ISNN 3030-3907

2025/4
VOLUME 6

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 6

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

KOINOT TASVIRLARIDAN GAZ INDIKATORLARI VA METEOROLOGIK PARAMETRLARINI INTEGRATSIYASI ASOSIDA PM2.5 KONSENTRATSIYASINI ANIQLASH TADQIQOTLARI

Djumanov Jamoljon Xidaykulovich
Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
Irmuxamedova Navruza Abdullajonovna
Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
Mirzag‘aniyev Sardor Ilyosjon o‘g‘li
Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
Odilov Abdullojon Komiljon o‘g‘li
Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti

Annotatsiya. Mazkur maqolada atmosferadagi PM2.5 konsentratsiyasini aniqlashning takomillashtirilgan algoritmi ishlab chiqilishi va uning amaliy samaradorligi yoritilgan. Tadqiqotda MODIS va VIIRS platformalaridan olingan aerosolni optik yutilish chuqurligi ma’lumotlari, Sentinel-5P asosidagi NO_2, SO_2 va CO gaz indikatorlari, shuningdek meteorologik parametrlar hamda yer usti monitoring kuzatuvlari integratsiyalandi. Koinotdan olingan tasvirlar ma’lumotlariga oldindan ishlov berish, fazoviy-vaqt bo‘yicha moslashtirish va matematik-statistik modellashtirish asosida PM2.5 ni baholash geoaxborot modeli taklif etilgan. Olingan natijalar takomillashtirilgan algoritm klassik AOD–PM2.5 modeliga nisbatan yuqori aniqlik ko‘rsatishini tasdiqladi. Mazkur yondashuv urban hududlarda havoning ifloslanish darajasini tezkor baholash, ekologik xavf zonalarini aniqlash va atmosfera monitoringi tizimlarini takomillashtirishda muhim amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: koinotdan olingan tasvirlar, masofadan zondlash, AOD, Sentinel-5P, meteorologik parametrlar, atmosfera ifloslanishi, algoritm, raqamli tasvirlarni qayta ishlash, ekologik monitoring.

Abstract. This article presents the development of an improved algorithm for estimating atmospheric PM2.5 concentration under the conditions of Tashkent city and evaluates its practical effectiveness. The study integrates aerosol optical depth (AOD) data obtained from MODIS and VIIRS platforms, gaseous indicators including NO_2, SO_2, and CO derived from Sentinel-5P, as well as meteorological parameters and ground-based monitoring observations. Based on satellite data preprocessing, spatial-temporal harmonization, and mathematical-statistical

ISSN 3030-3907

modeling, a model for PM2.5 estimation was proposed. The results confirmed that the improved algorithm demonstrates higher accuracy compared to the classical AOD–PM2.5 model. The proposed approach is of practical importance for rapid assessment of urban air pollution levels, identification of ecological risk zones, and improvement of atmospheric monitoring systems.

Keywords: satellite image, remote sensing, aerosol optical depth, Sentinel-5P, meteorological parameters, air pollution, algorithm, digital image processing, environmental monitoring.

KIRISH.

So‘nggi yillarda atmosfera havosining ifloslanishi ekologik xavfdan tashqari, sog‘liqni saqlash va urban boshqaruv bilan bevosita bog‘liq murakkab masalaga aylandi. Tadqiqotda fondga doir ma’lumotlar tahliliga ko‘ra, Jahon sog‘liqni saqlash tashkiloti xabarlari bo‘yicha havo ifloslanishi bilan bog‘liq erta o‘limlar soni yiliga qariyb 7 million nafarga yetadi, ayniqsa PM2.5 mayda dispers zarrachalari yurak-qon tomir va nafas yo‘llari kasalliklari xavfini oshiradi. Shu bilan birga, PM2.5 ning yillik o‘rtacha me’yori 5 μg/m³ dan oshmasligi lozim bo‘lsa-da, ko‘plab hududlarda bu ko‘rsatkich ancha yuqori qayd etiladi. Shu sababli atmosfera havosidagi zararli moddalarning konsentratsiyasini tezkor, fazoviy aniqligi yuqori va real sharoitga mukammal usullar bilan baholash dolzarb ilmiy vazifaga aylangan. Mazkur masala O‘zbekiston sharoitida, ayniqsa Toshkent shahri misolida yanada dolzarbdir.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2025-yil 25-noyabrdagi "Toshkent shahrida ekologik vaziyatni yaxshilash bo‘yicha kechiktirib bo‘lmaydigan chora-tadbirlar to‘g‘risida"gi PF-229-sonli Farmoni poytaxtda atmosfera havosi sifatini yaxshilashga qaratilgan strategik hujjat sifatida qabul qilindi [1]. Mazkur Farmon yer usti ekologik monitoring tizimini modernizatsiya qilish, sanoat va transport tarmoqlarida chiqindilar nazoratini kuchaytirish hamda shahar infratuzilmasini ekologik jihatdan takomillashtirish bo‘yicha kompleks chora-tadbirlarni nazarda tutadi. Farmonga muvofiq, smog (havo ifloslanishi, ya’ni shahar ustida paydo bo‘ladigan zaharli, kulrang, tuman-simon zich havo qatlami) va noqulay meteorologik sharoitlarga tezkor javob qaytarish mexanizmi ishga tushirildi, bunda sanoat obyektlari va qurilish maydonchalari faoliyatini vaqtincha cheklash, avtotransport vositalari tomonidan atmosferaga chiqarilayotgan zararli moddalarni nazorat qilish kabi operativ choralar belgilangan. Atmosfera havosi monitoring tizimini rivojlantirish maqsadida 1000 taga yaqin fon monitoring stansiyasini o‘rnatish, "O‘zbekiston havo monitoringi" tarmog‘ini modernizatsiya qilish, shu jumladan "Zamin" jamg‘armasi mablag‘lari hisobidan 23 ta avtomatlashtirilgan kompleks stansiyani joriy etish rejalashtirilgan. Bundan tashqari, PM2.5 dispers

