

M.M. Baxtiyorova

Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti 2-bosqich magistranti. O'zbekiston Respublikasi, Xorazm viloyati, Urganch shahri

t.f.d. R.A.Eshonqulov

Qarshi iqtisodiyot va pedagogika universiteti, "Umummetodologik fanlar" kafedrasi professori. O'zbekiston Respublikasi, Qashqadaryo viloyati, Qarshi shahri

D.Y. Allanazarov

Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti, Geodeziya, kartografiya va kadastr kafedrasi o'qituvchisi. O'zbekiston Respublikasi, Xorazm viloyati, Urganch shahri

XORAZM VOHASIDA ATMOSFERA HAVOSI TARKIBIDAGI AZOT DIOKSIDI (NO₂) KONSENTRATSIYASINING GEOFAZOVIY TAHLILI

***Annotatsiya:** Mazkur maqolada 2019–2025-yillar davomida Xorazm vohasi atmosfera havosi tarkibidagi azot dioksidi (NO₂) konsentratsiyasining davriy o'zgarishlari geofazoviy usullar asosida tahlil qilindi. Tadqiqotda Sentinel-5P sun'iy yo'ldoshi ma'lumotlari hamda geoinformatsion tizimlar (GIS) texnologiyalaridan foydalanildi. NO₂ konsentratsiyasining oylik o'rtacha, maksimal va minimal qiymatlari hisoblanib, ularning vaqt bo'yicha dinamikasi diagrammalar orqali baholandi. Shuningdek, atmosfera ifloslanishining hududiy xususiyatlarini aniqlash maqsadida NO₂ ning fazoviy taqsimot xaritalari yaratildi va tahlil qilindi.*

***Kalit so'zlari:** NO₂, Sentinel-5P, spatio-temporal, ESA, TROPOMI, OMI, SCIAMACHY, Google Earth Engine (GEE), Shapefile, JavaScript, aerazol, Vizualizatsiya, GeoTIFF.*

M.M. Bakhtiyorova

Second-Year Master's Student, Urgench State University named after Abu Rayhan Beruni Urgench, Khorezm Region, Republic of Uzbekistan

R.A. Eshonqulov, D.Sc. (Technical Sciences)

Professor, Department of General Methodological Sciences, Karshi University of Economics and Pedagogy Karshi, Kashkadarya Region, Republic of Uzbekistan

D.Y. Allanazarov

Lecturer, Department of Geodesy, Cartography and Cadastre, Urgench State University named after Abu Rayhan Beruni Urgench, Khorezm Region, Republic of Uzbekistan

GEOSPATIAL ANALYSIS OF ATMOSPHERIC NITROGEN DIOXIDE (NO₂) CONCENTRATIONS IN THE KHOREZM OASIS

***Abstract:** This study investigates the temporal variability of atmospheric nitrogen dioxide (NO₂) concentrations in the Khorezm Oasis during the period 2019–2025 using geospatial analysis techniques. Sentinel-5P satellite observations and Geographic Information System (GIS) technologies were employed to assess the spatio-temporal dynamics of NO₂ distribution across the study area. Monthly mean, maximum, and minimum NO₂ concentrations were calculated and their temporal variations were evaluated through statistical and graphical analyses. Furthermore, spatial distribution maps were generated and analyzed to identify the geographical patterns and regional characteristics of atmospheric pollution. The results provide valuable insights into the spatial and*

temporal behavior of NO₂ concentrations and demonstrate the applicability of remote sensing and geospatial technologies for atmospheric air quality assessment and environmental monitoring.

Keywords: NO₂, Sentinel-5P, spatio-temporal analysis, ESA, TROPOMI, OMI, SCIAMACHY, Google Earth Engine (GEE), Shapefile, JavaScript, aerosol, visualization, GeoTIFF.

Kirish. Atmosfera havosining ifloslanishi XXI asrning eng dolzarb ekologik muammolaridan biri bo'lib, inson salomatligi, ekotizimlar barqarorligi va iqlim tizimlariga sezilarli ta'sir ko'rsatmoqda. Atmosferaga chiqarilayotgan ifloslantiruvchi moddalar orasida azot dioksidi (NO₂) alohida ahamiyatga ega bo'lib, u asosan transport vositalari, energetika korxonalarini, sanoat obyektlari va yoqilg'i yonishi jarayonlari natijasida hosil bo'ladi. Troposferadagi NO₂ konsentratsiyasining ortishi nafaqat havo sifatining yomonlashishiga, balki troposfera ozoni va ikkilamchi aerozollar hosil bo'lishiga ham sabab bo'ladi. Shu bois NO₂ atmosfera ifloslanishining asosiy indikatorlaridan biri sifatida qaraladi.

