УДК 519.6:504.064.2.001.18

HARAKATSIZ VA CHEKSIZ MUHITDA IFLOSLANTIRUVCHI MODDALARNING DIFFUZIYA JARAYONINI MATEMATIK MODELLASHTIRISH

Nazarov E.S.
Buxoro davlat universiteti
Shafiyev T.R.
Buxoro davlat universiteti
Nazarov Sh.E.
Buxoro davlat universiteti

Anotatsiya: Ushbu maqolada o‘simlik elementlari tomonidan zarrachalarning yutilishini hisobga olgan holda, harakatsiz va cheklanmagan muhitda ifloslantiruvchi moddalarning diffuziya jarayonini tavsiflovchi matematik model hamda uni yechish uchun sonli algoritm ishlab chiqildi. Modelni sonli yechishda oshkormas (implicit) farqlash sxemasidan foydalanildi. Taklif etilgan model asosida veb-dastur ishlab chiqildi va uning yordamida bir qator ilmiy-tadqiqot eksperimentlari o‘tkazilib, natijalar tahlil qilindi.

Kalit so’zlar: Hisobiy tajribalar, matematik model, sonli yechim, diffuziya, diffuziya jarayoni, approksimasiya, konsentratsiya.

Annotation: In this study, a mathematical model and numerical algorithm are developed to describe the diffusion process of pollutants in a stationary and unbounded medium, taking into account the uptake of particles by plant elements. An implicit finite difference scheme is employed for the numerical solution of the model. Based on the proposed model, a web-based application was created, and several computational experiments were conducted, with the results analyzed accordingly.

Keywords: Computational experiments, mathematical model, numerical solution, diffusion, diffusion process, approximation, concentration.

Аннотация: В данной работе разработаны математическая модель и численный алгоритм, описывающие процесс диффузии загрязняющих веществ в неподвижной и неограниченной среде с учётом поглощения частиц элементами растений. Для численного решения модели использована неявная разностная схема. На основе предложенной модели создано веб-приложение, с помощью которого проведён ряд вычислительных экспериментов, результаты которых были проанализированы.

Ключевые слова: Вычислительные эксперименты, математическая модель, численное решение, диффузия, процесс диффузии, аппроксимация, концентрация.

Kirish.

ISSN 3030-3907

So‘nggi o‘n yilliklarda sanoatlashuvning jadal rivojlanishi natijasida ekologik muammolar tobora dolzarb masalaga aylangan. Ayniqsa, havoning ifloslanishi inson salomatligi va atrof-muhit uchun katta xavf tug‘diradi. Zavodlar, korxonalar va boshqa sanoat obyektlari tomonidan chiqariladigan zaharli gazlar atmosferaga zararli moddalarni singdirib, havo sifatining pasayishiga olib keladi. Bu ifloslantiruvchi moddalar nafaqat nafas olish yo‘llari kasalliklarini kuchaytiradi, balki o‘simliklar, hayvonot dunyosi va umuman ekosistemalarning barqarorligiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Shuning uchun havoning ifloslanishining manbalarini aniqlash, ularni kamaytirish va ekologik muvozanatni saqlash dolzarb ilmiy va amaliy vazifa sifatida oldimizda turibdi.

Havoning ifloslanishi - bu yer atmosferasida inson salomatligiga, atrof-muhitga va ekotizimlarga zarar yetkazishi mumkin bo‘lgan zararli moddalar yoki ifloslantiruvchi elementlarning mavjudligidir. Atmosferaga tashlanadigan chiqindilarning tarqalishi - bu fazo va vaqtga bog‘liq bo‘lgan murakkab jarayondir. Ushbu jarayonni boshqaruvchi jumladan, boshqaruv va qaror qabul qilish omillari ham fazoda tarqalgan holda ta’sir ko‘rsatadi. Bu holat texnik tahlilni, masalan, geografik axborot tizimlari (GAT) yoki boshqa murakkab modellar yordamida o‘tkazishga imkon beradi. Atmosferadagi zararli moddalarning tarqalishini modellashtirish ifloslantiruvchi moddalar havoda qanday harakatlanishini tahlil qilishdan iborat. Ushbu tahlil ifloslanishning konsentratsiyasini, tarqalish yo‘nalishini baholash va sanoat faoliyati, transport oqimi, qurilish, qishloq xo‘jaligi yoki konchilik natijasida yuzaga keladigan atmosferadagi zararli moddalarning to‘planish zonalarini aniqlash uchun qo‘llaniladi.