ISSN 3030-3907

zarrachalarining kimyoviy-fizik tarkibini chuqur tahlil qilish uchun ixtisoslashgan laboratoriya tashkil etilmoqda. Qurilish-ta'mirlash ishlaridan kelib chiqadigan changlanish manbalarini cheklash bo‘yicha qat'iy talablar o‘rnatildi: qurilish maydonchalarida chang emissiyasining oldini olish, muntazam sug‘orish ishlarini amalga oshirish, maydonchalardan chiqish joylarini himoyalash hamda qurilish materiallarini tashish jarayonlari ustidan kuzatuvni kuchaytirish majburiy hisoblanadi.

Shahar ko‘kalamzorlashtirish yo‘nalishida "Toshkentning yashil yo‘lagi" dasturi ishga tushirilib, umumiy uzunligi 33 km bo‘lgan yashil kamarlar barpo etilmoqda va 700 ta tumanga zamonaviy sug‘orish hamda obodonlashtirish tizimlari joriy qilinmoqda. Shuningdek, farmonda, jamoat transporti tarmog‘ini kengaytirish, velosiped infratuzilmasini rivojlantirish, ruxsatsiz chiqindixonalarga qarshi kurashish va yuqori darajali idoralararo komissiyani tashkil etish masalalari o‘z aksini topgan. Mazmun-mohiyati jihatidan mazkur hujjat poytaxtning ekologik barqarorligini ta'minlash borasida qat'iy, muvofiqlashtirilgan va uzoq muddatli davlat siyosatini shakllantirmoqda. Olib borilgan tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, shahri atmosferasidagi zararli moddalar konsentratsiyasining yuqori darajasi sanoat korxonalari faoliyati, intensiv avtomobil transporti oqimi, qurilish ishlari, markazlashtirilgan issiqlik ta'minoti tizimlari, mavsumiy aerozol changlanish hamda meteorologik inversiya hodisalarining kompleks ta'siri natijasida shakllanadi. Bu kabi ko‘p omilli sharoitda atmosfera havosi sifatini baholash va ifloslanish manzarasini obyektiv aks ettirish uchun yagona yer usti monitoring tarmog‘iga tayanish metodologik jihatdan yetarli emas.

Yer usti stansiyalari cheklangan hududiy qamrovga ega bo‘lib, shahar miqyosidagi ifloslanishning fazoviy-vaqtinchalik heterogenligini va mikro-hududiy tafovutlarini to‘liq qayd eta olmaydi. Shu nuqtai nazardan, masofadan zondlash usullari hamda koinotdan olingan tasvirlar kuzatuv ma'lumotlariga asoslangan PM2.5 zarrachalari konsentratsiyasini baholash metodikasi muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi. Sputnik platformalari tomonidan taqdim etiladigan yuqori aniqlikdagi ma'lumotlar atmosfera ifloslanishining hududiy-vaqtinchalik dinamikasini tahlil qilish, ekologik xavfli zonalarni aniqlash va tabaqalashtirish, shuningdek, yer usti monitoringi natijalari bilan integratsiyalashgan holda havo sifatini kompleks baholash imkonini yaratadi.