So'nggi yillarda masofadan zondlash texnologiyalarining rivojlanishi atmosfera gazlarini global va mintaqaviy miqyoslarda kuzatish imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytirdi. Xususan, Yevropa Kosmik Agentligi (ESA) tomonidan Copernicus dasturi doirasida uchirilgan Sentinel-5P sun'iy yo'ldoshi va uning TROPOMI (Tropospheric Monitoring Instrument) sensori atmosferadagi gazlarning yuqori fazoviy aniqlikdagi monitoringini ta'minlamoqda. TROPOMI sensori avvalgi OMI va SCIAMACHY sensorlariga nisbatan yuqori fazoviy aniqlikka ega bo'lib, NO₂ troposfera ustuni zichligini mintaqaviy va lokal darajalarda aniqlash imkonini beradi (Bauwens va boshqalar., 2020; Griffin va boshqalar., 2019).

Ilmiy adabiyotlarda NO₂ ning fazoviy-vaqtinchalik (spatiotemporal) dinamikasini o'rganishga katta e'tibor qaratilgan. Zheng va boshqalar (2021) sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari asosida tuzilgan oylik xaritalar yordamida antropogen emissiyalar va meteorologik omillar o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlagan. Lamsal va boshqalar (2015) hamda Liu va boshqalar (2022) tadqiqotlarida NO₂

konsentratsiyasining quyosh radiatsiyasi, havo harorati, shamol tezligi va atmosfera sirkulyatsiyasi bilan chambarchas bog‘liqligi ko‘rsatilgan.

NO₂ ning mavsumiy dinamikasi turli geografik hududlarda iqlim sharoitlariga qarab farqlanadi. Ko‘plab tadqiqotlarda qish va erta bahor oylarida NO₂ konsentratsiyasining ortishi isitish mavsumi, fotokimyoviy parchalanish jarayonlarining sustlashishi hamda atmosfera inversiyasi bilan izohlanadi (Krayner va boshqalar., 2023; Sheng va boshqalar., 2024). Aksincha, yoz oylarida kuchli quyosh radiatsiyasi ta’sirida fotokimyoviy reaksiyalar jadallashib, NO₂ ning parchalanishi tezlashadi va uning konsentratsiyasi kamayadi (Zara va boshqalar., 2018). Richter va boshqalar (2005) Shimoliy yarim sharda troposferadagi NO₂ miqdori qish oylarida maksimum, yoz oylarida esa minimum qiymatlarga ega bo‘lishini aniqlagan.

Markaziy Osiyo va Orolbo‘yi hududlari atmosfera ifloslanishining o‘ziga xos tabiiy-geografik sharoitlari bilan ajralib turadi. Orol dengizining qurigan tubidan ko‘tarilayotgan tuz va chang aerozollari atmosfera tarkibiga ta’sir ko‘rsatib, mintaqadagi ekologik vaziyatni murakkablashtirmoqda (Reyer va boshqalar., 2017). Xususan, Xorazm vohasi aholi zichligi, qishloq xo‘jaligi faoliyatining intensivligi, transport infratuzilmasining rivojlanganligi va Orolbo‘yi ekologik jarayonlari ta’siri ostida shakllanayotgan hududlardan biri hisoblanadi.

Mahalliy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, mintaqada atmosfera monitoringi asosan yer usti kuzatuv stansiyalariga tayanadi va ular hududning barcha qismlarini bir xil darajada qamrab ololmaydi (Salikhov va boshqalar., 2021; Kulmatov va boshqalar., 2023). Shu sababli masofadan zondlash ma’lumotlari asosida amalga oshiriladigan geofazoviy monitoring tadqiqotlari muhim ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi.

Mavjud ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, jahon miqyosida NO₂ monitoringi bo‘yicha ko‘plab tadqiqotlar amalga oshirilgan bo‘lsa-da, Xorazm vohasi uchun Sentinel-5P/TROPOMI ma’lumotlari asosida 2019–2025-yillar davomidagi

NO₂ konsentratsiyasining oylik va mavsumiy geofazoviy dinamikasini kompleks baholashga qaratilgan tadqiqotlar yetarli emas. Ayniqsa, ifloslanishning hududiy o'choqlari, uning mavsumiy o'zgarish qonuniyatlari hamda fazoviy taqsimotining asosiy omillarini aniqlash masalalari kam o'rganilgan.

