

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
ОМСКОЙ ОБЛАСТИ
ДЕПАРТАМЕНТ ОБЩЕСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АДМИНИСТРАЦИИ
ГОРОДА ОМСКА
ФГБОУ ВО Омский ГАУ
ОМСКАЯ РЕГИОНАЛЬНАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ «ЗЕМЛЯ – НАШ ОБЩИЙ ДОМ»
НАО «УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ШАКАРИМА ГОРОДА СЕМЕЙ»
МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

«ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021»

**XII Национальная научно-практическая конференция
(с международным участием)**

4-5 июня 2021 г.

Омск 2021

© ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2021
ISBN 978-5-89764-977-8

Пушкарева В.С. Историческое начало рекультивации и обзор современных технологий рекультивации земель.....	576
Равшанов Н., Шафиев Т.Р. Математическая модель для исследования процесс переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере с учётом орографии местности.....	582
Рыбакова А.В., Коржова Л.В. Охрана атмосферного воздуха на предприятии по переработке нефти.....	588
Рыбалова М.М. Методы экологического мониторинга для прогнозирования состояния ООПТ.....	593
Рыбалова М.М. Проектная деятельность как инновационный метод обучения экологии.....	600
Саитова Н.А., Демидова С.Ю. Ролевая игра «Защита окружающей среды»: тренировочная практика для детей программы дополнительного образования «Английский язык для школьников младших классов»	605
Саитова Н.А., Лебеденко О.Н. Использование массовых открытых онлайн курсов для развития иноязычной коммуникативной компетенции студентов неязыкового вуза (на примере обучающей программы «Нулевые отходы»).....	610
Самохвалова И.В., Баженова О.П. Видовой состав и таксономическая структура фитопланктона озер юга Омской области как показатель экологического состояния.....	615
Седых А.В., Королев В.А., Королев Е.В., Елецкая О.А. Влияние тирама на активность АЛТ и АСТ в печени крыс.....	621
Селезнева О.В. Использование когнитивных средств визуализации в обучении экологии иностранных военнослужащих	625
Семенова Н.Г., Исаичева А.В. Экологическое образование как условие развития зелёной экономики.....	631
Сенько О.В., Степанов Н.А., Ефременко Е.Н. Введение клостридиальных клеток в состав иммобилизованных анаэробных консорциумов для интенсификации процесса получения биогаза.....	636
Сергеева О.Н., Поползухина Н.А. Оценка уровня сформированности экологической культуры у обучающихся ФГБОУ ВО Омский ГАУ	639
Сибиркина А.Р., Логиновская А.Н. Оценка качества овощной продукции, реализуемой в торговых точках города Челябинска (на примере тыквы)	644

УДК 519.6+004.9:504.064

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕСС ПЕРЕНОСА И ДИФФУЗИИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ С УЧЁТОМ ОРОГРАФИИ МЕСТНОСТИ

Н. Равшанов¹, Т.Р. Шафиев²

*¹Научно-исследовательский институт развития цифровых технологий
и искусственного интеллекта ИЦ ИКТ при ТУИТ, Ташкент*

²Бухарский государственный университет

В статье рассматривается математическое моделирование процесса переноса и диффузии вредных веществ в пограничном слое атмосферы. Разработанном нелинейном математическом модели мониторинга и прогнозирования распространения промышленных выбросов в атмосфере учитывается два существенных параметра – скорости перемещения мелкодисперсных субстанции в атмосфере и орография местности рассматриваемого региона. Для решения задачи разработан численный алгоритм со вторым порядком точности по времени и пространственным переменным. На основе разработанной математической модели эффективного численного алгоритма был создан программный комплекс для проведения вычислительные эксперименты на компьютере.

Ключевые слова: математическая модель, перенос и диффузия вредных веществ, численный алгоритм.