Mazkur yondashuv atmosfera havosini muhofaza qilish sohasidagi boshqaruv qarorlarini ilmiy asoslangan tarzda ishlab chiqish va Farmonda belgilangan vazifalarni samarali amalga oshirish uchun zarur metodologik poydevorni tashkil etadi. Tadqiqotda masalani hal etish uchun koinotdan olingan tasvirlar va meteorologik ma’lumotlarni integratsiyalovchi takomillashtirilgan

ISSN 3030-3907

algoritm ishlab chiqilgan. Hisoblash tajribalari 2024–2025-yillar ma’lumotlari asosida Toshkent shahri bo‘yicha olib borilgan bo‘lib, ularda MODIS va VIIRS platformalaridan olingan AOD ma’lumotlari, Sentinel-5P asosidagi NO_2, SO_2 va CO indikatorlari, shuningdek shamol tezligi va yo‘nalishi, havo harorati, nisbiy namlik hamda atmosfera bosimi kabi meteorologik parametrlar qo‘llanilgan. Barcha ko‘rsatkichlar yagona fazoviy-vaqt aniqliksiga keltirilib, piksel darajasida hisoblash bajarilgan. Mazkur yondashuv klassik AOD–PM2.5 modelidan farqli PM2.5 ning shakllanishi va tarqalishiga ta’sir etuvchi fizik-meteorologik omillarni ham hisobga olishi bilan ajralib turadi.

Olingan natijalar tahlili takomillashtirilgan algoritmning ustunligini ko‘rsatdi. Xususan, klassik modelda R^2 = 0,52–0,60 bo‘lgan bo‘lsa, takomillashtirilgan algoritmda bu ko‘rsatkich 0,75–0,83 gacha oshgan; RMSE 18–22 μg/m³ dan 10–14 μg/m³ gacha, MAE 14–17 μg/m³ dan 7–10 μg/m³ gacha kamaygan, Bias esa −6…−9 dan −2…+2 μg/m³ oralig‘iga tushgan. Bundan tashqari, Tadqiqotda mavsumiy tahlil qish davrida PM2.5 ning o‘rtacha konsentratsiyasi yozga nisbatan 1,4–1,7 baravar yuqori bo‘lishini, shamol tezligi 2 m/s dan past bo‘lganda esa konsentratsiya keskin oshishini ko‘rsatgan. Bu holat meteorologik parametrlarni modelga kiritish nafaqat nazariy, balki amaliy jihatdan ham zarurligini tasdiqlaydi.

Shu asosda mazkur maqolaning maqsadi koinotdan olingan tasvirlar, gaz indikatorlari va meteorologik parametrlar integratsiyasi asosida Toshkent shahri sharoitida PM2.5 konsentratsiyasini aniqlashning takomillashtirilgan algoritmini yoritish, uning klassik yondashuvlarga nisbatan afzalliklarini ko‘rsatish hamda atmosfera monitoringi uchun ishlab chiqilgan dasturiy yechimning ilmiy-amaliy samaradorligini asoslashdan iborat.

Koinotdan olingan tasvirlar ma’lumotlariga dastlabki ishlov berish sezilarli darajada takomillashdi. Jumladan, **MAIAC** algoritmi asosida yaratilgan MODIS AOD mahsulotlari 1 km aniqlikda aerosolni optik yutilish chuqurligini (agar optik yutilish chuqurligi katta bo‘lsa → yorug‘lik kam o‘tadi (tuman, chang, ifloslanish kuchli), -agar optik yutilish chuqurligi kichik bo‘lsa → muhit tiniq (yorug‘lik yaxshi o‘tadi) olish imkonini berdi hamda bulut va soya filtratsiyasi sifatini oshirdi [2]. Bu urban hududlar uchun ayniqsa muhim, chunki klassik yirik piksel o‘lchamidagi mahsulotlarda transport yo‘llari, sanoat tugunlari va qurilish zonalari kabi lokal manbalar “yo‘qolib ketishi” mumkin. Shuningdek, A.B.Chelani ishida AOD bilan bir qatorda harorat, nisbiy namlik, shamol tezligi, bosim va aralashish qatlami balandligini regressiya tenglamasiga kiritish model aniqligini oshirishi ko‘rsatilgan [3]. Demak, tasvirlarni oldindan qayta ishlash, sifat nazorati va

ISSN 3030-3907

meteorologik normallashtirish PM2.5 ni koinotdan olingan tasvirlar baholash algoritmlarining ajralmas qismi hisoblanadi.

Atmosferadagi zararli moddalarning konsentratsiyasini baholashda faqat aerozollar emas, balki **gaz indikatorlari** ham muhim yordamchi omil sifatida qaralgan. Bu borada Sentinel-5P platformasidagi **TROPOMI** asbobi yangi bosqichni boshlab berdi. Veefkind va hammualliflari TROPOMI missiyasini global atmosfera tarkibini kuzatish uchun mo‘ljallangan, NO_2, SO_2, CO va boshqa asosiy troposfera komponentlarini yuqori fazoviy aniqlikda o‘lchaydigan tizim sifatida tavsiflagan [4]. Copernicus ma’lumotlariga ko‘ra, TROPOMI NO_2 mahsuloti missiyaning boshida 3.5 × 7.0 km, 2019-yil 6-avgustdan boshlab esa **3.5 × 5.5 km** fazoviy aniqlikda taqdim etila boshlandi [5]. J. van Geffen va hammualliflari esa NO_2 retrieval algoritmining **v2.2** versiyasi 2021-yil 1-iyuldan operatsion joriy etilganini va unda kalibrlash hamda hisoblash bosqichlari sezilarli yaxshilanganini ko‘rsatadilar [3, 6]. Shu sababli, zamonaviy tadqiqotlarda TROPOMI mahsulotlari PM2.5 ni bevosita emas, balki **gazsimon ifloslantiruvchilar fonini ifodalovchi yordamchi prediktorlar** sifatida qo‘llanmoqda.