So‘nggi yillarda olimlar matematik modellar asosida raqamli algoritmlar va dasturiy ta’minotlarni ishlab chiqib, sanoat hududlaridagi atrof-muhit holatini o‘rganish uchun kompyuter hisob-kitob eksperimentlarini olib bormoqdalar.
Maqola [1] atmosferada aerozol zarralarining tarqalishi keng ko‘lamda modellashtirilgan va bu jarayonda havo zarralarining o‘simlik komponentlariga yutilishi hisobga olingan. Shahar ko‘chalarida atmosfera oqimi va zarrachalarning tashilishi birgalikda modellashtirilgan. O‘tkazilgan modellashtirish natijalari shuni ko‘rsatdiki, havo zarralarining kontsentratsiyasi o‘simlik komponentlariga yutulishi sababli kamayishi isbotlangan va bu natijalarda o’z aksini topgan.

Tadqiqot [2] mualliflari atmosferada zararli moddalarning tarqalishini matematik model asosida sonli tadqiq qilingan. Maqolada ifloslantiruvchi moddalarni atmosferada tarqalishini modellashtirishga yordam beruvchi ko‘p o‘lchovli yondashuvlar yoritilgan. Modellashtirish usullari atrof-muhitni nazorat qilish va ifloslanish manbalarini aniqlash bilan bog‘liq bo‘lgan tashish xatti-harakatlarini chuqurroq tushunishga imkon beradi. Maqolada atmosferani ifloslantiruvchi moddalarning miqdorini bashorat qilish uchun Gauss, Eyler va

ISSN 3030-3907

Lagranj modellashtirish usullari tasvirlangan hamda atmosfera sharoitlari va tarqalishning hududiy xususiyatlari muhokama qilingan.

Maqola [3] yo‘l atrofidagi havo ifloslanishini kamaytirishda to‘siqlardan foydalanishning dolzarbligi va samaradorligini tahlil qilganlar. Tadqiqotda turli xil yo‘lbo‘yi to‘siqlari, jumladan, uzluksiz jismoniy to‘siqlar (masalan, shovqinga qarshi ekranlar yoki devorlar) hamda o’simliksimon to‘siqlar (masalan, daraxt yoki buta qatlamlari)ning ifloslantiruvchi moddalar kontsentratsiyasini kamaytirishdagi ta’siri ko‘rib chiqilgan. Ishda tadqiqot hududini tanlash va havo sifatini monitoring qilish stansiyalarini o‘rnatish orqali amaliy kuzatuvlar o‘tkazilgan.

O‘rmon massivlari ortidagi hududda issiqlik, namlik va ifloslantiruvchi moddalarga o‘xshash skalyar miqdorlarning kontsentratsiyasi va oqimlari qanday o‘zgarishini maqola [4] mualliflari tahlil qilganlar. Ushbu hodisani o‘rganish uchun ular yirik masshtabli turbulentlik simulyatsiyasi (LES) asosida raqamli modellashtirish usulidan foydalangan. Modellashtirish natijalari Germaniyada o‘tkazilgan eksperimentlar orqali olingan amaliy ma’lumotlar bilan solishtirilgan.

Ushbu yondashuvdan kelib chiqib, mazkur ishda atmosfera muhitida aerozol zarralarining ko‘chishi va diffuziya jarayonlari modellashtirilgan bo‘lib, bu jarayonda o‘simlik elementlari tomonidan zarralarning yutilishi inobatga olingan. Bu esa o‘simliklarning havodagi aerozol zarralarining transport va tarqalish jarayonlariga ko‘rsatadigan ta’sirini tahlil qilish imkonini beradi, chunki o‘simliklar ushbu zarralarni o‘z sathida ushlab qolish xususiyatiga ega.

