

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

Sharipov D.K.<sup>1</sup>, Temirova D.Sh.<sup>2</sup> (Republic of Uzbekistan)  
Email: Sharipov518@scientifictext.ru

<sup>1</sup>Sharipov Daler Kuchkorovich - PhD, Associate Professor,  
DEPARTMENT OF MULTIMEDIA TECHNOLOGIES,  
TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES NAMED  
AFTER MUHAMMAD AL-KHARAZMIY, TASHKENT;

<sup>2</sup>Temirova Dilafruz Shavkatovna - Teacher of Informatics,  
SCHOOL № 43, NAVOI DISTRICT, KYZYLTEPA DISTRICT,  
REPUBLIC OF UZBEKISTAN

**Abstract:** *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.*

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

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ

Шарипов Д.К.<sup>1</sup>, Темирова Д.Ш.<sup>2</sup> (Республика Узбекистан)

<sup>1</sup>Шарипов Далер Кучкорович - PhD, доцент,  
кафедра мультимедийных технологий,  
Ташкентский университет информационных технологий им.  
Мухаммада ал-Харазми, г. Ташкент;

<sup>2</sup>Темирова Дилафруз Шавкатовна - учитель информатики,  
Школа № 43, Наваийский район, Кызылтепинский район,  
Республика Узбекистан

**Аннотация:** *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, выброшенных в окружающую среду из производственных объектов. Приведены результаты численных расчетов на ЭВМ.*

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

УДК 539.3

**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 определённом 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.

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.

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 моделей 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 задачи переноса и диффузии аэрозольных выбросов в пограничном слое атмосферы.

**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 [5-6]

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

и соответствующим им начальным и граничным условиями:

$$\theta(x, y, z, t)|_{t=0} = \theta^0(x, y, z); \quad w_g(0)|_{t=0} = w_g^0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=0} = \mu(\theta_t - \theta); \quad \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=L_x} = \mu(\theta_t - \theta); \quad (3)$$

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

$$k \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=0} = \beta \cdot \theta - f_0(x); \quad \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=H_z} = k(\theta_t - \theta). \quad (5)$$

Здесь  $\theta$  - концентрация вредных веществ в атмосфере;  $\theta_0$  - первичная концентрация вредных веществ в атмосфере;  $x, y, z$  - система координат;  $u, v, w$  - скорость ветра по трем направлениям;  $w_g$  - скорость осаждения частиц;  $\sigma$  - коэффициент поглощения вредных веществ в атмосфере;  $\mu, \lambda$  - коэффициенты диффузии и турбулентности;  $Q$  - мощность источника;  $\delta_{i,j}$  - функция Дирака;  $f_0$  - источник выброса вредных веществ в атмосферу.

**Методы решения задачи.** Так как, задача (1)-(5) 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 [6-10].

**Вычислительный эксперимент.** Для проведения численных расчетов на ЭВМ используется меню «расчет». Оно состоит из следующих команд:

- запуск программы;
- численное решение задачи по времени;
- расчет трехмерной задачи мониторинга и прогнозирование концентрации вредных веществ в атмосфере (рис. 1).

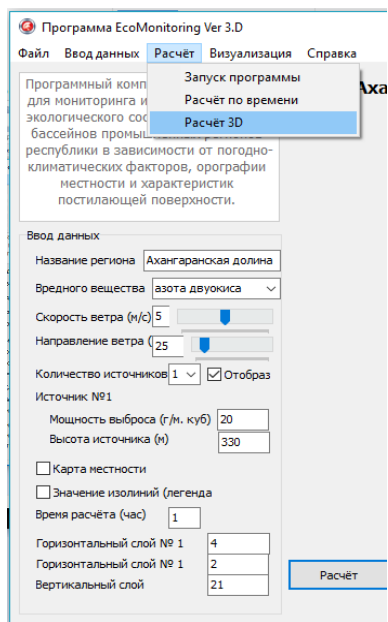


Рис. 1. Меню «Расчет»