Shu munosabat bilan mazkur tadqiqotning maqsadi Sentinel-5P/TROPOMI ma'lumotlari asosida 2019–2025-yillarda Xorazm vohasida atmosfera havosidagi NO₂ konsentratsiyasining fazoviy-vaqtinchalik o'zgarishlarini geoinformatsion texnologiyalar yordamida tahlil qilishdan iborat. Tadqiqotda TROPOMI sensorining troposferadagi azot dioksidi ustunining vertikal zichligini ifodalovchi "NO₂ column number density" (mol/m²) mahsulotidan foydalanildi. Olingan natijalar asosida NO₂ konsentratsiyasining oylik va mavsumiy dinamikasi, hududiy taqsimot xususiyatlari hamda atmosfera havosi sifatiga ta'sir etuvchi asosiy omillar baholandi.

Tadqiqot obyekti sifatida Xorazm vohasi hududi tanlandi. Tadqiqot predmeti esa ushbu hududda atmosfera havosidagi azot dioksidi (NO₂) konsentratsiyasining hududiy tarqalishi, fazoviy-vaqtinchalik o'zgarishlari hamda oylik va mavsumiy dinamikasidan iborat.

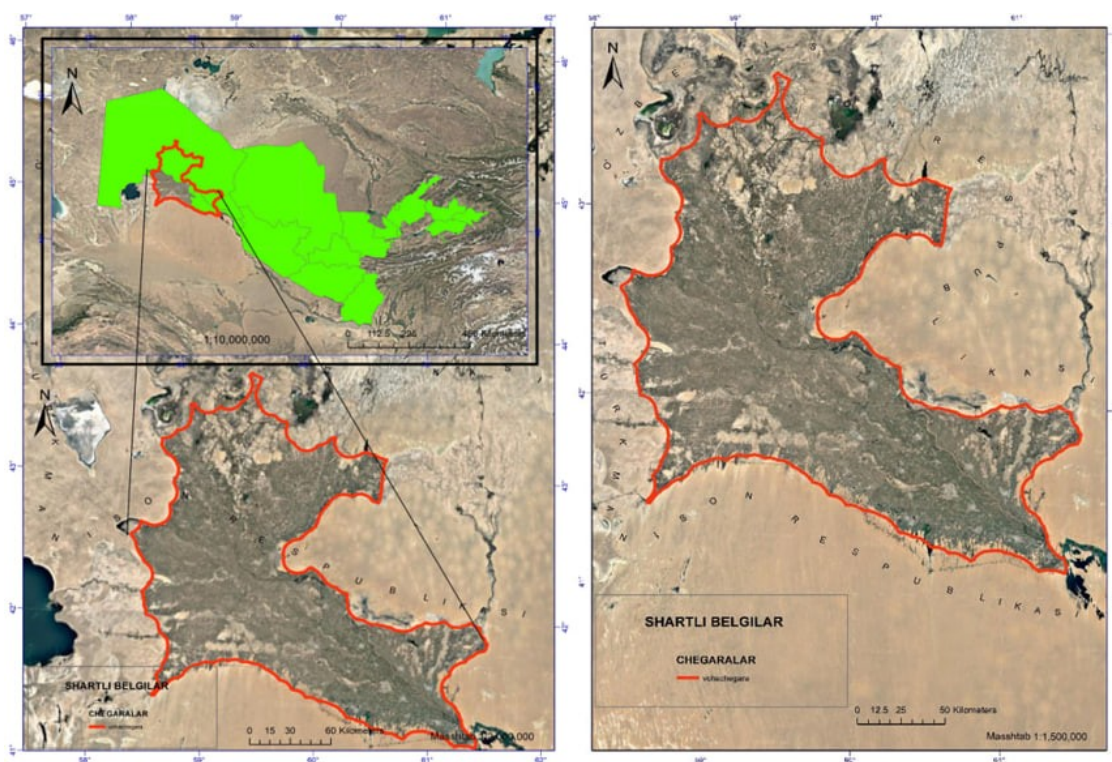
Tadqiqotning ilmiy yangiligi Xorazm vohasi hududida 2019–2025-yillar uchun NO₂ konsentratsiyasining ko'p yillik fazoviy-vaqtinchalik o'zgarishlarini Sentinel-5P/TROPOMI ma'lumotlari asosida baholash, oylik geofazoviy xaritalar yaratish hamda ifloslanishning hududiy va mavsumiy qonuniyatlarini aniqlash bilan belgilanadi.

