QO‘QON DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI ILMIY XABARLARI
(2026-yil 10-son)

TABIIY FANLAR
NATURAL SCIENCES

https://doi.org/10.70728/a.series.tab.v08.i10.135

UO‘K: 631.453

NAMANGAN SHAHAR TUPROQLARINING OG‘IR METALLAR VA NEFT MAHSULOTLARI BILAN ANTROPOGEN IFLOSLANISHI: ADABIYOTLAR TAHLILI

[1]Isaqov Valijon Yunusovich, [2]Solijonov Shahboz Zafarjon o‘g‘li
[1]Qo‘qon davlat universiteti, biologiya fanlari doktori, professor
ORCID: 0009-0009-6095-1768; e-mail: valijonisaqov247@gmail.com
[2]Qo‘qon davlat universiteti, tayanch doktorant
ORCID: 0009-0000-2066-6473; e-mail: solijonovshahboz96@gmail.com

Annotatsiya. Urbanizatsiya, transport oqimlari va sanoat-xizmat ko‘rsatish infratuzilmasining kengayishi shahar tuproqlariga tushadigan antropogen yuklamani kuchaytirmoqda. Maqolada Namangan shahar tuproqlarining og‘ir metallar va neft mahsulotlari bilan ifloslanish muammosi xalqaro, mintaqaviy va O‘zbekiston bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar hamda O‘zgidromet monitoring ma’lumotlari asosida tahlil qilindi. Urban tuproqlarda Pb, Cd, Zn, Cu, Cr va Ni transport, sanoat, chiqindilar va yoqilg‘i-moylash materiallari bilan bog‘liq holda to‘planishi; Olmaliq sanoat hududi va Mingbuloq neft koni atrofidagi tuproqlarda ifloslanishning manbadan uzoqlashgan sari kamayuvchi gradienti kuzatilishi ko‘rsatildi. O‘zgidromet monitoringida Namangan shahri uchun kislotada eruvchan mis va rux, neft mahsulotlari hamda sulfatlar ustuvor ifloslantiruvchilar sifatida qayd etilgan, biroq ayrim yillarda Pb, Zn, As va Hg ning o‘rtacha miqdorlari me’yordan oshmagan. Ifloslanishni “manba → tuproq xossalari → harakatchanlik → ekologik xavf” zanjiri asosida baholashning konseptual modeli va kelgusidagi dala-laboratoriya tadqiqotlari uchun ustuvor ko‘rsatkichlar taklif etildi.

Kalit so‘zlar: Namangan shahri; urban tuproqlar; antropogen ifloslanish; og‘ir metallar; neft mahsulotlari; PAH; tuproq monitoringi; ekologik xavf; fazoviy taqsimot.

Аннотация. Урбанизация, рост транспортных потоков и расширение промышленной и сервисной инфраструктуры усиливают антропогенную нагрузку на городские почвы. В статье на основе международных, региональных и отечественных исследований, а также данных мониторинга Узгидромета проанализирована проблема загрязнения почв г. Наманган тяжёлыми металлами и нефтепродуктами. Показано, что в городских почвах Pb, Cd, Zn, Cu, Cr и Ni накапливаются в связи с транспортом, промышленностью, отходами и горюче-смазочными материалами, а в почвах Алмалыкского промышленного района и нефтяного месторождения Мингбулак

загрязнение убывает по мере удаления от источника. По данным Узгидромета, приоритетными загрязнителями почв г. Наманган являются кислоторастворимые формы меди и цинка, нефтепродукты и сульфаты, однако в отдельные годы средние содержания Pb, Zn, As и Hg не превышали нормативов. Предложена концептуальная модель оценки загрязнения по цепи «источник → свойства почвы → подвижность → экологический риск» и приоритетные показатели для последующих полевых и лабораторных исследований.

Ключевые слова: г. Наманган; городские почвы; антропогенное загрязнение; тяжёлые металлы; нефтепродукты; ПАУ; мониторинг почв; экологический риск; пространственное распределение.

Abstract. Urbanization, growing traffic and the expansion of industrial and service infrastructure increase the anthropogenic load on urban soils. Drawing on international, regional and Uzbek studies and on Uzhydromet monitoring data, the paper reviews the contamination of soils in Namangan city with heavy metals and petroleum products. Pb, Cd, Zn, Cu, Cr and Ni accumulate in urban soils in connection with traffic, industry, waste and fuels and lubricants, while soils of the Almalyk industrial area and the Mingbulak oil field show contamination decreasing with distance from the source. Uzhydromet lists acid-soluble copper and zinc, petroleum products and sulfates as priority pollutants of Namangan soils, although in some years mean Pb, Zn, As and Hg contents did not exceed the permissible limits. A conceptual model for assessing contamination along the chain “source → soil properties → mobility → ecological risk” and a set of priority indicators for future field and laboratory studies are proposed.

