, v, w - скорость ветра по трем направлениям; w_g - скорость осаждения частиц; σ - коэффициент поглощения вредных веществ в атмосфере; μ, λ - коэффициенты диффузии и турбулентности; Q - мощность источника; $\delta_{i,j}$ - функция Дирака; f_0 - источник выброса вредных веществ в атмосферу; c - безразмерная величина равно 0,5; ρ плотность атмосферы; r - радиус частиц; S - площадь поперечного сечения частиц; g - ускорения силы тяжести.

3. Методы решения задачи

Так как, задача (1)-(6) описывается многомерным нелинейным дифференциальным уравнением в частных производных с соответствующими начальными и краевыми условиями, получить ее решение в аналитической форме затруднительно. Для решения задачи используем неявную конечно-разностную схему по времени со вторым порядком точности по времени [14-15].

4. Вычислительный эксперимент

Для мониторинга и прогнозирования экологического состояния промышленного региона было разработано программное средство, с использованием которого проведены вычислительные эксперименты на ЭВМ.

Для ввода основных параметров процесса переноса и диффузии аэрозольных частиц и проведение расчетов на ЭВМ разработан графический интерфейс (рис. 2, 3). С помощью разработанного интерфейса вводятся: виды вредных веществ выбрасываемых из промышленных объектов; число потенциальных источников выброса вредных веществ; номер задачи (1 - когда решается прямая задача, 2 - когда решается сопряженная задача); коэффициент поглощения вредных веществ в атмосфере; горизонтальная составляющая скорости

ветра; направление ветра; стратификация атмосферы; начальная скорость осаждения частиц; время расчета; мощность источников.

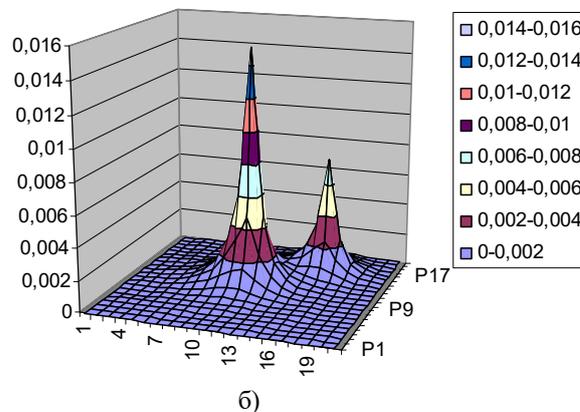
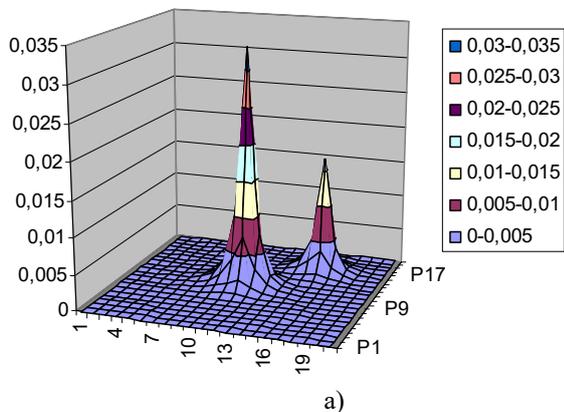
	Вертикальная высота	Точка по ось OY	Точка по ось OX	Мощность источника
1	1,0	11,0	11,0	100,0
2	1,0	16,0	16,0	50,0

Рис. 2. Форма для ввода основных параметров процесса

Рис. 3. Форма для ввода основных параметров процесса

Результаты проведенных вычислительных экспериментов на ЭВМ приведены на рисунках 4-12.

Как видно из проведенных численных расчетов на ЭВМ (рис.4) с ростом горизонтального составляющего ветра скорости аэрозольные частицы выброшенные из промышленных объектов переносятся по направлению ветра. Область распространения вредных веществ в приземном слое атмосферы расширения с ростом скорости воздушной массы атмосферы (рис. 4-6). Особенно это можно наблюдать при $H=200-300$ м.



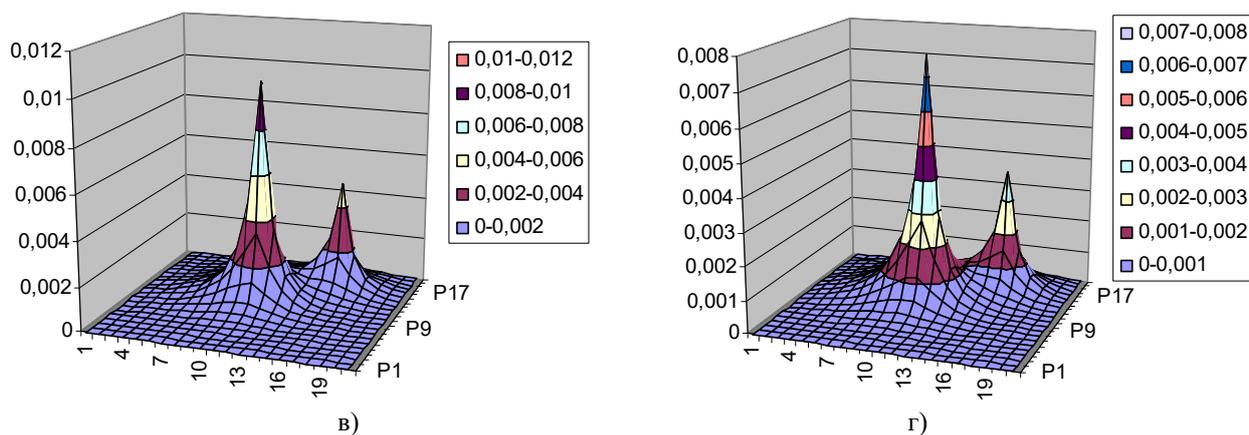


Рис. 4. Изменение концентрации вредных веществ в первом слое атмосферы ($H = 100\text{м}$) при скорости ветра: а) $u = 1 \text{ м/с}$.; б) $u = 3 \text{ м/с}$.; в) $u = 4 \text{ м/с}$.; г) $u = 5 \text{ м/с}$