Ishni bajarish tartibi: Google Earth Engine (GEE) platformasida ma'lumotlarni yig'ish va o'rtacha qiymat hisoblash 6-7 yillik (2019–2025-yillar) ulkan hajmdagi kunlik kosmik tasvirlarni kompyuterga yuklab olib o'tirmaslik uchun Google Earth Engine bulutli platformasidan foydalanildi. JavaScript tili yordamida kod yozib, Sentinel-5P (TROPOMI) yo'ldoshidan faqat bizga kerakli bo'lgan troposferadagi NO₂ zichligi (NO₂_column_number_density) ajratib olindi. So'ngra,

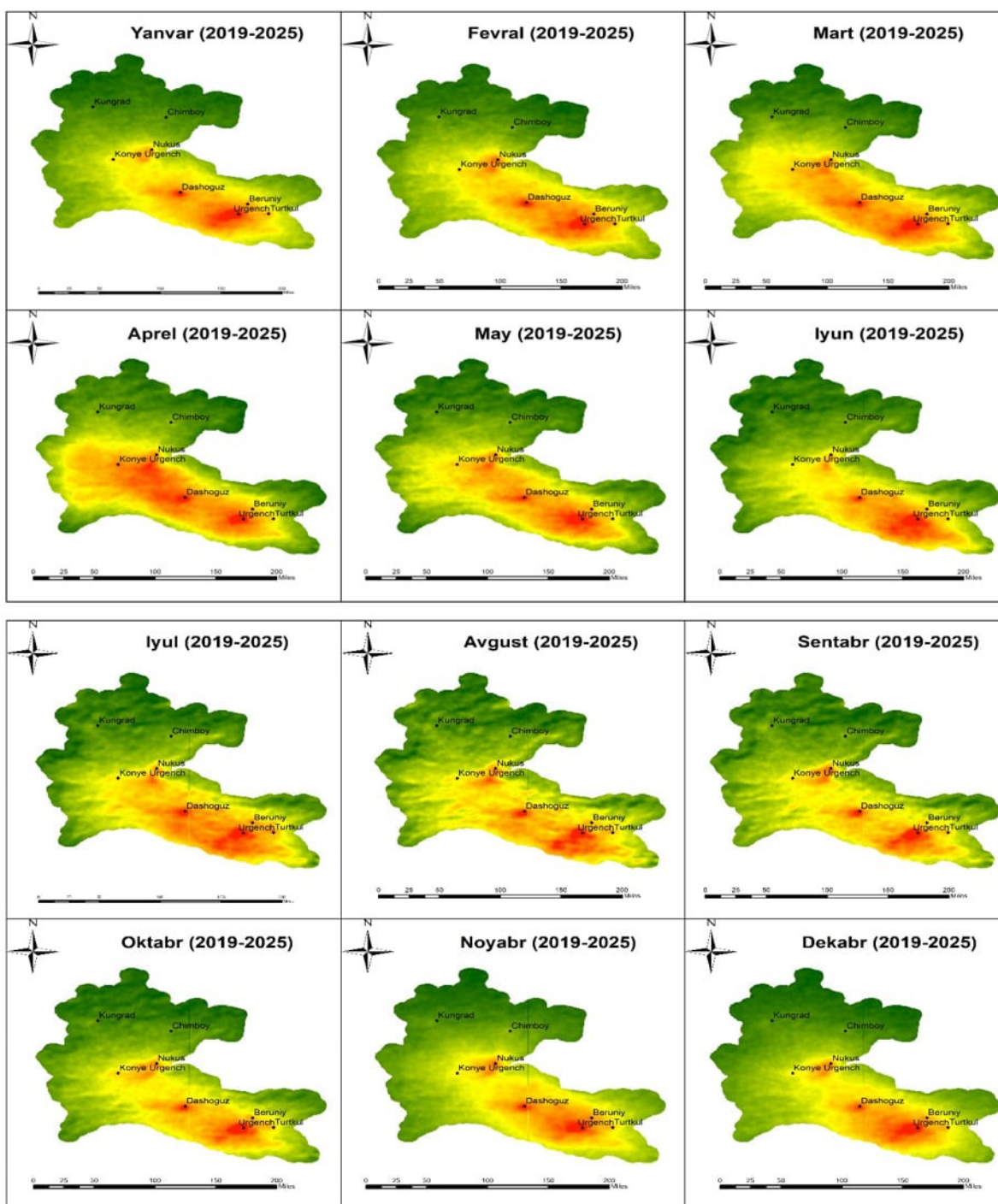
tayyor holatdagi Xorazm viloyati chegarasi (Shapefile) yordamida xaritalar aynan voha hududiga moslab qirildi. Har bir kalendar oyining (yanvardan dekabrgacha) barcha kunlik tasvirlari .mean() (o'rtacha qiymat) funksiyasi orqali birlashtirildi. Ayniqsa, dekabr oyida yil almashish jarayonini to'g'ri hisoblash uchun algoritmgaga keyingi yilning 1-yanvarigacha bo'lgan davr ulandi. Yakunda har bir oy uchun ko'p yillik o'rtacha xaritalar (GeoTIFF) tayyorlanib, Google Drivega yuklab olindi.