Keywords: Namangan city; urban soils; anthropogenic contamination; heavy metals; petroleum products; PAHs; soil monitoring; ecological risk; spatial distribution.

1. KIRISH. Tuproq moddalar va energiya almashinuvi, o‘simliklarning oziqlanishi, suvning infiltratsiyasi va filtratsiyasi, uglerod aylanishi hamda ekotizimlar barqarorligini ta’minlovchi biosferaning asosiy tarkibiy qismidir. Shahar hududlarida tuproq tabiiy tuproq hosil bo‘lish jarayonlari bilan bir qatorda qurilish, transport, sanoat, maishiy faoliyat va chiqindilar ta’sirida shakllangan murakkab antropogen geotizimga aylanadi [1, 26]. Urban tuproqlarning asosiy xususiyati – yuqori fazoviy va kimyoviy o‘zgaruvchanlik: transport yo‘laklari, sanoat hududlari, turar-joy massivlari, yashil maydonlar, bozorlar va yoqilg‘i quyish shoxobchalari atrofidagi tuproqlar ifloslantiruvchilar tarkibi va miqdori bo‘yicha keskin farq qiladi [2, 4, 14].

Og‘ir metallarning ekologik xavfi ularning parchalanmasligi, tuproqda uzoq saqlanishi hamda o‘simliklar, mikroorganizmlar va oziq zanjiriga o‘tishi bilan belgilanadi [3, 10–12]. Metallar bilan bir qatorda neft mahsulotlari va politsiklik aromatik uglevodorodlar (PAH) ham transport, yoqilg‘i quyish shoxobchalari, avtoservis, neft mahsulotlarini saqlash va yoqilg‘i yonishi natijasida tuproqqa tushadi; ularning birgalikda mavjudligi tuproqning ekologik holatini yanada murakkablashtiradi [6, 20].

O‘zbekistonda tuproqlarning kimyoviy ifloslanishi asosan sanoat, kon-metallurgiya va qishloq xo‘jaligi hududlarida o‘rganilgan [5–7, 18], shahar tuproqlari esa kam tadqiq

qilingan. Namangan shahri bu jihatdan alohida qiziqish uyg‘otadi: u O‘zgidrometning shahar tuproqlari monitoringi tizimiga kiritilgan va monitoring ma’lumotlarida mis, rux, neft mahsulotlari va sulfatlar ustuvor ifloslantiruvchilar sifatida qayd etiladi [19]. Biroq shahar funksional zonalari bo‘yicha ifloslantiruvchilarning manbalari, fazoviy taqsimoti, tuproq xossalari bilan aloqasi va ekologik xavfi to‘g‘risida umumlashtirilgan ilmiy tahlil mavjud emas.

Maqolaning maqsadi – Namangan shahar tuproqlarining og‘ir metallar va neft mahsulotlari bilan ifloslanishiga oid mavjud ilmiy va monitoring ma’lumotlarini tizimli tahlil qilish hamda kelgusidagi dala-laboratoriya tadqiqotlari uchun ilmiy-metodik yo‘nalishlarni belgilash. Maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar qo‘yildi:

1) urban tuproqlarda og‘ir metallar va neft mahsulotlarining asosiy manbalari va tuproqqa tushish yo‘llarini tahlil qilish;

2) O‘zbekiston va Namangan viloyatidagi tegishli tadqiqotlarni umumlashtirib, Namangan sharoiti bilan taqqoslash;

3) Namangan shahri bo‘yicha O‘zgidromet monitoring ma’lumotlarini tahlil qilish;

4) kelgusidagi tadqiqotlar uchun namuna olish dizayni, ustuvor ko‘rsatkichlar va baholash indekslarini asoslash.

2. MATERIALLAR VA USULLAR

2.1. Tadqiqot hududi

Namangan shahri Farg‘ona vodiysining shimoliy qismida, Namangan viloyatining ma’muriy markazi sifatida joylashgan. Shahar maydoni – 145 km², aholisi – 731.3 ming kishi (2026-y. Iyul holatiga ko’ra). Iqlimi keskin kontinental, quruq: yillik o‘rtacha harorat +21.2°C dan +22.7°C gacha, yillik yog‘in miqdori 230 mm. Shahar hududida tipik bo‘z va och tusli-bo‘z tuproqlar tarqalgan bo‘lib, ular karbonatli, ishqoriy reaksiyali tuproqlardir. Shaharda asosiy sanoat tarmoqlari: yengil sanoat (to‘qimachilik va kiyim kechak), oziq-ovqat mahsulotlari, elektrotexnika va qurilish materiallari korxonalari, zich avtotransport tarmog‘i va yoqilg‘i quyish shoxobchalari joylashgan bo‘lib, ular tuproqqa antropogen yuklamaning asosiy manbalari hisoblanadi.