So‘nggi yillardagi tadqiqotlar yana bir muhim tendensiyani ko‘rsatmoqda: ya’ni algoritmlar endi faqat nazariy model sifatida emas, balki **amaliy dasturiy vosita** shaklida ishlab chiqilib, Google Earth Engine e’lon qilingan tadqiqotda interaktiv vosita Sentinel-5P, GEOS-CF va MODIS ma’lumotlarini **1 km** fazoviy o‘lchamga standartlashtirib, sifat filtrlash va vaqt bo‘yicha agregatsiya funksiyalarini bir tizimda jamlagani qayd etilgan [3, 7]. Bu yo‘nalish bizning mavzuingiz uchun bevosita ahamiyatli, chunki ilmiy yangilik endi faqat “algoritm taklifi” bilan cheklanmay, balki uni foydalanuvchi uchun qulay, avtomatlashtirilgan hamda vizual ko‘rinishda ishlaydigan **dasturiy majmua**ga aylantirish bilan baholanmoqda.

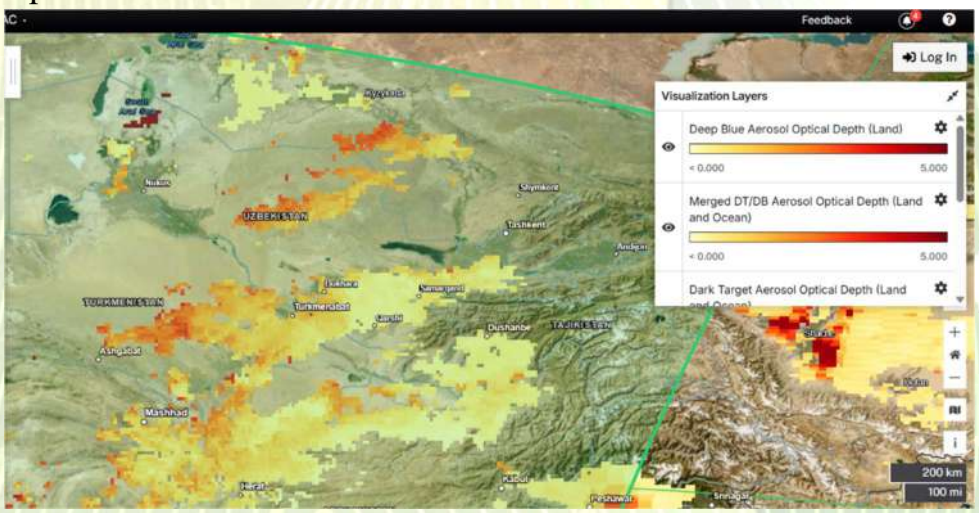
Shunday qilib, tahlil qilingan adabiyotlar asosida uchta asosiy ilmiy xulosa chiqarish mumkin. Birinchidan, PM2.5 ni koinotdan olingan tasvirlar ma’lumotlari yordamida baholash bo‘yicha tadqiqotlar AOD ga tayanuvchi oddiy regressiya modellaridan ko‘p manbali gibrid va mashinaviy o‘rganish modellariga o‘tgan. Ikkinchidan, meteorologik parametrlar va gaz indikatorlarini modelga kiritish baholash aniqligini oshiruvchi asosiy omillardan biri sifatida e’tirof etilgan. Uchinchidan, ilmiy adabiyotlarda algoritmni amaliy dasturiy tizim ko‘rinishida joriy etish tendensiyasi kuchaymoqda. Biroq bizning dissertatsiyangizda ham qayd etilganidek, O‘zbekiston sharoitida, xususan Toshkent shahri misolida, koinotdan olingan tasvirlar, meteorologik parametrlar va gaz indikatorlarini yagona hisoblash

ISSN 3030-3907

zanjirida birlashtirib, mahalliy sharoitga moslashgan algoritm hamda dasturiy yechim yaratish masalasi yetarli darajada ishlab chiqilmagan**.**

Mazkur tadqiqotda atmosferadagi PM2.5 konsentratsiyasini baholash uchun masofadan zondlash, geoinformatsion tahlil, raqamli tasvirlarni qayta ishlash va matematik-statistik modellashtirish usullari kompleks qo‘llanildi. Tadqiqotning axborot bazasini MODIS va VIIRS platformalaridan olingan AOD mahsulotlari, Sentinel-5P asosidagi NO_2, SO_2 va CO gaz indikatorlari, meteorologik parametrlar va yer usti PM2.5 kuzatuv ma’lumotlari tashkil etdi.