ArcMap dasturida xaritalarni bir xil standartga keltirish (Vizualizatsiya). Yuklab olingan 12 ta oylik xaritani o'zaro to'g'ri solishtirish uchun ularni ArcMap dasturiga joylab, yagona shkala o'rnatildi. Agar har bir oyga o'z qiymatidan kelib chiqib rang berilsa, qishki va yozgi oylardagi haqiqiy farq ko'rinmay qolardi. Shuning uchun barcha oylarning ichidagi eng kichik va eng katta qiymatni topib, universal diapazon belgilandi. Xaritalarga "Stretched" va "Minimum-Maximum" usulida, xalqaro ekologik standartga mos ravishda "ko'k (toza) - yashil - sariq - qizil (yuqori ifloslanish)" ranglar majmuasi berildi. Bitta oy uchun yaratilgan tayyor stil andozasi (Layer File) qolgan 11 ta oyga ham bir xilda ko'chirildi.

Tadqiqot obyekti sifatida Xorazm vohasi tanlandi. Vohaning geografik joylashuvi va tadqiqot hududi chegaralari 1-rasmda keltirilgan.



2019–2025-yillar uchun Sentinel-5P/TROPOMI ma’lumotlari asosida tuzilgan oylik o‘rtacha NO₂ konsentratsiyasi xaritalari atmosfera ifloslanishining hudud bo‘yicha notekis taqsimlanganligini ko‘rsatdi (2-rasm).



2-rasm. Xorazm vohasida 2019–2025-yillar bo‘yicha NO₂ konsentratsiyasining oylik o‘rtacha fazoviy taqsimoti.

Xaritalar tahliliga

ko‘ra,

tadqiqot hududining shimoliy qismida NO₂ konsentratsiyasi nisbatan past bo‘lib, janubiy va janubi-sharqiy hududlarga tomon bosqichma-bosqich ortib borishi

kuzatildi. Konsentratsiyaning eng yuqori qiymatlari asosan Urganch, Beruniy, To‘rtko‘l va Dashoguz shaharlari hamda ularga tutash hududlarda shakllangan.

Fazoviy taqsimot xaritalarida vohaning markaziy va janubiy qismlarida sariq, to‘q sariq va qizil ranglarning ustunligi kuzatilsa, shimoliy hududlarda yashil ranglar saqlanib qolgan. Bu esa NO₂ konsentratsiyasining shimoldan janubga tomon ortib boruvchi geofazoviy gradient hosil qilganligini ko‘rsatadi.

Eng yuqori konsentratsiyalar quyidagi hududlarda qayd etildi:

- Urganch shahri va uning atrofida;
- Beruniy tumani hududida;
- To‘rtko‘l tumani atrofida;
- Dashoguz shahri va unga tutash hududlarda.

O‘rtacha konsentratsiyalar Nukus, Ko‘hna Urganch va Qo‘ng‘irot oralig‘idagi hududlarda kuzatilgan bo‘lsa, eng past konsentratsiyalar Chimboy va Qo‘ng‘irotning shimoliy qismlarida aniqlandi.