N. Ravshanov, T. Shafiev

MATHEMATICAL MODEL FOR RESEARCHING THE PROCESS OF TRANSPORT AND DIFFUSION OF HARMFUL SUBSTANCES IN THE ATMOSPHERE TAKING INTO ACCOUNT THE OROGRAPHY OF THE AREA

The article discusses the modeling of the process of transport and diffusion of harmful substances in the boundary layer of the atmosphere. In the developed nonlinear mathematical modeling and forecasting of the distribution of industrial emissions in the atmosphere, two parameters are taken into account - the speed of movement of fine substances in the atmosphere and the orography of the terrain of the region under consideration. For the solution problem, a numerical algorithm has been developed with the second order of accuracy in time and second variables. On the basis of the developed

mathematical model of an effective algorithm, a software package was created for carrying out computational experiments on a computer.

Keywords: mathematical, transport and diffusion of harmful substances, numerical algorithm.

Введение. Загрязнение воздуха можно значительно снизить, расширив исследования над «экологической проблемой» мирового масштаба и математическое моделирование может претендовать на роль «решения» этих задач и принятия управленческих решений. Потому что, математическое моделирование, является эффективным инструментом для оценки и анализа качества воздуха и защита их от загрязняющих веществ. Из анализа проведенных многолетних наблюдений следует, что ни одна стратегия сокращения выбросов и контроля не может быть экономически эффективной без серьезного предварительного применения методов математического моделирования выше указанной задачи. За последние годы учёными разработаны математические инструменты для исследования, прогнозирования и мониторинга экологического состояния промышленных регионов, которые основывается на математическую модель [1, 2], численного алгоритма [3] и программного средства для проведения вычислительных экспериментов на ЭВМ и получены значительные теоретические и прикладные результаты по выше указанной проблемой.

Методы. Для исследования процесса переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере с учетом с учётом существенных параметров u_q, v_q, w_q составляющие скорости частиц по направлениям x, y, z соответственно и орографии местности рассмотрим математическую модель, описывающую на основе закона гидродинамике с помощью многомерного дифференциального уравнения в частных производных:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u_q \frac{\partial h\theta}{\partial x} + v_q \frac{\partial h\theta}{\partial y} + w_q \frac{\partial h\theta}{\partial z} + \sigma h\theta = \mu \left(\frac{\partial^2 h\theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h\theta}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\kappa \frac{\partial h\theta}{\partial z} \right) + \delta Q; \quad (1)$$

$$m \frac{du_q}{dt} = c_f \pi r^2 \rho_s (u_q - U)^2; \quad (2)$$

$$m \frac{dv_q}{dt} = c_f \pi r^2 \rho_s (v_q - U)^2; \quad (3)$$

$$m \frac{dw_q}{dt} = -\frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_q - \rho_s) g - k_f \mu_s \pi r w_q + F_n \quad (4)$$

с соответствующими начальными

$$\theta(x, y, z, 0) = \theta^0(x, y, z), \quad u_q(0) = u_q^0, \quad v_q(0) = v_q^0, \quad w_q(0) = w_q^0, \quad \text{при } t = 0 \quad (5)$$

и граничными условиями

$$-\mu \frac{\partial h \theta}{\partial x} \Big|_{x=0} = \xi h (\theta_s - \theta); \quad \mu \frac{\partial h \theta}{\partial x} \Big|_{x=L_x} = \xi h (\theta_s - \theta); \quad (6)$$

$$-\mu \frac{\partial h \theta}{\partial y} \Big|_{y=0} = \xi h (\theta_s - \theta); \quad \mu \frac{\partial h \theta}{\partial y} \Big|_{y=L_y} = \xi h (\theta_s - \theta); \quad (7)$$

$$-\kappa \frac{\partial h \theta}{\partial z} \Big|_{z=0} = \xi h (\beta \theta - Q_0); \quad \kappa \frac{\partial h \theta}{\partial z} \Big|_{z=H} = \xi h (\theta_s - \theta); \quad (8)$$

Здесь $U = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}$, θ – концентрация распространяющегося вещества; h – параметр для определения рельефа местности; σ – коэффициент поглощения вредных веществ в атмосфере; μ – коэффициент диффузии; κ – коэффициент турбулентности; δ – функция Дирака; Q – мощность источников; θ^0 – первичная концентрация вредных веществ в атмосфере; m – масса частицы; c_f – коэффициент лобового сопротивления частиц; r – радиус частицы; ρ_s – плотность воздуха; ρ_q – плотность частиц; g – ускорения свободного падения; k_f – коэффициент формы тела для силы сопротивления; μ_s – вязкость воздуха; F_n – подъёмная сила воздушного потока; β – коэффициент взаимодействия с подстилающей поверхностью; Q_0 – количество аэрозольных частиц оторвавшихся от шероховатости земной поверхности; ξ – коэффициент для проведения граничного условия к размерному виду; θ_s – концентрация взвешенных веществ в соседних областях решаемых задач.