Koinotdan olingan tasvir ma’lumotlari dastlab oldindan ishlov berildi: geometrik moslashtirish, radiometrik tuzatish, bulut va artefaktlarni ajratish, shovqinni kamaytirish, hudud bo‘yicha kesish hamda fazoviy-vaqt aniqliksini moslashtirish bosqichlari bajarildi. So‘ng meteorologik omillar normallashtirilib, hududiy koeffitsientlar kiritildi va koinotdan olingan tasvirlar indikatorlar bilan yer usti PM2.5 o‘lchovlari o‘rtasidagi bog‘liqlik korrelyatsion-regressiyaviy usullar asosida modellashtirildi. Takomillashtirilgan algoritm natijalari klassik AOD–PM2.5 modeli bilan solishtirildi hamda R^2, RMSE, MAE va Bias mezonlari bo‘yicha baholandi. Yakuniy bosqichda PM2.5 ning fazoviy taqsimoti GIS asosida xaritalashtirildi va hisoblash jarayonlarini avtomatlashtiruvchi dasturiy prototip ishlab chiqildi.

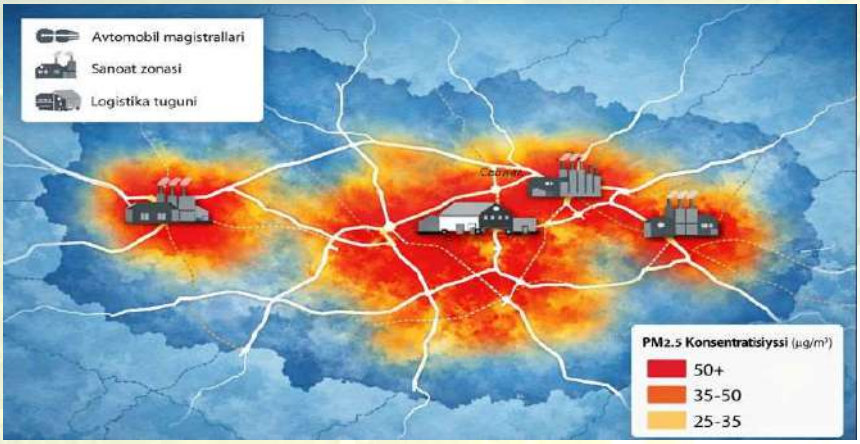


1-rasm.Tajriba hududining joylashuv xaritasi

Hisoblash tajribalari Toshkent shahri hududi misolida **2024–2025-yillar** ma’lumotlari asosida amalga oshirildi. Tadqiqotda PM2.5 konsentratsiyasini baholash uchun koinotdan olingan tasvirlar va yer usti ma’lumotlari yagona hisoblash muhitida integratsiya qilindi. Jumladan, Sentinel-5P dan CO, meteorologik kuzatuvlardan shamol tezligi (**0,8–4,6 m/s**), nisbiy namlik (**42–78 %**), havo harorati (**−2 °C – +34 °C**) va atmosfera bosimi (**945–985 gPa**) ko‘rsatkichlari olindi. Yer usti monitoringi bo‘yicha PM2.5 konsentratsiyasi odatda

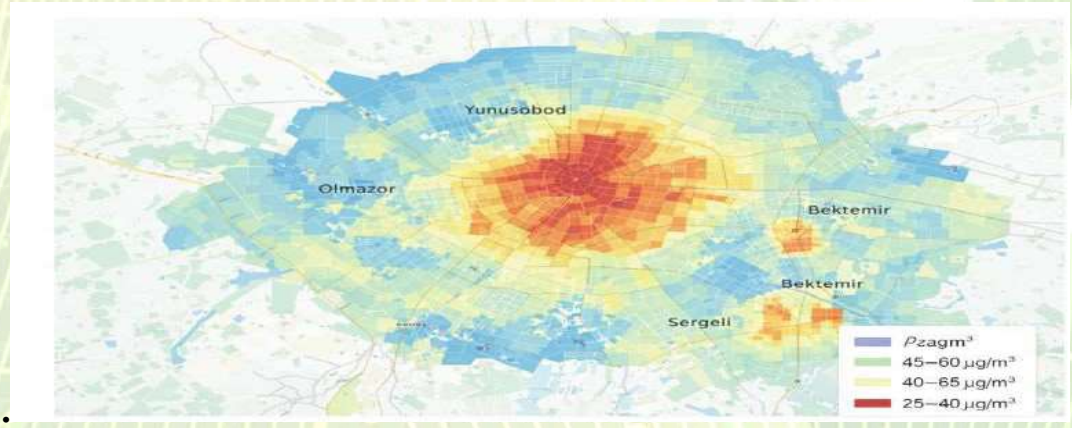
ISSN 3030-3907

25–95 µg/m³ oralig‘ida kuzatilgan bo‘lib, ayrim “issiq nuqta”larda bu qiymat **100 µg/m³** gacha yetgani qayd etildi.