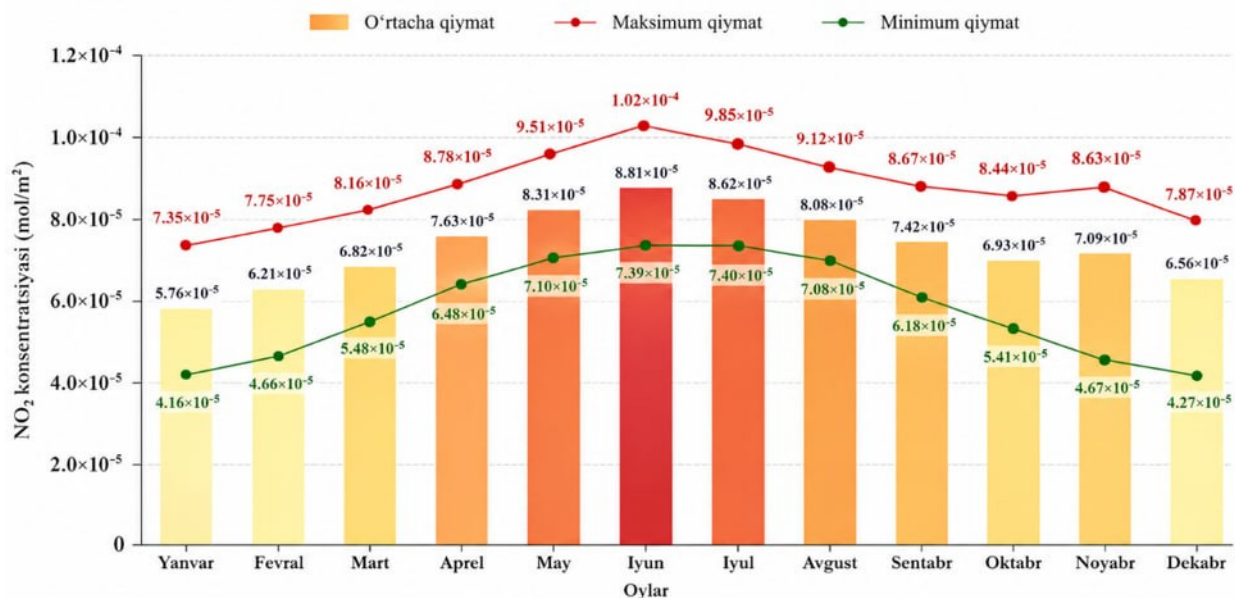
Hududiy tafovutlarning shakllanishida aholi zichligi, transport infratuzilmasining rivojlanganligi, energetika va qishloq xo‘jaligi faoliyatining intensivligi muhim rol o‘ynaydi. Ayniqsa, Urganch aglomeratsiyasi va unga yaqin hududlarda transport oqimining yuqoriligi NO₂ miqdorining ortishiga sabab bo‘luvchi asosiy omillardan biri hisoblanadi.

Shuningdek, vohaning janubiy qismida kuzatilgan yuqori konsentratsiyalar mintaqaning meteorologik sharoitlari, atmosfera sirkulyatsiyasi hamda Orolbo‘yi hududlaridan kirib keluvchi chang-aerozol oqimlari bilan ham bog‘liq bo‘lishi mumkin.

Fazoviy tahlil natijalari Xorazm vohasida NO₂ ifloslanishining asosiy o‘choqlari vohaning markaziy va janubiy hududlarida shakllanganligini ko‘rsatdi.

2019–2025-yillar davomida NO₂ konsentratsiyasining oylik o‘rtacha, maksimal va minimal qiymatlarining o‘zgarishi 3-rasmda keltirilgan.

2019-2025 YILLAR BO‘YICHA NO₂ KONSENTRATSIYASINING OYLIK O‘RTACHA, MAKSIMUM VA MINIMUM QIYMATLARI



3-rasm. 2019–2025-yillar davomida Xorazm vohasida NO₂ konsentratsiyasining oylik o‘rtacha, maksimal va minimal qiymatlarining o‘zgarishi.

Grafik tahlili natijalariga ko‘ra, atmosfera havosida NO₂ konsentratsiyasining yuqori mavsumiy va oylik davriyligi kuzatildi.

NO₂ ning o‘rtacha konsentratsiyasi qish oylaridan boshlab asta-sekin ortib borgan va yoz oylarida eng yuqori darajaga yetgan. O‘rtacha konsentratsiyaning maksimal qiymati iyun oyida 8.81×10^{-5} mol/m², iyul oyida esa 8.62×10^{-5} mol/m² ni tashkil etdi.

Minimal konsentratsiyalar ham yoz oylarida nisbatan yuqori bo‘lib, iyun va iyul oylarida mos ravishda 7.39×10^{-5} mol/m² va 7.40×10^{-5} mol/m² ni tashkil etdi.

Eng past minimal qiymatlar esa:

- Yanvar – 4.16×10^{-5} mol/m²
- Dekabr – 4.27×10^{-5} mol/m²

oylarida qayd etildi.

Olingan natijalar Xorazm vohasida NO₂ konsentratsiyasi yil davomida bir tekis taqsimlanmasligini va yoz faslida yuqori darajaga ko‘tarilishini ko‘rsatadi. Bunday holat mintaqaning quruq kontinental iqlimi, yuqori harorat sharoitida tuproq

va antropogen manbalardan chiqadigan azot birikmalari emissiyasining kuchayishi hamda fotokimyoviy jarayonlarning jadallashishi bilan izohlanishi mumkin.

Qish mavsumida esa atmosfera namligining ortishi, yog‘ingarchilik hodisalari va havo almashinuvining kuchayishi natijasida NO₂ konsentratsiyasining kamayishi kuzatiladi.