Masalaning qo‘yilishi. Atmosferadagi zararli moddalarning tarqalishi diffuziya jarayonini tavsiflovchi matematik tenglama quyidagi ko‘rinishga ega [5]:

$$\frac{\partial\theta}{\partial\tau}=\frac{\partial}{\partial z}\left(\kappa\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)+\mu\left[\frac{\partial^2\theta}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\theta}{\partial y^2}\right]-\theta(G+\eta)+P(x,y,z); \qquad (1)$$

mos chegara shartlari bilan:

$$\theta\big|_{t=0}=\theta^0; \qquad (2)$$

$$-\mu\frac{\partial\theta}{\partial x}\bigg|_{x=0}=\xi(\theta_E-\theta); \qquad \mu\frac{\partial\theta}{\partial x}\bigg|_{x=L_x}=\xi(\theta_E-\theta); \qquad (3)$$

$$-\mu\frac{\partial\theta}{\partial y}\bigg|_{y=0}=\xi(\theta_E-\theta); \qquad \mu\frac{\partial\theta}{\partial y}\bigg|_{y=L_y}=\xi(\theta_E-\theta); \qquad (4)$$

$$-\kappa\frac{\partial\theta}{\partial z}\bigg|_{z=0}=(\beta\theta-f_0); \qquad \kappa\frac{\partial\theta}{\partial z}\bigg|_{z=H_z}=\xi(\theta_E-\theta).$$

Masalani yechish usuli. Masalani yechish uchun sonli algoritm ishlab chiqildi. Hisoblash jarayonini soddalashtirish maqsadida (1)-(5) tenglamalar bilan ifodalangan masala to‘g‘ri to‘rtburchak shaklidagi sohada ko‘rib chiqiladi,

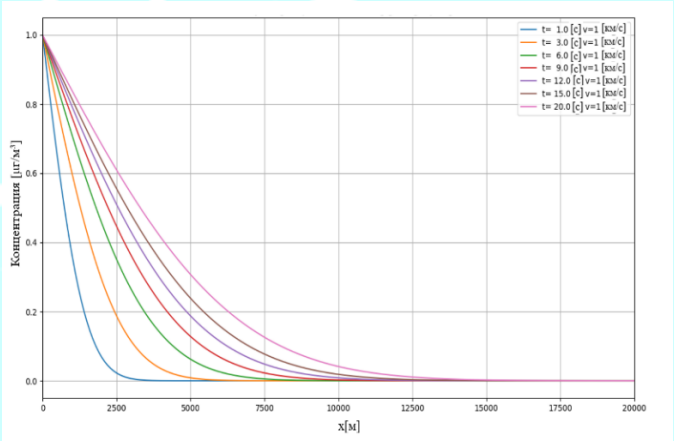
ISSN 3030-3907

ifloslantiruvchi modda manbai esa yer yuzasida joylashgan deb hisoblanadi. Shunday qilib, (1)-(5) tenglamalar bilan ifodalangan masalaning sonli yechimini topishda izlanayotgan o‘zgaruvchining aniqlanish sohasi, berilgan chegara shartlarini inobatga olgan holda, to‘r (diskret) soha bilan qoplanadi [6–8].

Vaqt va fazoviy o‘zgaruvchilar bo‘yicha yuqori tartibli yaqinlashtirishni hamda hisoblash jarayonining barqarorligini ta’minlash uchun (1)-tenglamani Ox, Oy, Oz yo‘nalishlari bo‘yicha yechishda oshkormas (implicit) farqlash sxemasi qo‘llaniladi [9].