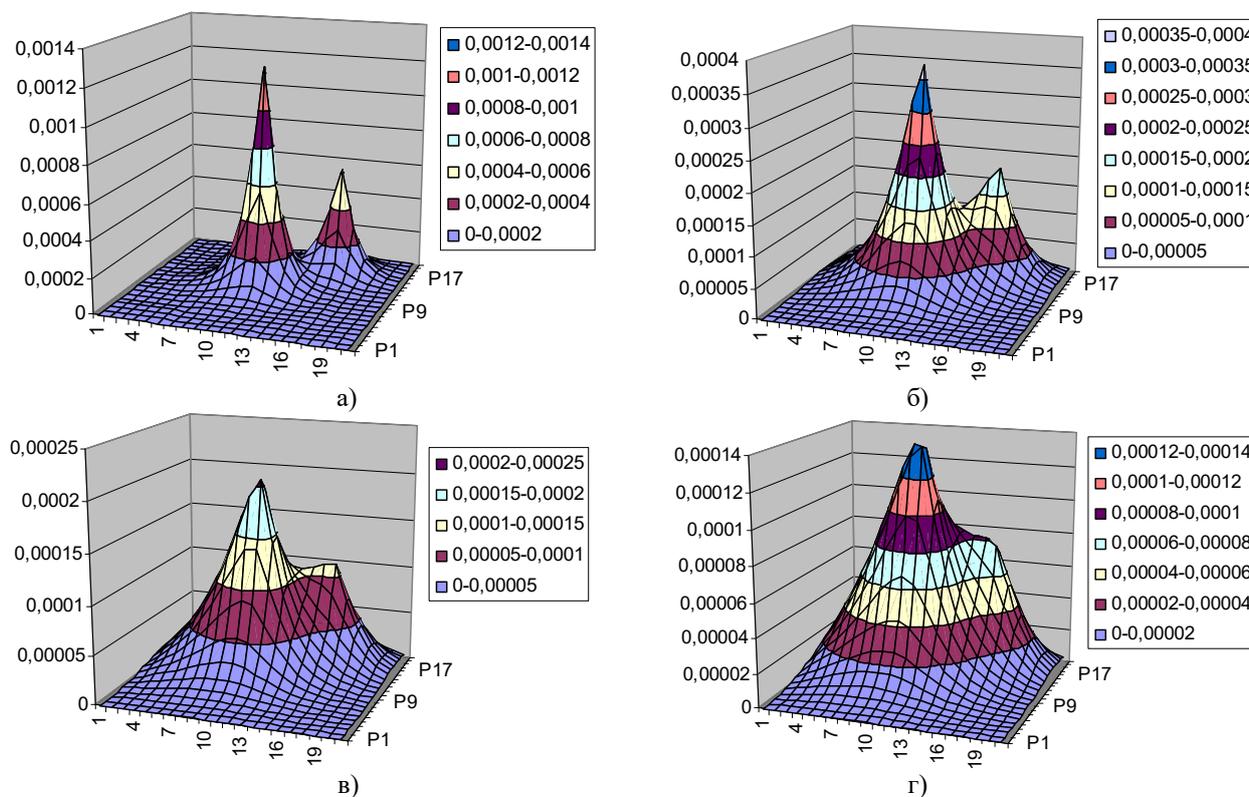
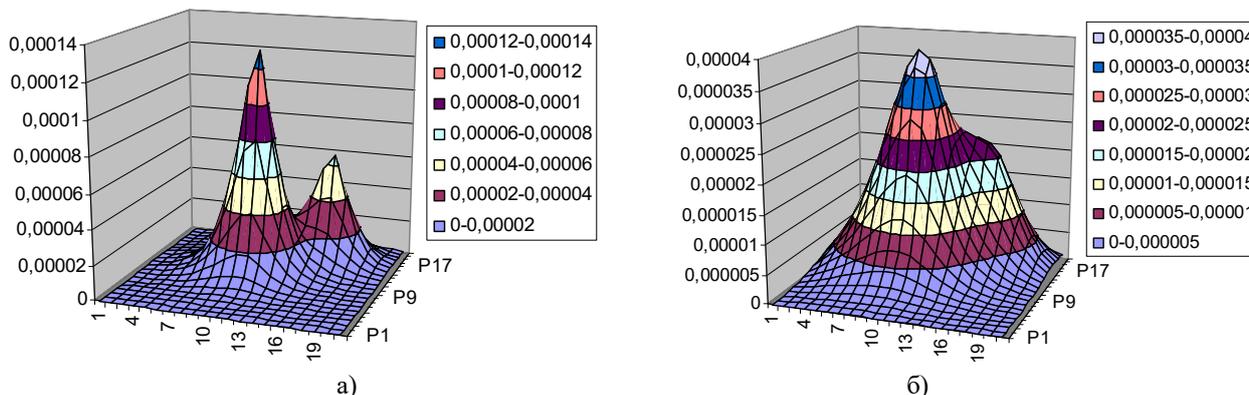


Рис. 5. Изменение концентрации вредных веществ в первом слое атмосферы ($H = 200\text{м}$) при скорости ветра: а) $u = 1 \text{ м/с}$.; б) $u = 3 \text{ м/с}$.; в) $u = 4 \text{ м/с}$.; г) $u = 5 \text{ м/с}$



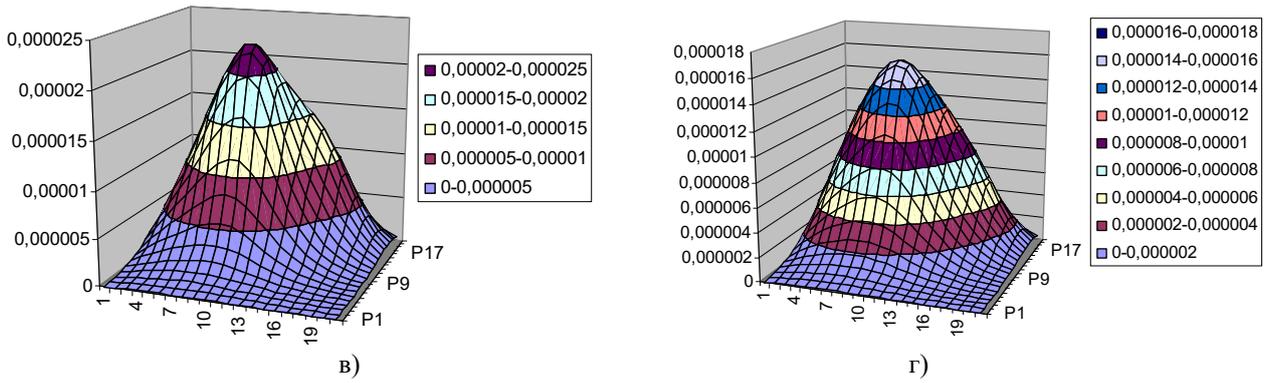


Рис. 6. Изменение концентрации вредных веществ в третьем слое атмосферы ($H=300m$) при скорости ветра:
 а) $u = 1$ м/с.; б) $u = 3$ м/с.; в) $u = 4$ м/с.; г) $u = 5$ м/с