2-rasm. Takomillashtirilgan algoritm asosida PM2.5 konsentratsiyasining fazoviy taqsimoti (Toshkent shahri misolida)

Takomillashtirilgan algoritm asosida olingan fazoviy xaritalar PM2.5 konsentratsiyasining hudud bo‘yicha notekis taqsimlanganini ko‘rsatdi. Ayniqsa, yirik avtomobil magistrallari kesishmalari, sanoat zonalari hamda transport-logistika tugunlari atrofida ifloslanish darajasi yuqori ekani aniqlandi. Mazkur hududlarda PM2.5 ning o‘rtacha qiymati **80–95 µg/m³** gacha yetgan, ayrim kunlarda esa qisqa muddatli maksimal qiymatlar **100 µg/m³** ga yaqinlashgan. Bu holat ifloslanishning shahar hududida bir tekis tarqalmaganini, balki emissiya manbalari va meteorologik sharoitlarga kuchli bog‘liqligini ko‘rsatadi.



3-rasm. PM2.5 ning barqaror yuqori konsentratsiyaga ega “issiq nuqtalari”

Vaqt bo‘yicha tahlil ham muhim qonuniyatlarni ochib berdi. Kunlik kesimda ertalab va kechki soatlarda, ya’ni transport faolligi yuqori bo‘lgan davrlarda, PM2.5 konsentratsiyasi o‘rtacha **15–25 %** ga oshgani kuzatildi. Mavsumiy tahlil esa qish davrida PM2.5 ning o‘rtacha miqdori yoz mavsumiga nisbatan **1,4–1,7 baravar** yuqori ekanini ko‘rsatdi. Bu qish oylarida inversiya hodisalari, shamol tezligining pasayishi va yoqilg‘i yoqish bilan bog‘liq emissiyalar natijasida

ISSN 3030-3907

ifloslantiruvchi moddalarning past atmosfera qatlamida ko‘proq to‘planishi bilan izohlanadi.

Meteorologik omillar bilan bog‘liqlik tahlili taklif etilgan algoritmning fizik asoslanganligini tasdiqladi. Xususan, shamol tezligi **2 m/s dan past** bo‘lgan holatlarda PM2.5 konsentratsiyasi keskin oshgani, nisbiy namlik **70 % dan yuqori** bo‘lganda esa aerozol zarrachalarining gigroskopik o‘sishi kuzatilgani aniqlandi. Bu natija shuni ko‘rsatadiki, havodagi mayda dispers zarrachalarning konsentratsiyasi faqat optik ko‘rsatkichlar bilan emas, balki meteorologik sharoitlar bilan ham chambarchas bog‘liq. Shuning uchun AOD ga asoslangan oddiy modeldan farqli ravishda, shamol, namlik, harorat va gaz indikatorlarini integratsiyalash algoritm aniqligini sezilarli oshiradi.Takomillashtirilgan algoritm samaradorligini baholash maqsadida uning natijalari klassik **AOD–PM2.5** yondashuvi bilan solishtirildi. Solishtirma tahlil natijalariga ko‘ra, klassik modelda determinatsiya koeffitsienti **R^2 = 0,52–0,60** oralig‘ida bo‘lgan bo‘lsa, takomillashtirilgan algoritmda bu ko‘rsatkich **0,75–0,83** gacha oshgan. Shuningdek, klassik modelda **RMSE = 18–22 µg/m³**, **MAE = 14–17 µg/m³** va **Bias = −6…−9 µg/m³** bo‘lgan bo‘lsa, yangi algoritmda mos ravishda **RMSE = 10–14 µg/m³**, **MAE = 7–10 µg/m³** va **Bias = −2…+2 µg/m³** ga teng bo‘ldi. Ushbu natijalar takomillashtirilgan algoritm yer usti kuzatuvlari bilan sezilarli darajada yaxshiroq mos kelishini va tizimli xatolar ancha kamayganini ko‘rsatadi.

1-jadval.