Так как, поставленная задача (1) – (8) описывается многомерным нелинейным дифференциальным уравнением в частных производных с соответствующими начальными и краевыми условиями, то найти ее точное решение в аналитической форме затруднительно. Для решения задачи используем неявную конечно-разностную схему по времени со вторым порядком точности соответственно по x, y, z . Подробно о методе решения задачи (1) – (8) приведено в наших работах [4, 5].

Результаты. В рамках данного исследования разработан объектно-ориентированный программно-инструментальный комплекс, включающий в себя ряд связанных программных средств, разработанных с помощью современных, наиболее широко распространенных технологий, таких как Microsoft Visual Studio (язык C#), Фреймворки Microsoft .NET Framework 4.6.2, наборы библиотек визуализации Pnumerics и др.

Проведены вычислительные эксперименты для изучения процесса переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере с учетом орографии рассматриваемой территории.

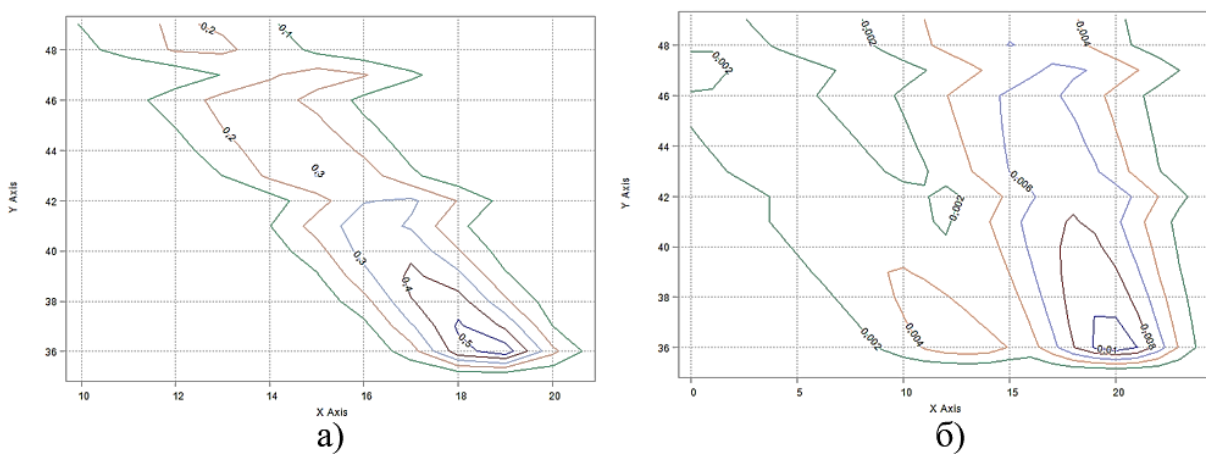


Рис. 1. Результат вычислительных экспериментов с учетом орографии рассматриваемой местности для исследования процесса переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере ($z=10$ м)