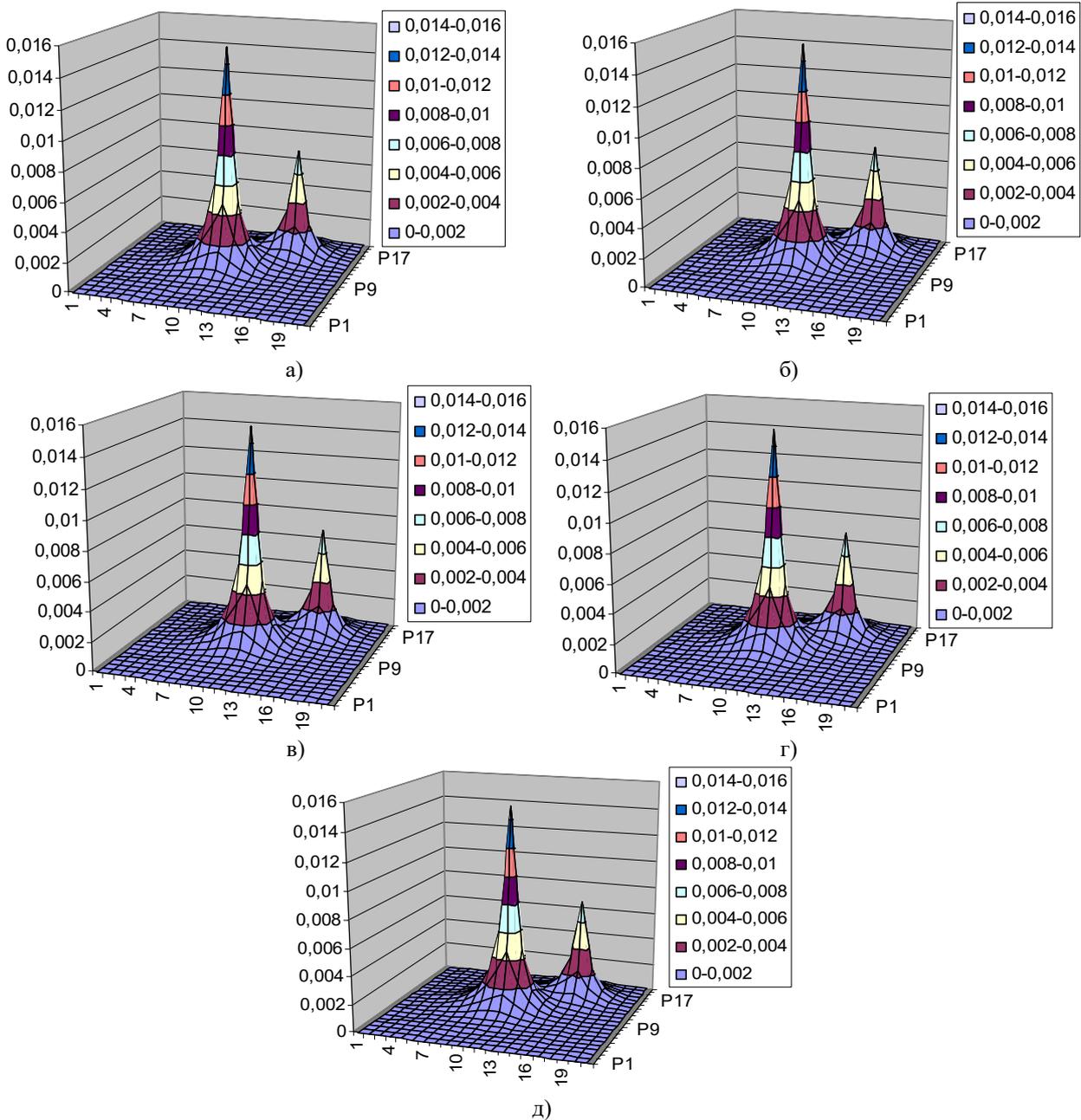


Рис. 7. Изменение концентрации вредных веществ в первом слое атмосферы ($H=100m$) при начальной скорости осаждения частиц:
 а) $w_g = 0,00015$ м/с.; б) $w_g = 0,0003$ м/с.; в) $w_g = 0,0006$ м/с.; г) $w_g = 0,0009$ м/с.; д) $w_g = 0,009$ м/с

Другой параметр, который существенно влияет на изменение концентрации вредных веществ в атмосфере, на земной поверхности это скорость осадения вредных частиц (рис. 7-9). Как было установлено проведенными вычислительными экспериментами на ЭВМ, перенос вредных веществ в атмосферу по вертикали зависит: во-первых, от первоначальной скорости осадения частиц; во-

вторых, от вертикальной скорости воздушной массы атмосферы; в-третьих, от физико-механических свойств частиц (радиус частиц; площадь поперечного сечения частиц) и свойства атмосферы (ρ плотность атмосферы); в-четвертых, от ускорения силы тяжести.