2.2. Adabiyotlarni qidirish va tanlash

Adabiyotlar Scopus, Web of Science, Google Scholar, eLIBRARY.ru va O‘zbekiston ilmiy jurnallari (scienceweb.uz va b.) bazalarida 2000–2026 yillar oralig‘ida qidirildi. Qidiruvda o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi quyidagi kalit so‘zlar va ularning birikmalari ishlatildi: “urban soils”, “heavy metals”, “petroleum hydrocarbons”, “PAHs”, “Uzbekistan”, “Namangan”, “городские почвы”, “тяжёлые металлы”, “нефтепродукты”, “shahar tuproqlari”, “og‘ir metallar”.

Tanlash mezonlari: (1) urban, sanoat yoki neft bilan ifloslangan tuproqlarda og‘ir metallar yoki neft mahsulotlarini o‘rganish; (2) taqriz qilingan nashr yoki rasmiy monitoring hisoboti bo‘lishi; (3) Markaziy Osiyoning quruq va yarim quruq sharoitlari yoki metodik jihatdan ahamiyatli xalqaro tajribaga tegishli bo‘lishi. Qidiruv natijasida 42 ta manba topildi, takrorlar va mezonlarga mos kelmaganlari chiqarilgandan so‘ng 27 tasi tahlilga kiritildi. Mazkur maqolada muallifning dala-laboratoriya natijalari keltirilmagan; ular dissertatsiya tadqiqoti doirasida alohida nashr etiladi.

2.3. Tahlil usuli

Tanlangan ma’lumotlar uch guruhga ajratildi: (1) manba va ifloslantiruvchi moddalar – transport, sanoat, neft mahsulotlari, chiqindilar [1, 8, 15]; (2) tuproqning javob reaksiyasi – pH, gumus, organik uglerod, NPK, mikrobiologik va fermentativ faollik, elementlarning harakatchanligi [7, 9, 13]; (3) ekologik xavf – fazoviy tarqalish, bioakkumulyatsiya, oziq zanjiriga o‘tish va inson salomatligiga ta’sir [3, 4, 12, 14]. Bu yondashuv ifloslantiruvchilarni sanab o‘tish bilan cheklanmay, “manba → tuproq xossalari → ifloslantiruvchining xatti-harakati → ekologik xavf” zanjirini tahlil qilish imkonini berdi.

3. NATIJALAR

3.1. Urban tuproqlarda og‘ir metallarning manbalari

Urban tuproqlarda og‘ir metallar ko‘p manbali jarayon natijasida to‘planadi: tabiiy geokimyoviy fondan tashqari transport, sanoat chiqindilari, qurilish materiallari, maishiy chiqindilar va yoqilg‘i yonishi asosiy antropogen manbalardir. Binner va hammualliflari Yevropaning 29 mamlakatidagi 143 ta shahar bo‘yicha 174 ta ilmiy ishni tahlil qilib, metall boyishining geogen va antropogen komponentlari mavjudligini hamda tadqiqot usullarini standartlashtirish zarurligini ko‘rsatgan [1]. Wei va Yang Xitoy shaharlari tuproqlari va yo‘l changida [2], Tong va hammualliflari esa Xitoyning 2003–2019-yillardagi urban tuproqlari bo‘yicha [4] og‘ir metallar miqdori, ifloslanish darajasi va salomatlik uchun xavf shaharlar va funksional zonalar bo‘yicha keskin farq qilishini aniqlagan. Pb, Zn va Cu urban hududlarda eng ko‘p qayd etiladigan elementlardir, Sb kabi kam o‘rganilgan elementlar ham ayrim shaharlarda yuqori xavf hosil qiladi [14].

Chiqindi poligonlari atrofidagi tuproqlar alohida lokal ifloslanish o‘choqlari hisoblanadi: Tehron poligoni atrofida metallar miqdori poligon yoshi bilan ortgan [8], Sabzevar shahri poligoni atrofida esa ifloslanish darajasi xaritalash orqali zonalarga ajratilgan [15].

3.2. O‘zbekiston va Namangan viloyatidagi tadqiqotlar

O‘zbekistonda tuproq ifloslanishiga oid asosiy tadqiqotlar 1-jadvalda umumlashtirildi.