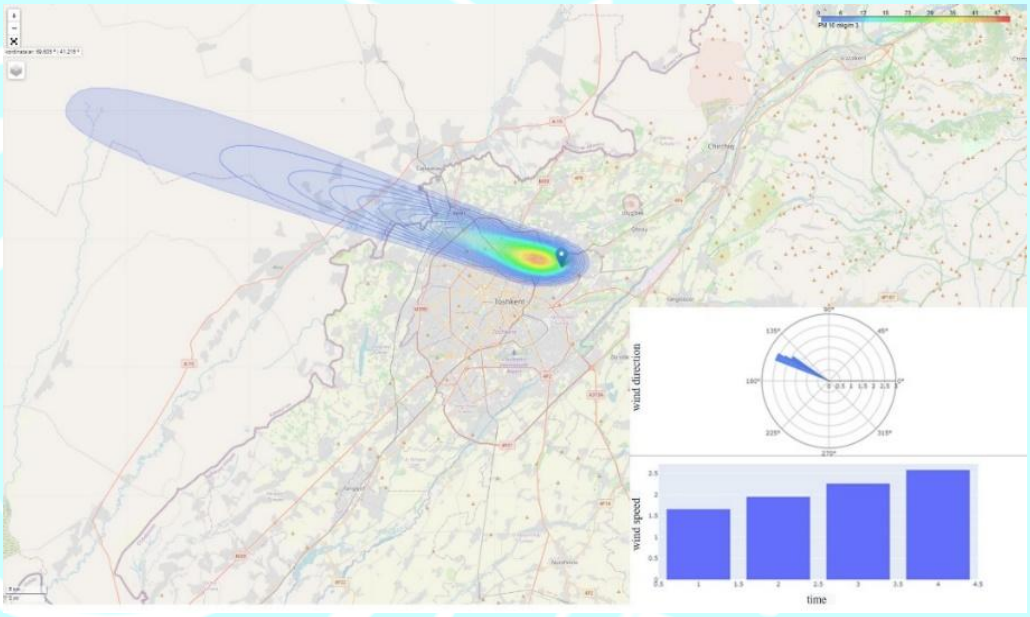
Natijalar: Ushbu tadqiqot doirasida zamonaviy va keng qo‘llaniladigan dasturlash texnologiyalar asosida ishlab chiqilgan bir qator o‘zaro bog‘langan dasturiy vositalarni o‘z ichiga olgan ob’ektga yo‘naltirilgan dasturiy-apparat majmuasi ishlab chiqilgan. Dasturiy vositalar Python dasturlash tili, Django va Django REST Framework freymvorklari, OSM (OpenStreetMap) vizualizatsiya kutubxonalari to‘plami, OWM (OpenWeatherMap), Google Maps, shuningdek, numpy, pandas, scipy, matplotlib, requests, folium, bs4 kabi kutubxonalar yordamida yaratilgan.

1-rasmdan ko‘rinib turibdiki, shamol tezligi ifloslantiruvchi moddalarning chiqarilish joyidan tarqalishiga ta’sir qiladi. Shamol tezligi oshgani sayin ifloslantiruvchi moddalar konsentratsiyasining vaqt bo‘yicha kamayishi taxminan chiziqli xarakterga ega bo‘ladi.

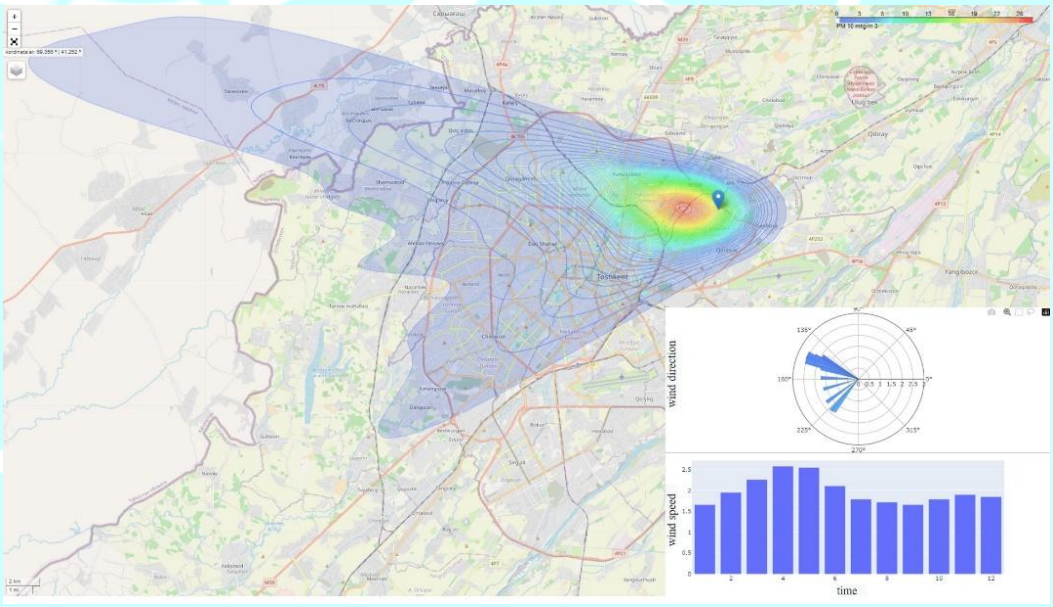


1-rasm. Shamol tezligi v=1 m/s, manbaning quvvati Q=1000 mg/m^3 (70 metr uzunlikdagi kam harakatli avtomobil yo‘li bo‘yicha) va diffuziya koeffitsientlari $\mu = 0{,}1$. $\mu = 0{,}3$ sharoitida, h=30 m balandlikda shamol osti tomonda shamol oqimi o‘qi bo‘ylab atmosferadagi CO2 konsentratsiyasining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi (mg/m^3).