Klassik AOD–PM2.5 modeli va takomillashtirilgan algoritm natijalarining solishtirma tahlili

Ko‘rsatkich	Klassik model	Takomillashtirilgan algoritm
R^2	0,52–0,60	**0,75–0,83**
RMSE (µg/m³)	18–22	**10–14**
MAE (µg/m³)	14–17	**7–10**
Bias (µg/m³)	−6…−9	**−2…+2**
Fazoviy aniqlik	Past	**Yuqori**
Meteorologiya	Cheklangan	**To‘liq integratsiya**

Muhokama nuqtai nazaridan qaralganda, yangi algoritmning ustunligi avvalo uning **ko‘p omilli matematik yondashuv**ga asoslanganidadir. Klassik model asosan aerosol optik qalinligiga tayanadi va shu sababli qurg‘oqchil hududlar, urban “issiq nuqta”lar, qishki inversiya holatlari hamda yuqori namlik sharoitlarida real yer sathidagi PM2.5 ni yetarli darajada aks ettira olmaydi. Takomillashtirilgan algoritmda esa AOD bilan bir qatorda **NO_2, SO_2, CO** kabi gaz indikatorlari hamda asosiy meteorologik parametrlar integratsiya qilingani sababli PM2.5 ning ikkilamchi shakllanish mexanizmlari va tarqalish jarayonlari ancha

ISSN 3030-3907

to‘liq hisobga olinadi. Hududiy tuzatish koeffitsientlarining kiritilishi modelni Toshkent kabi qurg‘oqchil iqlim va yuqori chang foniga ega hududlarga yaxshiroq moslashtiradi.

Qiyosiy tahlil shuni ko‘rsatdiki, takomillashtirilgan algoritm ayniqsa **meteorologik inversiya** holatlarida, **shamol tezligi past (≤2 m/s)** bo‘lgan kunlarda, **qish mavsumida**, **yuqori namlik sharoitida**, shuningdek **sanoat va transport emissiyalari kuchli bo‘lgan hududlarda** ustun natija berdi. Klassik AOD–PM2.5 modeli esa aynan shu sharoitlarda aerozolning optik xususiyatlariga haddan tashqari bog‘lanib qolganligi sababli real konsentratsiyani past baholashga moyillik ko‘rsatdi. PM2.5 ni masofadan baholash masalasida koinotdan olingan tasvirlar, gaz indikatorlari va meteorologik omillar integratsiyasiga tayangan yondashuv urban ekologik monitoring uchun ancha ishonchli hisoblanadi.

Xulosa. Atmosfera havosidagi mayda dispers zarrachalar va gazsimon ifloslantiruvchilarni koinotdan olingan tasvirlar ma’lumotlar asosida baholash bo‘yicha ilmiy izlanishlar avvalo **AOD–PM2.5** bog‘liqligini aniqlashga qaratilgan tadqiqotlar bilan shakllangan. Bu yo‘nalishda A. van Donkelaar va hamkorlarining ishlari alohida o‘rin tutadi. Ular MODIS va MISR dan olingan aerosolning optik yutilish chuqurlik ma’lumotlarini GEOS-Chem kimyoviy transport modeli bilan birlashtirib, yer sathidagi PM2.5 konsentratsiyasini global miqyosda baholash mumkinligini ko‘rsatganlar [4, 6]. Keyingi tadqiqotlarida esa ko‘p yillik sun’iy yo‘ldosh kuzatuvlarini birlashtirish orqali insonlarning uzoq muddatli PM2.5 ta’siriga duchor bo‘lish darajasini aniqroq baholash usuli taklif etilgan [5]. Mazkur ishlarning asosiy yutug‘i shundaki, ular sun’iy yo‘ldosh ma’lumotlarini oddiy vizual monitoring vositasi emas, balki **miqdoriy ekologik baholash manbai** sifatida ilmiy muomalaga olib kirdi. Biroq ushbu bosqichdagi modellar asosan global va mintaqaviy ko‘lamga yo‘naltirilgan bo‘lib, urban hududlardagi mayda fazoviy tafovutlarni yetarli darajada aks ettira olmagan.

Keyingi bosqichda ilmiy adabiyotlarda AOD asosidagi yondashuvlarning imkoniyatlari bilan birga ularning cheklovlari ham solishtirma tahlil qilindi. Xususan, Y.Chu va hammualliflarining sharhiy maqolasida 116 ta ilmiy ish umumlashtirilib, PM2.5 ni sun’iy yo‘ldosh AOD ma’lumotlari orqali baholash modellari bir necha guruhlarga ajratilgan va ularning afzallik hamda kamchiliklari ko‘rsatib berilgan [6]. Mazkur sharhda AOD bilan yer sathidagi PM2.5 o‘rtasidagi bog‘liqlik doimiy emasligi, unga namlik, atmosfera chegara qatlami balandligi, aerozolning vertikal taqsimoti, fasliy omillar va yer qoplami xususiyatlari kuchli ta’sir ko‘rsatishi ta’kidlanadi. Demak, faqat bitta optik ko‘rsatkichga tayanuvchi regressiya modellari murakkab urban sharoitlarda barqaror natija bermaydi. Bu xulosa tadqiqot mavzusi uchun juda muhim, chunki aynan shu holat