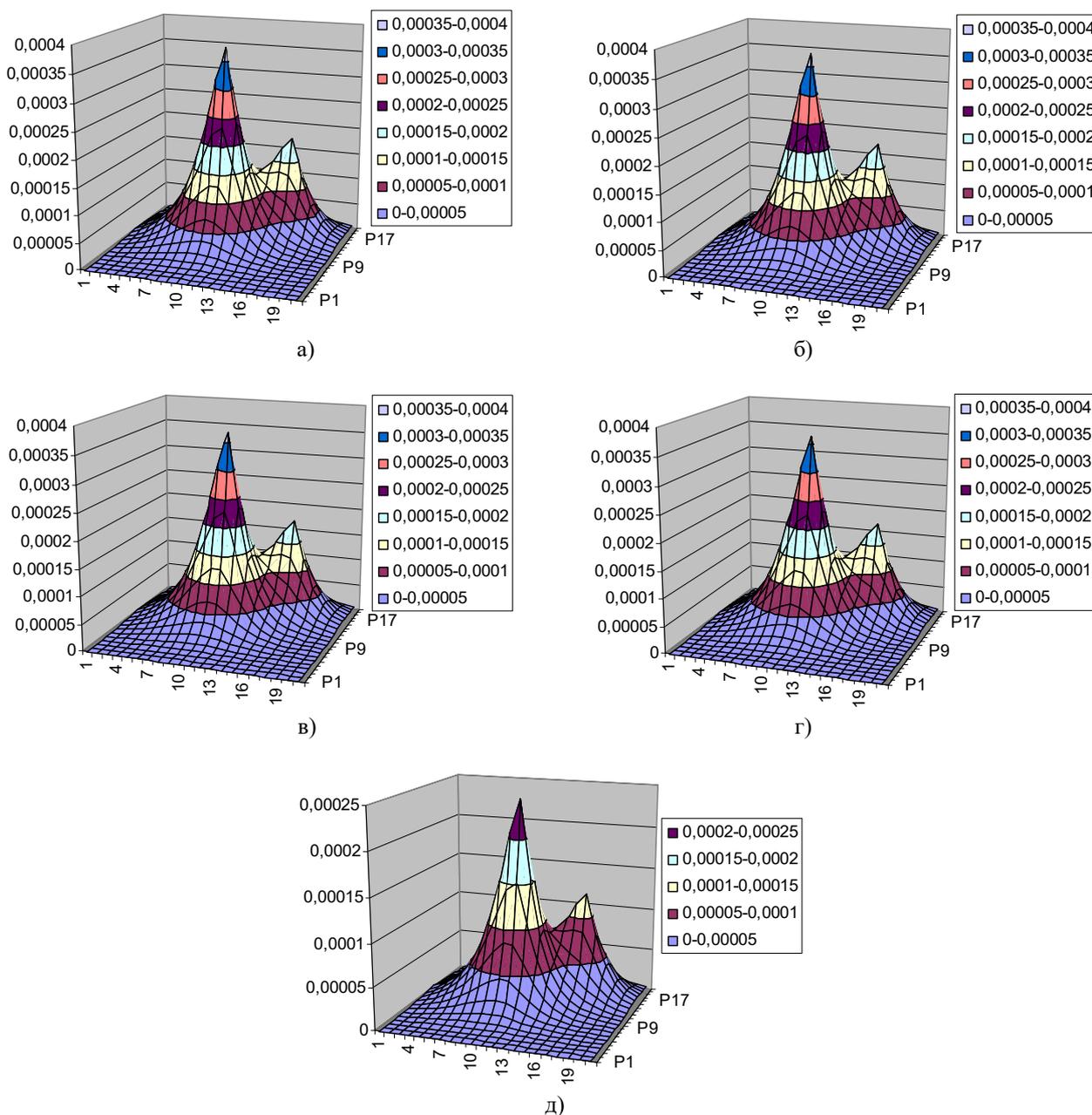


Рис. 8. Изменение концентрации вредных веществ во втором слое атмосферы ($H=200$ м) при начальной скорости осадения частиц:
 а) $w_g = 0,00015$ м/с.; б) $w_g = 0,0003$ м/с.; в) $w_g = 0,0006$ м/с.; г) $w_g = 0,0009$ м/с.; д) $w_g = 0,009$ м/с

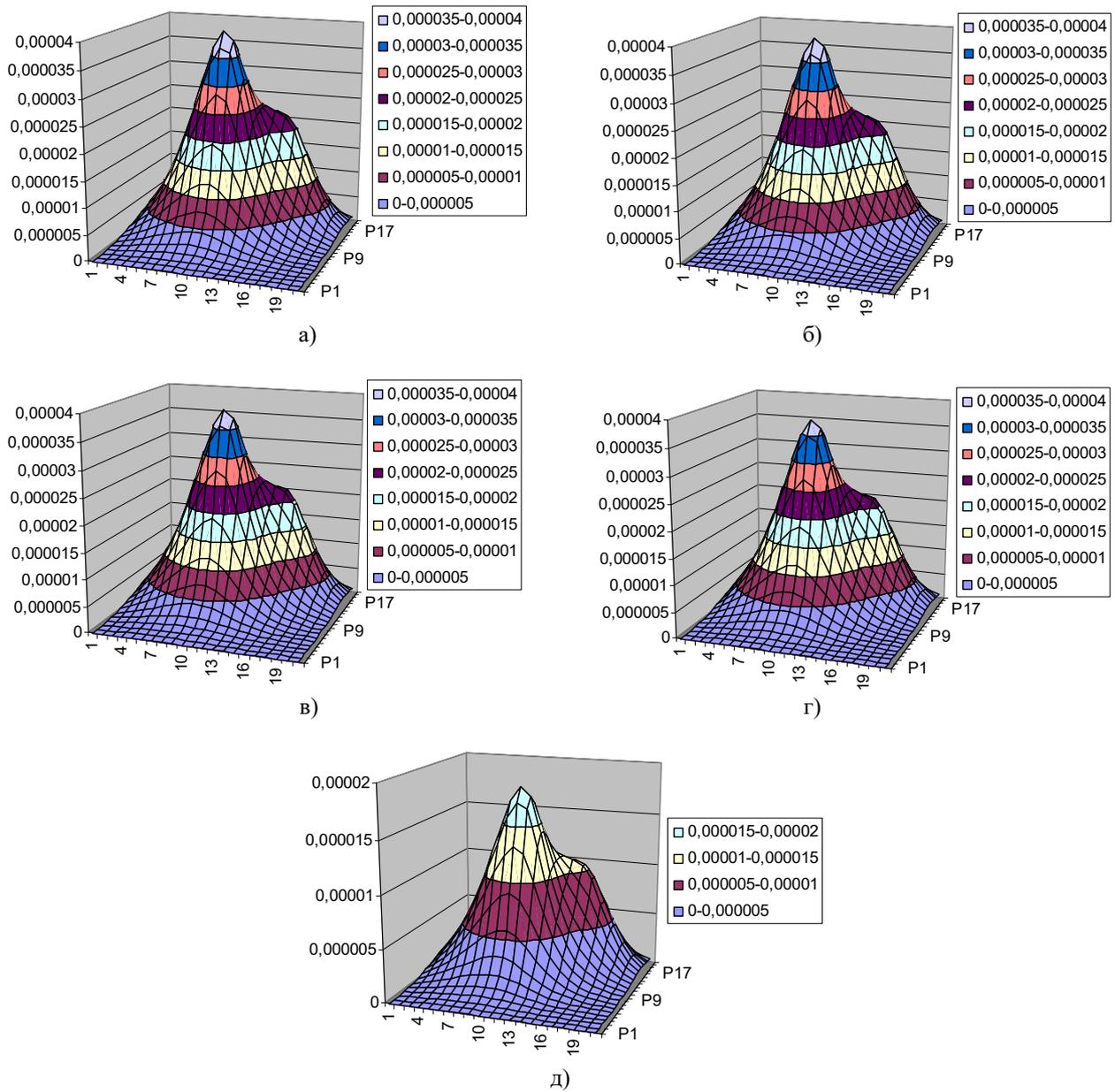
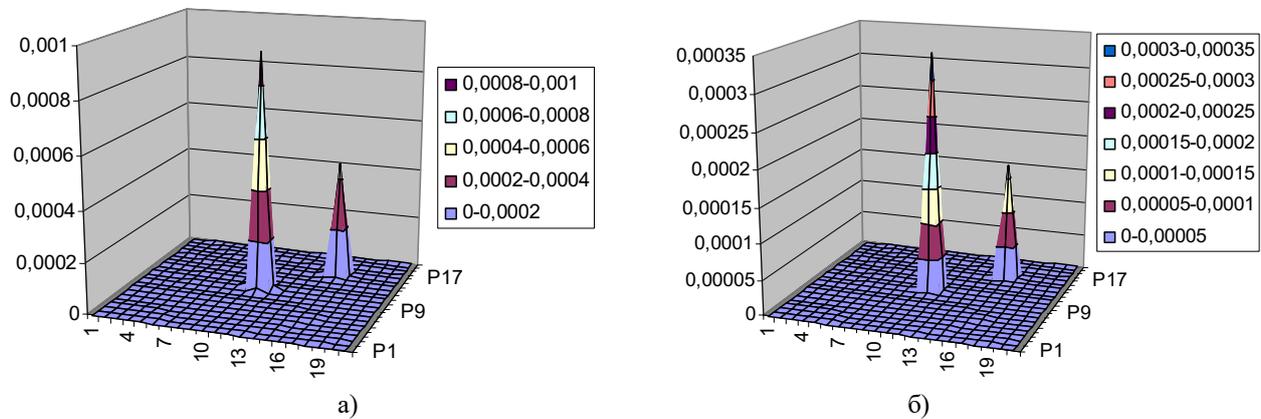