ISSN 3030-3907



2-rasm. Atmosferada aerozol zarrachalarining tarqalishi va diffuziyasi dinamikasi uchun parametrlar: Q = 1000 mg/m³; H = 50 m; t = 4 soat.



3-rasm. Atmosferada aerozol zarrachalarining tarqalishi va diffuziyasi dinamikasi uchun parametrlar: Q = 1000 mg/m³; H = 50 m; t = 12 soat.

Atmosferada ifloslantiruvchi moddalarning ko'chish dinamikasidan (2- va 3-rasmlarga qarang) ko'rinadiki, shamol yo'nalishi va tezligining o'zgarishiga qarab ifloslantiruvchi moddalar konsentratsiyasi hamda ularning tarqalish maydoni vaqt o'tishi bilan o'zgaradi.

Shamolning yuqoriroq tezligi ifloslantiruvchi moddalarning atrof-muhit bo'ylab tezroq tarqalishiga olib keladi, bu esa ularning taqsimlanishini nisbatan bir tekis holatga keltirib, barqaror yuqori konsentratsiyali hududlarning shakllanish ehtimolini kamaytiradi.

Xulosa. Natijada, sanoat hududlarida atrof-muhit va atmosfera havosini muhofaza qilish masalalarini o'rganish, bashoratlash hamda boshqaruv qarorlarini

ISSN 3030-3907

qabul qilish uchun mo‘ljallangan matematik model va sonli algoritm ishlab chiqildi. Model tarkibida o‘simliklar tomonidan aerozol zarrachalarining yutulishi inobatga olingan bo‘lib, bu omil ifloslantiruvchi moddalar ko’chishi va diffuziya jarayonlarining dinamikasiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi.

Masalani yechish uchun vaqt va fazoviy o‘zgaruvchilar bo‘yicha yuqori tartibli yaqinlashtirishni ta’minlaydigan oshkormas (implicit) farqlash sxemasi va algoritm ishlab chiqilgan bo‘lib, u zamonaviy hisoblash tizimlarida samarali sonli hisob-kitoblar olib borish imkonini beradi.

FOYDANALINGAN ADABIYOTLAR RO’YXATI:

1. Zheng T. et al. Impacts of vegetation on particle concentrations in roadside environments //Environmental Pollution. – 2021. – T. 282. – C. 117067.
2. Ionescu G. L., Ionescu G. C. Atmospheric Pollutant Dispersion Modeling Methods //Journal of Applied Engineering Sciences. – 2023. – T. 13. – №. 2.
3. Ghasemian M., Amini S., Princevac M. The influence of roadside solid and vegetation barriers on near-road air quality //Atmospheric Environment. – 2017. – T. 170. – C. 108-117.
4. Kanani-Sühring F., Raasch S. Enhanced scalar concentrations and fluxes in the lee of forest patches: a large-eddy simulation study //Boundary-Layer Meteorology. – 2017. – T. 164. – C. 1-17.
5. Мурадов Ф. А., Назаров Ш. Э., Насруллаев П. Сопряженные уравнения переноса и диффузии аэрозольных частиц в атмосфере с учетом захвата частиц элементами растительности //Экологические чтения-2023. – 2023. – С. 351-357.
6. Равшанов Н., Шафиев Т.Р., Назаров Ш.Э., Боборахимов Б.И. Математическая модель процесс переноса и диффузия загрязняющих вредных веществ в атмосфере с учетом захвата аэрозольных частиц элементами растительности // Проблемы машиноведения. – 2023. – С. 97-101.
7. Shafiev T., Nazarov Sh. Studies of the influence of vegetation cover on the process of transfer and diffusion of harmful substances in the atmosphere //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – T. 431. – C. 01059. P.1-11 https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343101059.
8. Ravshanov N., Nazarov S. E., Boborakhimov B. Modeling the Process of Pollutant Spread in the Atmosphere with Account for the Capture of Particles by Vegetation Elements //Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2024. – T. 45. – №. 3. – C. 1213-1226.
9. Шафиев Т. Р., Бакаев И. И., Назаров Ш. Э. Математическое моделирование процесса диффузии загрязняющей примеси в неподвижной, неограниченной среде // Development of science. -2025.-Т.4.- №.2. -С. 111-118.

ISSN 3030-3907