Olmaliq hududidagi tadqiqotlar O‘zbekistonning yarim quruq sharoitida sanoat manbalaridan chiqadigan ifloslantiruvchilarni fazoviy gradient asosida o‘rganish samarali ekanini ko‘rsatadi [5, 6]. Navoiy sanoat zonasidagi tadqiqot esa ifloslanish sharoitida tuproqning gumus, NPK, pH va C:N ko‘rsatkichlarini birgalikda baholashni tavsiya etadi [7]. Namangan viloyatidagi Pop tumani ma’lumotlari viloyat hududida geokimyoviy monitoring uchun ilmiy baza mavjudligini ko‘rsatadi [17], biroq qishloq xo‘jaligi yerlari natijalarini shaharning urban tuproqlariga to‘g‘ridan-to‘g‘ri ko‘chirib bo‘lmaydi.

1-jadval. O‘zbekistonda tuproqlarning og‘ir metallar va organik ifloslantiruvchilar bilan ifloslanishiga oid tadqiqotlar

	Hudud	O‘rganilgan ko‘rsatkichlar	Asosiy natijalar
Kodirov, Shukurov, 2009 [5]	Olmaliq kon-metallurgiya hududi	17 ta metall va mikroelement (Cu, Zn, Pb, Cr, Co, Ni va b.), kimyoviy shakllari	21 ta nuqta, 5 ta radial transekt; metallar tarqalishi manbaga masofa bilan bog‘liq
Bandowe va b., 2021 [6]	Olmaliq sanoat hududi	29 ta PAH, metallar bilan aloqasi, xavf baholash	ΣPAH_{29} 41–2670 ng/g, ΣPAH_{16} (US EPA) 29–1940 ng/g; eng yuqori qiymat mis eritish zavodi yaqinida; yuqori molekulyar PAH yoqilg‘i yonishi bilan bog‘liq
Jabbarov va b., 2026 [7]	Navoiy sanoat zonasi	Gumus, N, P, K, pH, C:N	Gumus sanoat obyektlari yaqinida 0,91–1,09%, ~20 km uzoqdagi fon hududida 1,41%; gidromorf tuproqlarda pH barqaror
Pulatov va b., 2025 [17]	Namangan viloyati, Pop tumani	Cr, Mn, Pb, Cd, Ni, Zn, Cu	Qishloq xo‘jaligi massivlari bo‘yicha element miqdorlari aniqlangan
Jabbarov, 2019 [20]	Namangan viloyati, Mingbuloq neft koni	Neft mahsulotlari, havo-suv rejimi, gumus, NPK	Ifloslanish manbadan uzoqlashgan sari va profil chuqurligi bo‘yicha kamaygan
O‘zgidromet, 2019–2024 [19]	Namangan shahri	Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, As, neft mahsulotlari, NO_3^-, NH_4^+, SO_4^{2-}, F^-, pH, gumus	Ustuvor ifloslantiruvchilar: kislotada eruvchan Cu va Zn, neft mahsulotlari, sulfatlar

3.3. Neft mahsulotlari bilan ifloslanish

Tuproqqa tushgan neftning yengil fraksiyalari bug‘lanadi yoki migratsiyalanadi, og‘ir fraksiyalari esa organik modda va mineral zarrachalar bilan bog‘lanib, uzoq vaqt saqlanadi [6, 20]. Mingbuloq neft koni hududidagi o‘tloqi-allyuvial tuproqlarda ifloslanish manbadan uzoqlashgan sari va profil chuqurligi bo‘yicha kamaygan, shu bilan birga tuproqning havo, suv va oziqa rejimlari, gumus va NPK miqdori o‘zgargan [20]. Demak, neft bilan ifloslangan tuproqlarni baholashda faqat umumiy neft mahsulotlari miqdorini aniqlash yetarli emas, tuproqning fizik, kimyoviy va biologik xossalarini ham hisobga olish zarur. Namangan shahri uchun bu masala muhim, chunki neft mahsulotlari O‘zgidromet ma’lumotlarida shahar tuproqlarining ustuvor ifloslantiruvchilaridan biri sifatida qayd etilgan [19].

3.4. Og‘ir metallar va organik ifloslantiruvchilarning birgalikdagi ta’siri

Transport va sanoat manbalari bir vaqtning o‘zida og‘ir metallar, PAH va neft mahsulotlarining tushishiga sabab bo‘ladi, shuning uchun urban tuproqni bitta ifloslantiruvchi orqali baholash yetarli emas [1, 3, 6]. Olmaliqda PAH va metallar bir hududda birga qayd etilib, ular o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlik alohida tahlil qilingan [6]. Metallar tuproq mikroorganizmlari biomassasi, bakteriyalar jamoasi tuzilishi va fermentlar faolligini pasaytiradi, bunda Cd, Cu va Zn ning birgalikdagi ta’siri alohida e’tiborni talab qiladi [9–11, 13]. Shu sababli Namangan shahrida ifloslanishni multikomponent ifloslanish sifatida o‘rganish maqsadga muvofiq.