Рис. 9. Изменение концентрации вредных веществ в третьем слое атмосферы ($H=300\text{м}$) при начальной скорости осаждения частиц:

а) $w_g = 0,00015 \text{ м/с.}$; б) $w_g = 0,0003 \text{ м/с.}$; в) $w_g = 0,0006 \text{ м/с.}$; г) $w_g = 0,0009 \text{ м/с.}$; д) $w_g = 0,009 \text{ м/с}$



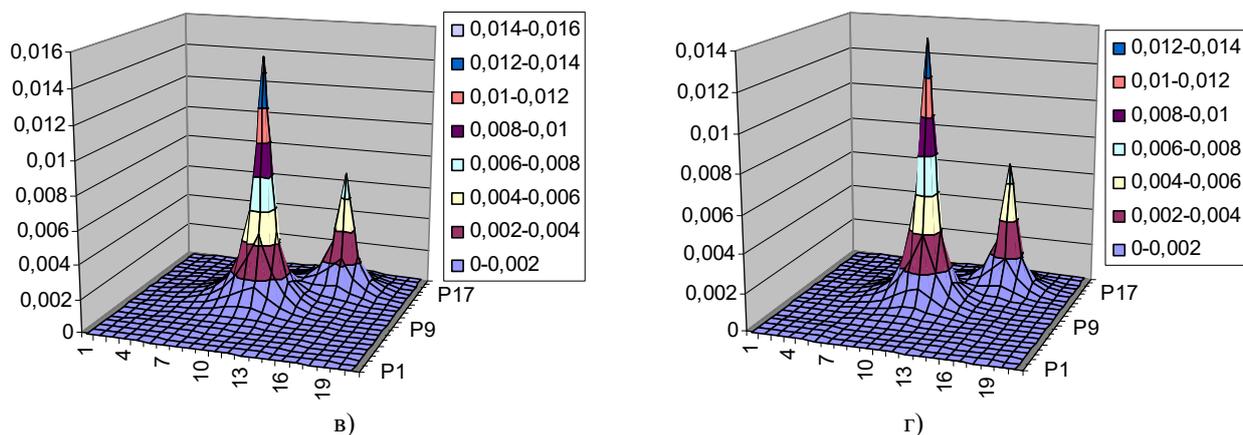


Рис. 10. Изменение концентрации вредных веществ в первом слое атмосферы ($H=100m$) для различных значений коэффициента поглощения: а) $\sigma = 10\%$; б) $\sigma = 20\%$; в) $\sigma = 30\%$; г) $\sigma = 40\%$

Численные расчеты на ЭВМ были проведены при различных значениях коэффициента поглощения частиц (рис. 10-12). Вычислительным экспериментом установлено, что от 10 до 18 процентов аэрозольные частицы поглощаются в атмосфере. Рост поглощения вредных веществ в

атмосфере зависит от влажного состояния воздушной массы атмосферы. Изменение коэффициента поглощения напрямую зависит от температуры и влажности атмосферы [16].

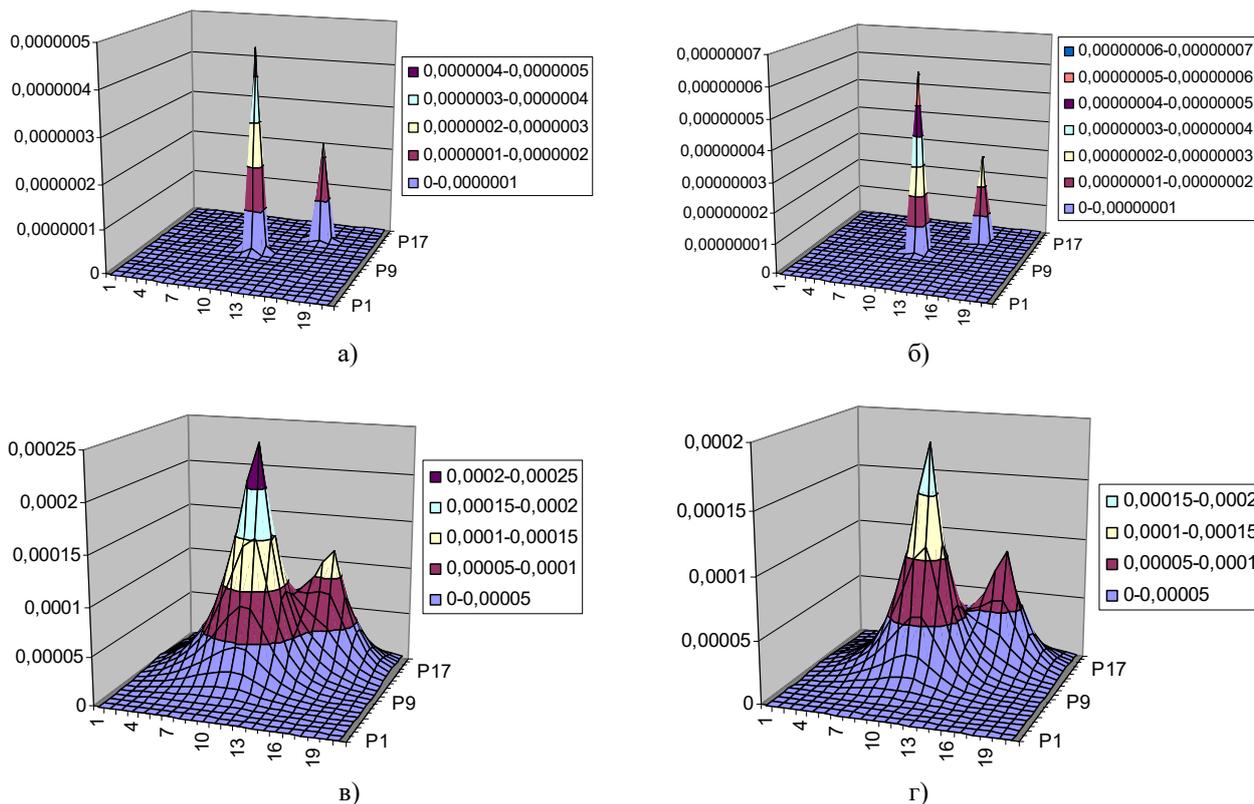


Рис. 11. Изменение концентрации вредных веществ во втором слое атмосферы ($H=200m$) для различных значений коэффициента поглощения: а) $\sigma = 10\%$; б) $\sigma = 20\%$; в) $\sigma = 30\%$; г) $\sigma = 40\%$