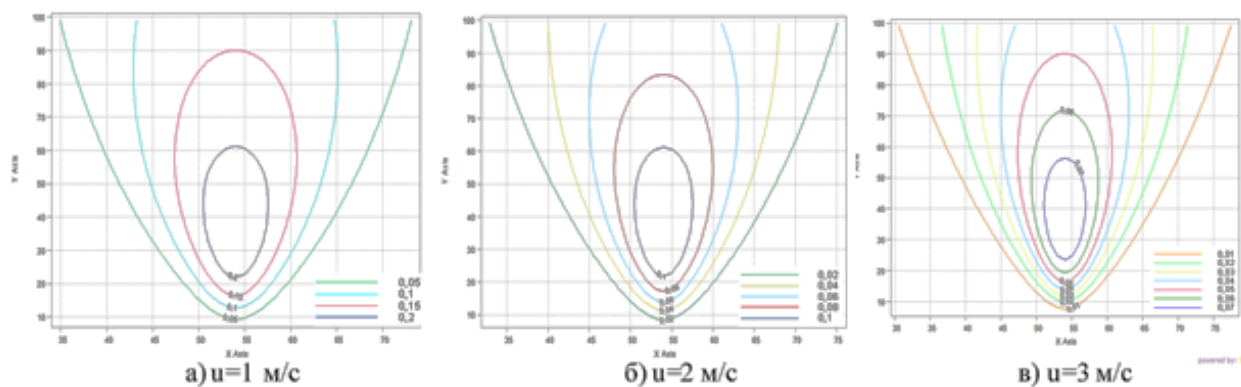


Рис. 2. Визуализация процесса переноса и диффузии оксида серы (IV) при разных скоростях ветра ($ПДК=0,05$ мг/м³).

На рисунке 2 можно видеть, что при учете параметра h орографии рассматриваемой территории как одного из основных параметров в математической модели, тогда можно видеть, что вредные вещества

распространяются по местности неравномерно. При выбросе вредных веществ из источника и распространения их в атмосфере после прохождения частицей орографии местности, т. е. $h=1$, процесс переноса и диффузии проходит равномерно (рис. 2).

В соответствии с результатами проведенных вычислительных экспериментов можно сказать, что на горизонтальную и вертикальную скорость частиц вредных веществ наряду со скоростью ветров разных направлений также подтверждено сильное воздействие физико-механических свойств рассматриваемого вредного вещества (радиус, плотность, масса и другие свойства частицы).

Заключение. Разработана трехмерная нелинейная математическая модель мониторинга и прогнозирования процесса переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере с учетом физико-механических свойств частиц, выбрасываемых в атмосферу, а также орографию рассматриваемой территории.

На основе проведенных вычислительных экспериментов отмечается влияние некоторых свойств вредных веществ при распространении в атмосфере. В частности, определено воздействие на концентрацию вредных веществ в атмосфере таких параметров как климатические факторы (скорость и направление ветра, температура и влажность окружающей среды); орография рассматриваемой местности; физико-механические свойства вредных веществ.

Библиографический список

1. Алоян А.Е. Динамика и кинетика газовых примесей и аэрозолей в атмосфере. М: ИВМ РАН, – 2002. – 201 с.
2. Марчук Г.. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М: Наука, – 1982. – 320 с.
3. Тихонов В.И., Самарский А.А. Уровнения математической физики. Москва: ФИЗМАТЛИТ, – 1979. – 742 с.
4. Ravshanov N., Shafiev T.R., Daliev S. Study of the main factors affecting the spread of aerosol particles in the atmosphere // J. Phys. Conf. Ser. IOP Publishing, 2021. № 1791.
5. Ravshanov N., Shafiev T.R. Numerical study process distribution of contaminated substances in the atmosphere taking into account the physical and mechanical properties of particles // Bull. TUIT Manag. Commun. Technol. 2021. Vol. 4, № 2(46). pp. 10-15.

Сведения об авторах

Равшанов Нормакмад, доктор технических наук, профессор, зав.лаб. Научно-исследовательского института развития цифровых технологий и искусственного интеллекта, ravshanzade-09@mail.ru, тел. (998) 71-231-92-45.

Шафиев Турсун Рустамович, аспирант Бухарского государственного университета, tursunshafiyev@gmail.com, (998) 99-709-80-20.

Ravshanov Normakhmad, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Laboratory. Research Institute for the Development of Digital Technologies and Artificial Intelligence, ravshanzade-09@mail.ru, tel. (998) 71-231-92-45.

Shafiev Tursun Rustamovich, Phd student, tursunshafiyev@gmail.com, (998) 99-709-80-20.