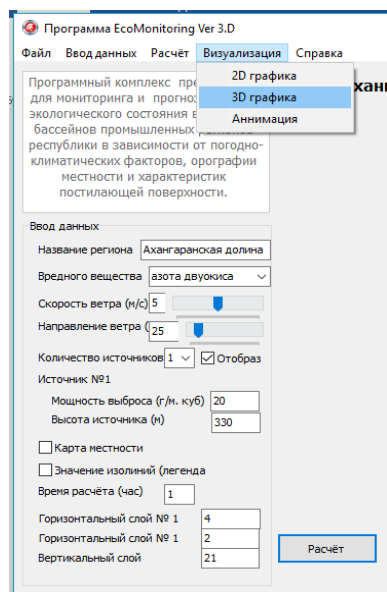


Рис. 2. Меню «Визуализация»

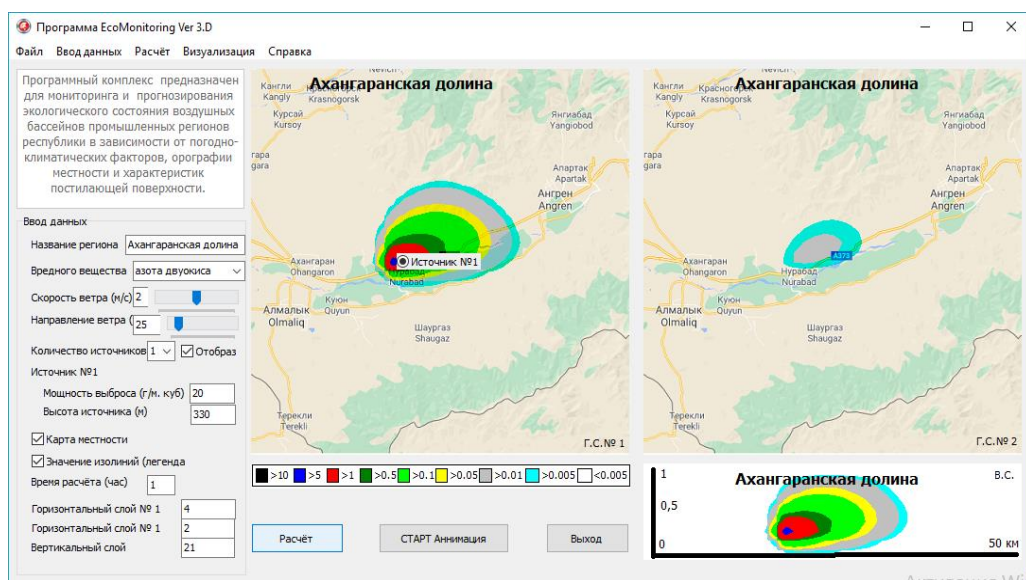


Рис. 3. Изменение концентрации двуокиси азота, выброшенной из объекта № 1 при скорости ветра 2 м/с и времени прогноза  $t = 1ч$  (Г.С.№ 1- концентрация на уровне 400 м., Г.С.№ 2 - концентрация на уровне 200 м., вертикальный слой)