Xulosa. Mazkur tadqiqotda 2019–2025-yillar davomida Xorazm vohasi atmosfera havosidagi azot dioksidi (NO₂) konsentratsiyasining fazoviy-vaqt bo‘yicha o‘zgarishlari Sentinel-5P sun‘iy yo‘ldosh ma’lumotlari va geoinformatsion texnologiyalar asosida tahlil qilindi. Olingan natijalar NO₂ konsentratsiyasining yil davomida sezilarli mavsumiy va hududiy o‘zgarishlarga ega ekanligini ko‘rsatdi.

Diagramma tahliliga ko‘ra, NO₂ konsentratsiyasi qish oylarida eng past, bahor va yoz oylarida esa yuqori qiymatlarni qayd etgan. O‘rtacha konsentratsiyaning maksimal qiymati iyun oyida $8,81 \times 10^{-5}$ mol/m² ni, minimal qiymati esa yanvar oyida $5,76 \times 10^{-5}$ mol/m² ni tashkil etdi. Maksimal konsentratsiyaning eng yuqori ko‘rsatkichi ham iyun oyida $1,02 \times 10^{-4}$ mol/m² ga yetganligi aniqlandi.

Fazoviy taqsimot xaritalari NO₂ konsentratsiyasining voha hududida notekis tarqalganligini ko‘rsatdi. Yuqori konsentratsiyalar asosan Urganch, Beruniy, To‘rtko‘l va Dashoguz shaharlari hamda ularga tutash hududlarda kuzatilgan bo‘lsa, nisbatan past qiymatlar vohaning shimoliy qismida qayd etildi. Bu holat hududdagi transport harakati, aholi zichligi, xo‘jalik faoliyati va atmosfera sharoitlari bilan bog‘liq ekanligi aniqlandi.

Tadqiqot natijalari Xorazm vohasida NO₂ ifloslanishining asosiy o‘choqlari markaziy va janubiy hududlarda shakllanishini hamda yoz mavsumida ifloslanish darajasi kuchayishini ko‘rsatdi. Sentinel-5P ma’lumotlari va GIS texnologiyalari atmosfera havosi sifatini baholash va ekologik monitoringni olib borishda samarali vosita ekanligi tasdiqlandi.

Tavsiyalar. Xorazm vohasida atmosfera havosi sifatini muntazam nazorat qilish maqsadida Sentinel-5P ma'lumotlariga asoslangan doimiy monitoring tizimini yo'lga qo'yish tavsiya etiladi.

NO₂ konsentratsiyasi yuqori kuzatiladigan hududlarda, ayniqsa Urganch, Beruniy, To'rtko'l va ularga tutash hududlarda ekologik monitoring va nazorat tadbirlarini kuchaytirish maqsadga muvofiqdir.

Transport vositalaridan chiqadigan zararli gazlarni kamaytirish maqsadida ekologik standartlarga javob beruvchi yoqilg'ilar va zamonaviy transport texnologiyalaridan foydalanishni kengaytirish zarur.

NO₂ konsentratsiyasining o'zgarishlarini yanada aniqroq baholash yer usti kuzatuv stansiyalarini ko'paytirish lozim.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Acker, S., Holloway, T., & Harkey, M. (2025). Satellite detection of NO_2 distributions using TROPOMI and TEMPO and comparison with ground-based concentration measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 25, 8271–8288. <https://doi.org/10.5194/acp-25-8271-2025>

2. Ahmad, N., Lin, C., Lau, A. K. H., Kim, J., Zhang, T., Yu, F., Li, C., Li, Y., Fung, J. C. H., & Lao, X. Q. (2024). Estimation of ground-level NO_2 and its spatiotemporal variations in China using GEMS measurements and a nested machine learning model. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 24(16), 9645–9665. <https://doi.org/10.5194/acp-24-9645-2024>

3. Baxtiyorova, M. (2025). Xorazm vohasi atmosfera havosi tarkibi davriy o'zgarishining geofazoviy tahlili. *Экономика и социум*, 9-2 (136). <https://cyberleninka.ru/article/n/xorazm-vohasi-atmosfera-havosi-tarkibi-davriy-o-zgarishining-geofazoviy-tahlili>

4. Boymurodov, R. Z., & Jumandazorovich, M. M. (2024). Analysis of the influence of erosion on the desertification process in the Khorazm oasis using remote sensing data. *Actual Problems in Modern Technical Sciences*, June, 46-51.