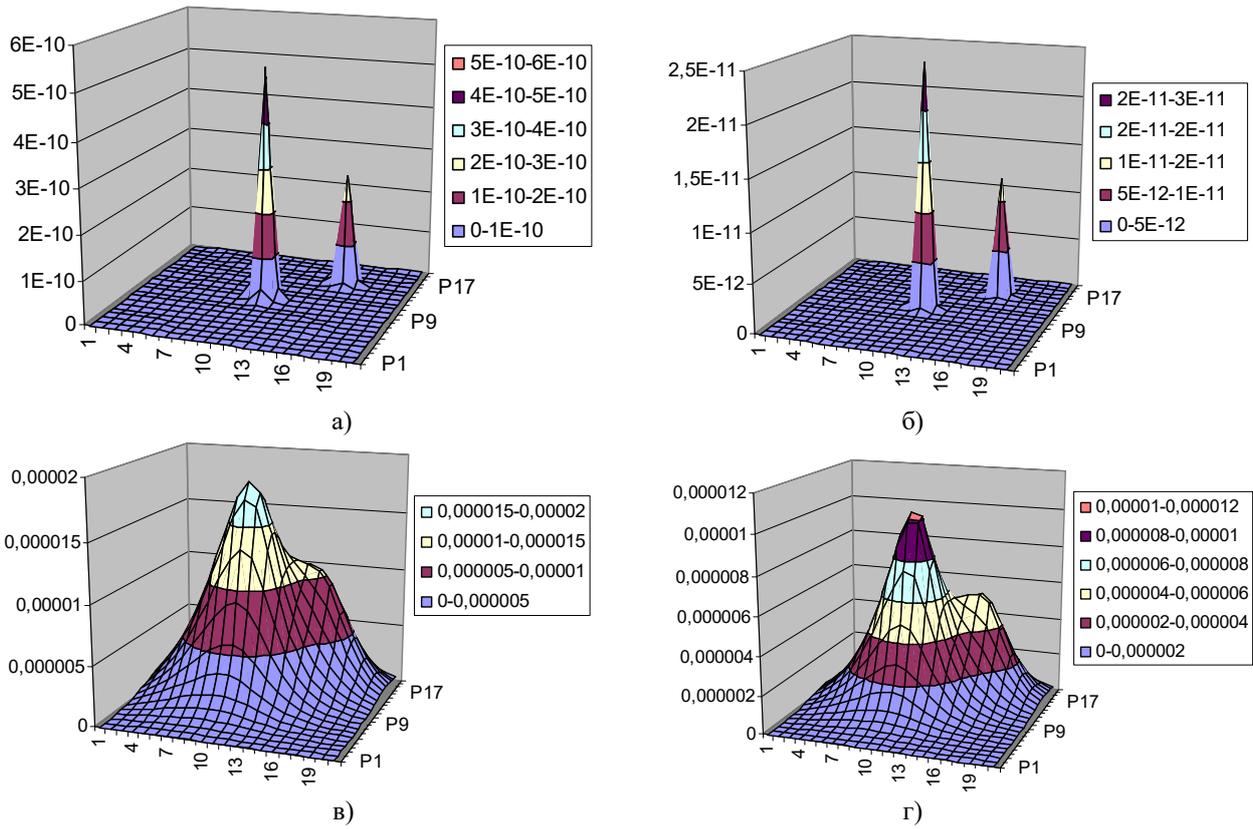


Рис. 12. Изменение концентрации вредных веществ в третьем слое атмосферы ($H=300m$) для различных значений коэффициента поглощения: а) $\sigma = 10\%$; б) $\sigma = 20\%$; в) $\sigma = 30\%$; г) $\sigma = 40\%$

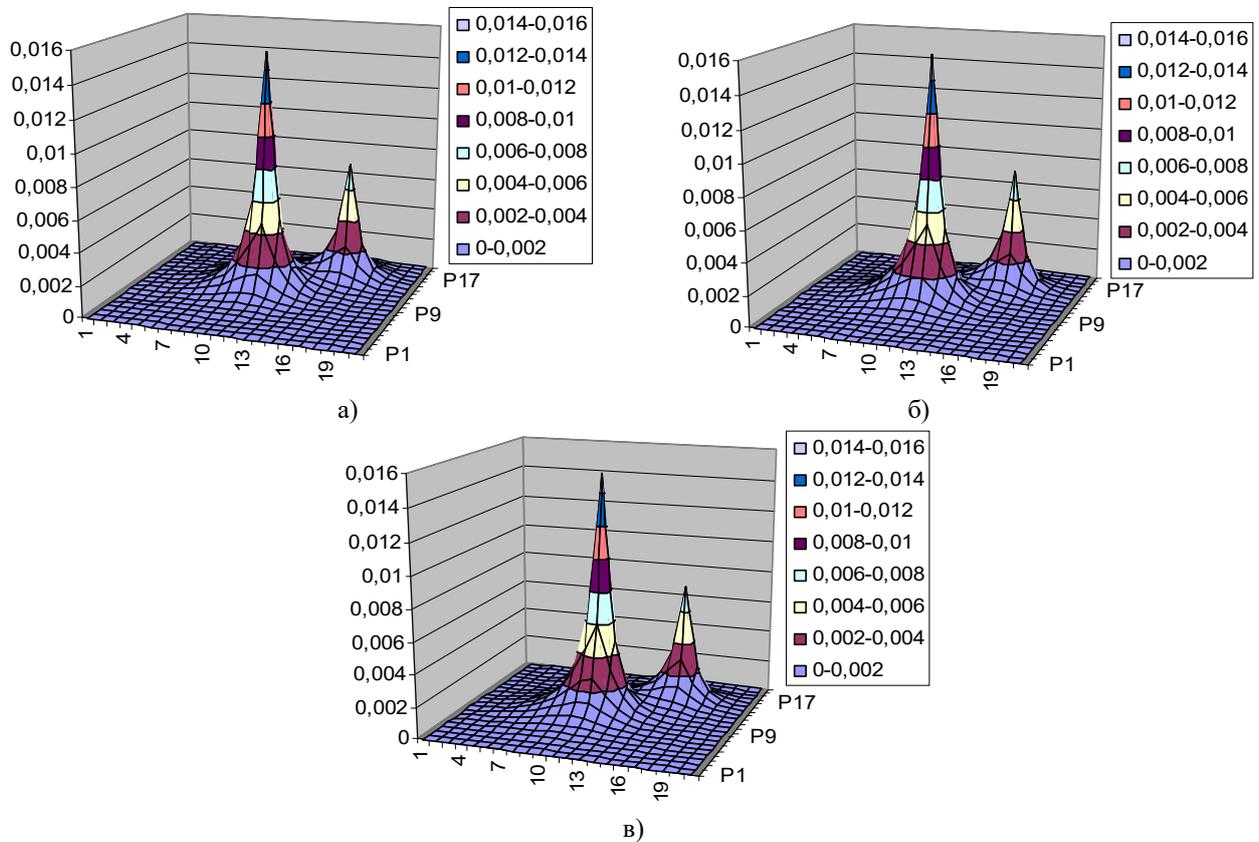


Рис. 13. Изменение концентрации вредных веществ в первом слое атмосферы ($H=100m$) для различных значений направления ветра: а) $\alpha = 45^\circ$; б) $\alpha = 85^\circ$; в) $\alpha = 120^\circ$

Другой параметр, который существенно влияет на горизонтальный перенос и диффузию вредных веществ в атмосфере – это направление скорости ветра по горизонтали (рис. 13-15). Как видно из проведенных расчетов на ЭВМ, направление ветра

сильно воздействует на процесс переноса вредных веществ в атмосфере при изменении H до 300 м. (рис. 15).