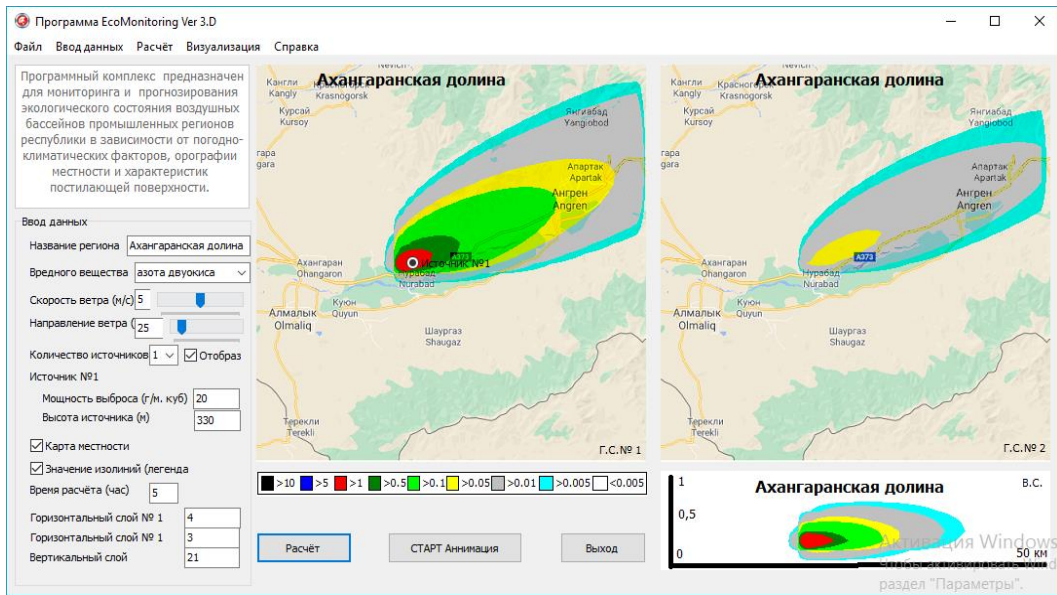


Рис. 4. Изменение концентрации двуокиси азота, выброшенной из объекта № 1 при скорости ветра 2 м/с и времени прогноза  $t = 5$  ч (Г.С. №2 – на высоте 300 м)

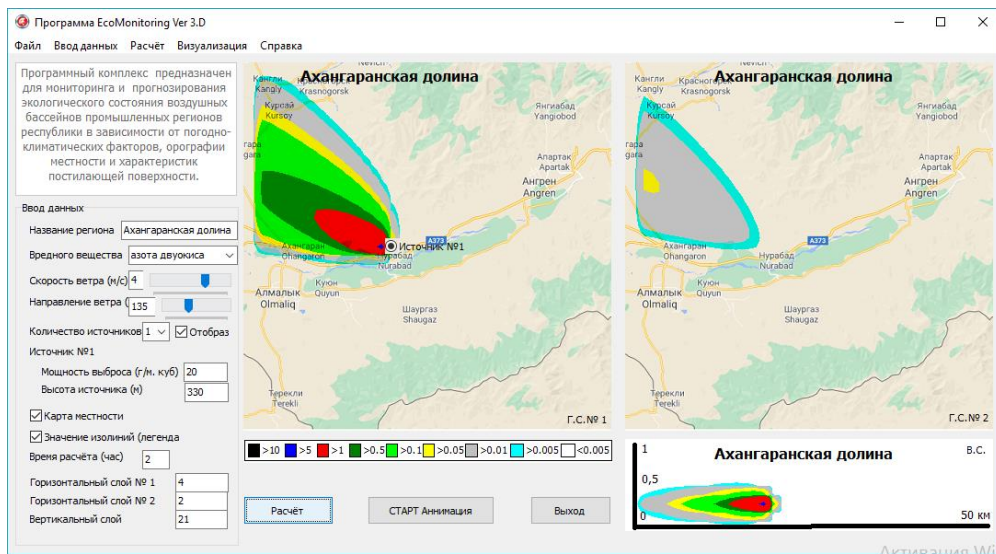
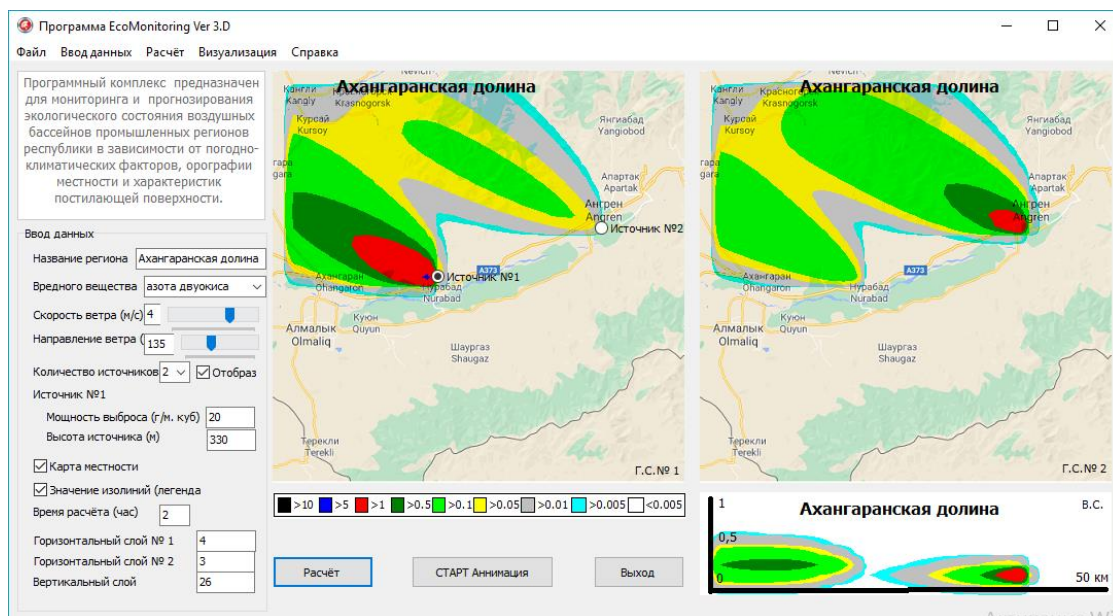