ISSN 3030-3907

takomillashtirilgan, ko‘p omilli algoritm zaruratini asoslaydi. Shu ilmiy mantiq asosida tadqiqotchilar asta-sekin **gibrid va ko‘p manbali modellar**ga o‘ta boshladilar. Q.Di va boshqlari PM2.5 ni yuqori fazoviy-vaqt aniqligida baholash uchun AOD, meteorologik maydonlar, yer qoplami ko‘rsatkichlari va boshqa yordamchi o‘zgaruvchilarni integratsiyalagan modelni taklif qildilar [8, 10]. Keyinchalik shu yo‘nalish rivojlantirilib, uchta mashinaviy o‘rganish algoritmini birlashtirgan ansambl model yordamida AQSh hududi bo‘yicha **1 km** aniqlikdagi kunlik PM2.5 xaritalari tuzildi va modelning 10-fold cross-validated natijalari kunlik baholash uchun $\mathbf{R^2 = 0.86}$, yillik baholash uchun $\mathbf{R^2 = 0.89}$ ekanligi ko‘rsatildi [9, 11]. Ushbu tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, zamonaviy baholash tizimlari AOD ni mustaqil indikator sifatida emas, balki meteorologiya, land use va kimyoviy model natijalari bilan birga ishlatgandagina yuqori aniqlikka erishadi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, koinotdan olingan tasvirlar, gaz indikatorlari va meteorologik parametrlarni yagona hisoblash zanjirida integratsiyalash PM2.5 konsentratsiyasini baholash aniqligini sezilarli oshirdi. Taklif etilgan algoritm klassik AOD–PM2.5 yondashuviga nisbatan yuqori fazoviy aniqlik va statistik ishonchlilikni namoyon etdi hamda urban hududlarda ifloslanishning “issiq nuqtalari”ni aniqlashda samaraliroq bo‘ldi. Ishlab chiqilgan yondashuv shahri sharoitida havoning ifloslanish darajasini tezkor baholash, ekologik xavf zonalarini xaritalash va monitoring natijalarini amaliy boshqaruv qarorlariga tatbiq etish imkonini beradi. Shu bois takomillashtirilgan algoritm va dasturiy prototip atmosfera monitoringi tizimlarini modernizatsiya qilishda ilmiy asoslangan hamda amaliy jihatdan samarali yechim sifatida tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2025-yil 25-noyabrdagi "Toshkent shahrida ekologik vaziyatni yaxshilash bo‘yicha kechiktirib bo‘lmaydigan chora-tadbirlar to‘g‘risida"gi PF-229-sonli Farmoni // O‘zbekiston Respublikasi qonun hujjatlari ma'lumotlari milliy bazasi. URL: https://lex.uz/uz/docs/-7852957

2. Djumanov J.X., Allamuratova Z.J., Mirzaganiev S.I., O‘rinbaev A.Sh. Sun'iy yo‘ldosh tasvirlari va modellash tizimlarining integratsiyasi asosida atmosfera ifloslanishini baholash yondashuvi // International Scientific Conference "Scientific Foundations for the Use of Information Technologies of a New Level and Modern Problems of Automation". B. 712–721.

3. Djumanov J.X., Kuchkorov T.A., Ochilov T.D., ...Sabitova N.Q. Satellite Imagery Super Resolution Using Classical and Deep Learning Algorithms/ Lecture Notes in Computer Science Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics. 2024

ISSN 3030-3907

4. Djumanov J.X., Safarov F.A., Kuchkorov T.A., Abdusalomov A.B., Cho, Y.-I. Improved Agricultural Field Segmentation in Satellite Imagery Using TL-ResUNet Architecture/ Sensors, 22(24). 2022
5. Lyapustin A., Wang Y., Korkin S., Huang D. MODIS Collection 6 MAIAC algorithm // Atmospheric Measurement Techniques. 2018. Vol. 11. P. 5741–5765.
6. Veefkind J.P., Aben I., McMullan K. et al. TROPOMI on the ESA Sentinel-5 Precursor: A GMES mission for global observations of the atmospheric composition for climate, air quality and ozone layer applications // Remote Sensing of Environment. 2012. Vol. 120. P. 70–83.
7. Seinfeld J.H., Pandis S.N. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 2006. 1203 p.
8. Pope C.A., Dockery D.W. Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect // Journal of the Air & Waste Management Association. — 2006. Vol. 56, No. 6. P. 709–742.
9. Wang J., Liu X. AOD–PM2.5 Relationship: Influence of Aerosol Vertical Distribution and Particle Properties // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2014. Vol. 119. P. 1–16.
10. Jacobson M.Z. Atmospheric Pollution: History, Science, and Regulation. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. 399 p.
11. Van Donkelaar A., Martin R.V., Boys B.L. Use of satellite observations for long-term exposure assessment of global concentrations of fine particulate matter // Environmental Health Perspectives. 2015. Vol. 123, No. 2. P. 135–143.

ISSN 3030-3907