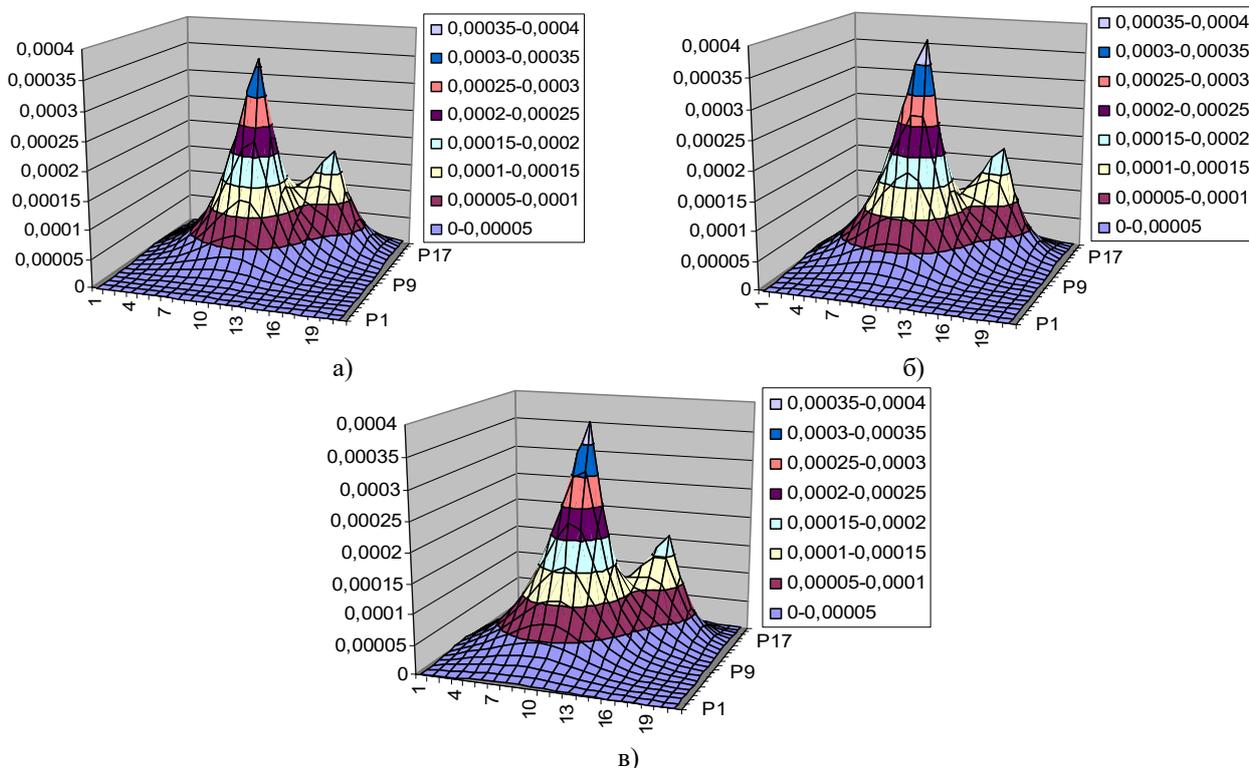


Рис. 14. Изменение концентрации вредных веществ во втором слое атмосферы ($H=200\text{м}$) для различных значений направления скорости ветра: а) $\alpha = 45^\circ$; б) $\alpha = 85^\circ$; в) $\alpha = 120^\circ$

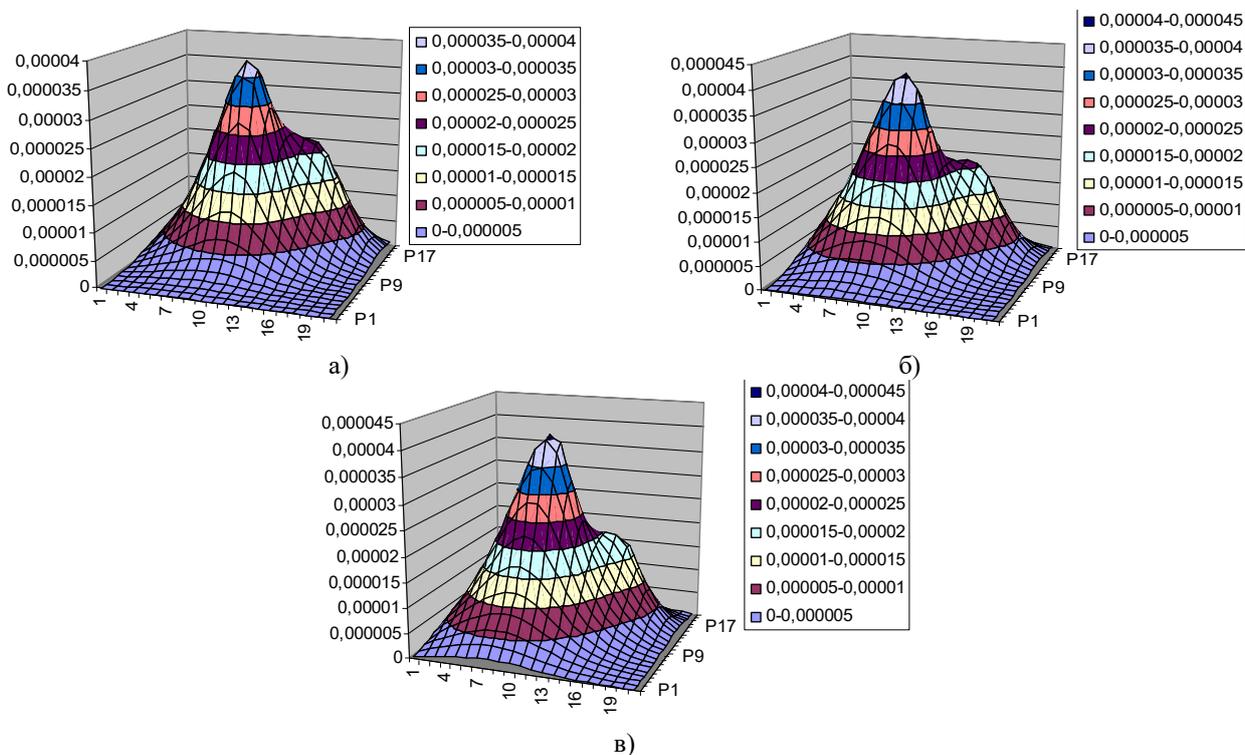


Рис. 15. Изменение концентрации вредных веществ в третьем слое атмосферы ($H=300\text{м}$) для различных значений направления скорости ветра: а) $\alpha = 45^\circ$; б) $\alpha = 85^\circ$; в) $\alpha = 120^\circ$

5. Заключение

Численными расчетами установлено, что изменение концентрации аэрозолей в атмосфере существенно зависит от коэффициента поглощения частиц в атмосфере. Этот параметр изменяется в зависимости от степени влажности воздушной массы атмосферы, времени года и суток. При этом максимальное поглощение вредных аэрозольных частиц в атмосфере характерно для утреннего и вечернего времени суток.