Рис. 5. Изменение концентрации двуокиси азота, выброшенной из объекта № 1 при скорости ветра 4 м/с, направлении ветра  $135^\circ$  и времени прогноза  $t = 2$  ч



*Рис. 6. Изменение концентрации двуокиси азота, выброшенной из двух объектов № 1 и № 2 при скорости ветра 4 м/с, направлении ветра 135°и времени прогноза  $t = 2$  ч*

Для интерпретации результатов проведенных численных расчетов на ЭВМ используется меню «визуализация» (рис. 2). С помощью основных команд можно интерпретировать результаты проведенных ВЭ на ЭВМ в виде двух- и трехмерных, а также анимационных объектов.

Для мониторинга и прогнозирования состояния воздушного и приземного слоя атмосферы региона на основе разработанного программного комплекса «EcoMonitoring ver. 3.D» проведены ВЭ на ЭВМ при изменении погодных-климатических факторов, орографии местности, физико-химических свойств поверхности земли и других возмущений, действующих на процесс распространения вредных веществ в атмосфере (рис. 3.-6.).

**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.

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.

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.

### *Список литературы / References*

1. *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.
2. *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.
3. *Равшанов Н., Шарипов Д.К., Ахмедов Д.* Моделирования процесса загрязнения окружающей среды с учетом рельефа местности погодноклиматических факторов // *Информационные технологии моделирования и управления.* Воронеж, 2015. № 3. С. 222-235.
4. *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>.
5. *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.
6. *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.

7. *Рашинов Н.* Математическое моделирование процесса распространения загрязняющих веществ в атмосфере. Ташкент: MUXR-PRESS, 2017. 224 с.
8. *Sharipov D., Muradov F., Akhmedov D.* Numerical Modeling Method for Short-Term Air Quality Forecast in Industrial Regions // Applied Mathematics E-Notes, Hsinchu (Republic of China), 2019. Vol. 19. Pp. 575-584.
9. *Sharipov D., Aynakulov Sh., Khafizov O.* Computer Modeling of Aerosol Emissions Spread in the Atmosphere // E3S Web of Conferences, 2019. Vol. 97, 05023. DOI: 10.1051/e3sconf/20199705023.