5. Duncan, B. N., Lamsal, L. N., Streets, D. G., Ding, J., Lu, Z., Krotkov, N. A., Pickering, K. E., & Bjng, Y. (2016). Worldwide satellite-derived trends in NO_2 columns 2005–2014: Evidence of changing economic trends and emission controls. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(3), 1302–1323. <https://doi.org/10.1002/2015JD024121>

6. Fioletov, V., McLinden, C. A., Griffin, D., Krotkov, N., Lamsal, L., Marchenko, S., & Tammina, S. (2025). Global seasonal urban, industrial, and background NO_2 estimated from TROPOMI satellite observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 25(1), 575–593. <https://acp.copernicus.org/articles/25/575/2025/>
7. Geddes, J. A., Martin, R. V., Boys, B. L., & van Donkelaar, A. (2016). Long-term trends worldwide in ambient NO_2 concentrations inferred from satellite observations. *Environmental Health Perspectives*, 124(3), 281–289. <https://doi.org/10.1289/ehp.1409567>
8. Grzybowski, P. T., Kłos, A., Sobik-Szolysek, J., & Kłos, R. (2023). Estimations of the ground-level NO_2 concentrations using Sentinel-5P and ML methods. *Remote Sensing*, 15(2), 378. <https://doi.org/10.3390/rs15020378>
9. Huacani, W., Zuloaga, R., Sanchez, D., Meza, N. P., Aguirre, F., Yari, H., Vilca, E., & Luque, E. (2025). Analysis of atmospheric air pollutants (CO , NO_2 , and SO_2) through Sentinel-5P images in Google Earth Engine, Apurimac region, period 2020–2023. *Preprints*, 202508.0712. <https://doi.org/10.20944/preprints202508.0712.v1>
10. Huber, C., Lauer, A., & Hendricks, J. (2026). Global NO_2 changes between 2019 and 2024 as observed by TROPOMI in urban areas and emerging hotspots. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 26(7), 3783–3802. <https://acp.copernicus.org/articles/26/3783/2026/>
11. Ma, X., Long, S., Han, L., & Zhang, Y. (2021). Spatial and temporal variations of atmospheric NO_2 and SO_2 over Central Asia based on satellite data. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(40), 56340–56355. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16345-w>
12. Matchanov, M. J., Ibragimov, O. A., & Matchanov, O. J. (2025). Xorazm vohasining O‘zbekiston qismida qurg‘oqchilik xavfiga moslashishning geoekologik chora-tadbirlari. “Ekologik xavfsizlik va aholini ijtimoiy muhofaza qilish” mavzusidagi ilmiy-amaliy anjuman materiallari to‘plami, Mehnat va ijtimoiy munosabatlar akademiyasi (MIMA), 1-6.
13. Matchanov, O. J., va boshqalar. (2026). Antropogen qurg‘oqchilikni o‘rganish, oldini olish va monitoringini yuritishning ahamiyati. *Экономика и социум*, 3-2 (142), 345-353.
14. Richter, A., Burrows, J. P., Nüß, H., Granier, C., & Niemeier, U. (2005). Global trends and seasonal variability of tropospheric NO_2 as seen by GOME. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5(6), 1731–1741. <https://acp.copernicus.org/articles/5/1731/2005/>
15. Wei, J., Liu, S., Li, Z., & Zhang, L. (2022). Ground-level NO_2 surveillance from space across China for high resolution using interpretable spatiotemporally weighted artificial

intelligence. Environmental Science & Technology, 56(14), 9988–9998.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.2c03834>

16. Allanazarov D.Ya., Adambayev A.R., Ibragimov O.D., Xaytimmatov S.X. GOOGLE EATH ENGINE PLATFORMASI ASOSIDA TUYAMO‘YIN SUV OMBORINI YUZA SUV SATHINI O‘ZGARISHINI TAXLIL QILISH // Экономика и социум. 2024. №6-1 (121). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/google-eath-engine-platformasi-asosida-tuyamo-yin-suv-omborini-yuza-suv-sathini-o-zgarishini-taxlil-qilish> (murojaat qilingan sana: 12.06.2026).

17. Matchanov M.J., Jumaboyev R.R., Allanazarov D.Ya. YERLARNI SHO‘RLANISHINI SUNIY YO‘LDOSHLARDAN OLINGAN MA‘LUMOTLAR ASOSIDA ANIQLASH // Экономика и социум. 2023. №6-1 (109). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/yarlarni-sho-rlanishini-suniy-yo-ldoshlardan-olingan-ma-lumotlar-asosida-aniqlash> (murojaat qilingan sana: 12.06.2026).

18. Allanazarov D.Ya., Sadiqov S.Q. ZAMONAVIY GAT DASTURLARI ORQALI QISHLOQ XOJALIGI YERLARIDAN FOYDALANISH KARTALARINI TUZISH // Экономика и социум. 2023. №6-1 (109). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zamonaviy-gat-dasturlari-orqali-qishloq-xojaligi-yerlaridan-foydalanish-kartalarini-tuzish> (murojaat qilingan sana: 12.06.2026).