Вычислительным экспериментом установлено, что от 10 до 18 процентов аэрозольных частиц поглощаются в атмосфере. Рост поглощения вредных веществ в атмосфере зависит от влажного состояния воздушной массы атмосферы.

Проведенные численные расчеты на ЭВМ показали, что распространения аэрозольных частиц в атмосфере по вертикали зависит: во-первых, от первоначальной скорости осаждения частиц; во-вторых, от вертикальной скорости воздушной массы атмосферы; в-третьих, от физико-механических свойств частиц (радиус частиц; площадь поперечного сечения частиц) и свойства атмосферы (ρ плотность атмосферы); в-четвертых, от ускорения силы тяжести.

Анализ численных расчетов показал, что область распространения вредных веществ в приземном слое атмосферы расширяется с ростом скорости воздушной массы атмосферы. Особенно это можно наблюдать при $H=200-300$ м.

Проведенные численные эксперименты при различных направлениях и скоростях ветра показали, что на изменение концентрации аэрозольных выбросов в атмосфере непосредственно влияют эти параметры. Также установлено, что с увеличением мощности аэрозольных генераторов растет площадь области, где концентрация превышает допустимую санитарную норму. При неустойчивой стратификации ветра, область распространения

вредных веществ, имеет пикообразный характер, максимально увеличивается со временем причем за короткий его промежуток.

Расчетные данные показали, что в изменении скорости и направления ветров существенную роль играют возвышенности – холмы или горные хребты, находящиеся на открытом ландшафте. Над возвышенностями скорость ветра выше по сравнению с окружающей равнинной территорией. Так как область высокого давления фактически расширяется на некотором расстоянии до возвышенности, ветер изменяет свое направление прежде, чем достигнуть ее. Если воздушная масса встречается с крутым холмом с неровной поверхностью, то скорость ветра резко увеличивается, что приводит к росту коэффициента турбулентности. Скорость ветра возрастает с увеличением перепада атмосферного давления, а скорость воздушного потока падает у земли вследствие трения о шероховатости подстилающей поверхности;

Вычислительными экспериментами установлено, что при распространении вредных мелкодисперсных частиц в атмосфере особую роль играет учет коэффициента взаимодействия с подстилающей поверхностью.

При задании различных высот источника загрязнения было установлено, что при выбросах из высоких источников максимальные концентрации загрязнения фиксируются при опасных скоростях ветра (в пределах от 3 до 6 м/с в зависимости от скорости истечения газов из устья выбросных труб). Опасная скорость ветра в сочетании с неустойчивой стратификацией и интенсивным переносом примесей приводит к максимальному росту значения концентрации вредных веществ в приземном слое атмосфере. В таких случаях основную роль в рассеивании вредных веществ в атмосфере играют горизонтальные потоки.

Литература

- [1] Абдула Ж., Алтеев Т., Галагузова Т.А., Алдаберген Ш. Аналитическая модель переноса примеси атмосферного воздуха // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – Москва, 2016. – № 3. – С. 177-180.
- [2] Абдула Ж., Алтеев Т., Галагузова Т.А., Алдаберген Ш. Моделирование распространение вещества в нижнем слое атмосферы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – Москва, 2016. – № 3. – С. 174-176.
- [3] Омарова М.Н., Черепанова Л.Ю., Таханова Г.К., Глубоковских Л.К. Комплексная оценка загрязнения атмосферного воздуха крупного промышленного города // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – Москва, 2016. – № 12. – С. 822-827.
- [4] Яковенко И.В. Переход к пространственно-двумерной модели в задаче движения многокомпонентной воздушной среды в приземном слое с учетом насаждений // Вестник Таганрогского Государственного Педагогического Института. – Таганрог, 2017. – № 1. – С. 329-335.
- [5] Беляев Н.Н., Вергун О.А., Ковтун Ю.В. Моделирование процесса нейтрализации оксида фосфора в атмосфере // Наука Та Прогрес Транспорту. – Днепропетровск, 2009. – № 28. – С. 61-64.
- [6] Пилинько А.Н., Беляев Н.Н., Машихина П.Б. Моделирование процесса рассеивания тяжелого газа в атмосфере // Наука Та Прогрес Транспорту. – Днепропетровск, 2008. – № 25. – С. 81-83.
- [7] Беляев Н.Н., Славинская Е.С., Кириченко Р.В. Численные модели для прогноза загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта // Наука Та Прогрес Транспорту. – Днепропетровск, 2016. – № 6. – С. 25-32.

- [8] *Чистяков А.Е., Хачуни Д.С.* Программная реализация двумерной задачи движения воздушной среды // Известия ЮФУ. – Ростов-на-Дону, 2013. – № 4. – С. 15-21.
- [9] *Хазова С.В.* Математическая модель прогнозирования качества атмосферы промышленных городов // Вестник Оренбургского Государственного Университета. – Оренбург, 2005. – № 10-2. – С. 85-89.
- [10] *РусакOVA Т.И.* Исследование загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта в «уличных каньонах» города // Наука Та Прогрес Транспорту. – Днепропетровск, 2015. – № 1. – С. 23-34.
- [11] *Ravshanov N., Shertaev M., Toshtemirova N.* Mathematical Model for the Study and Forecast of the Concentration of Harmful Substances in the Atmosphere // American Journal of Modeling and Optimization. – 2015. – Vol. 3. – № 2. – PP. 35-39.
- [12] *Равшанов Н., Шарипов Д.К., Ахмедов Д.* Моделирования процесса загрязнения окружающей среды с учетом рельефа местности погодно-климатических факторов // Информационные технологии моделирования и управления – Воронеж, 2015. – №3. – С. 222-235.
- [13] *Ravshanov N., Sharipov D., Muradov F.* Computational experiment for forecasting and monitoring the environmental condition of industrial regions // Theoretical & Applied Science : International Scientific Journal. – 2016. – Vol. 35. – Issue 3. – Pp. 132-139. – DOI: <http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2016.03.35.22>.
- [14] *Sharipov D.* A Mathematical Model and Computational Experiment for the Study and Forecast of the Concentration of Harmful Substances in the Atmosphere // American Journal of Computation, Communication and Control. – 2016. – № 2(6). – Pp. 48-54.
- [15] *Равшанов Н., Шарипов Д.К.* Модель и численный алгоритм для исследования процесса распространения вредных веществ в атмосфере // Актуальные вопросы технических наук : материалы международной научной конференции. – Пермь, 2011. – С. 20-27.
- [16] *Раишанов Н.* Математическое моделирование процесса распространения загрязняющих веществ в атмосфере. – Ташкент: MUXR-PRESS, 2017. – 224 с.