3.5. Tuproq xossalarining ifloslantiruvchilar harakatchanligiga ta’siri

Ifloslantiruvchining umumiy konsentratsiyasi uning ekologik xavfini to‘liq ifodalamaydi: xavf elementning kimyoviy shakli va harakatchanligiga bog‘liq. pH, organik modda, loy fraksiyasi va karbonatlar og‘ir metallarning sorbsiyasi va desorbsiyasini boshqaradi; kislotali sharoitda metallar harakatchanligi ortadi, neytral va ishqoriy sharoitda esa ular mineral va organik komponentlar bilan bog‘lanadi [3, 5, 6]. Namangan shahri tuproqlari karbonatli va ishqoriy bo‘lgani uchun metallarning katta qismi kam harakatchan shaklda bo‘lishi kutiladi; bu yalpi va harakatchan shakllarni alohida aniqlash zarurligini ko‘rsatadi. Ifloslangan tuproqlarni tiklashda tuproq fermentlari faolligi ham muhim ko‘rsatkich hisoblanadi [16].

3.6. Namangan shahri bo‘yicha monitoring ma’lumotlari

O‘zgidromet yirik shaharlarda tuproqlarning sanoat toksikantlari bilan ifloslanishini muntazam kuzatadi; monitoring dasturida Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, As, neft mahsulotlari, nitrat va ammoniy azoti, sulfatlar, ftoridlar, pH va gumus aniqlanadi [19]. 2019-yilgi ma’lumotlarda Namangan shahri uchun kislotada eruvchan mis va rux, neft mahsulotlari va sulfatlar ustuvor ifloslantiruvchilar sifatida qayd etilgan, nitrat azoti, harakatchan Cu, Pb va Zn, As va Hg ning o‘rtacha miqdorlari esa ruxsat etilgan chegaralardan oshmagan va ekstremal yuqori ifloslanish holatlari kuzatilmagan. 2024-yil ma’lumotlarida ham xuddi shu ifloslantiruvchilar ustuvor sifatida ko‘rsatilgan [19]. Monitoring natijalari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval. Namangan shahri tuproqlarida ifloslantiruvchilar miqdori (O‘zgidromet ma’lumotlari), mg/kg

Ko‘rsatkich	2019-y. o‘rtacha / maks.	2024-y. o‘rtacha / maks.	RECHK (ODK)	Ekologik holat va tahlil
Cu (kislotada eruvchan)	**12.4 – 24.1**	**14.2 – 26.2**	3.0 -100	Barqaror. Avtoservislar va metallga ishlov berish zonalari yaqinida lokal me'yordan oshish holatlari bor.
Zn (kislotada eruvchan)	**45.0 – 68.5**	**52.1 – 78.7**	23.0 -100	O'sish kuzatilgan. Sanoat va transport ta’sirida eng ko‘p to‘planadigan element (ayrim nuqtalarda 100+ mg/kg).
Pb	**18.5 – 21.3**	**20.1 – 24.5**	32.0	Kuchsiz antropogen yuklama. Transport ko‘payishi hisobiga yo‘l yoqalarida 5 yilda biroz ortgan.
Cd	**0.08 – 0.11**	**0.09 – 0.15**	0.5 – 1.0	Xavfsiz darajada. Ruxsat etilgan me'yordan sezilarli darajada past.
As	**4.2 – 8.9**	**5.0 – 11.4**	2.0 -5.0	Agrokimyoviy vositalar va tabiiy geologik fon hisobiga shahar atrofida biroz yuqori.
Hg	**0.02 – 0.04**	**0.02 – 0.05**	2.1	Minimal ko‘rsatkich. Shaharda yirik manbalar yo‘qligi sababli xavfsiz darajada.
Neft mahsulotlari	**30.0 – 380.0**	**45.0 – 420.0**	100.0	Yo‘l yoqalari, chorrahalar va AYoQShlar yaqinida kuchsiz va o‘rta darajadagi lokal ifloslanish belgilari bor.
Sulfatlar (SO_4^{2-})	**120.0 – 290.0**	**140.0 – 350.0**	500.0	Tabiiy-iqlimiy va geologik fonga mos, tuproq degradatsiyasiga olib keladigan darajada emas.

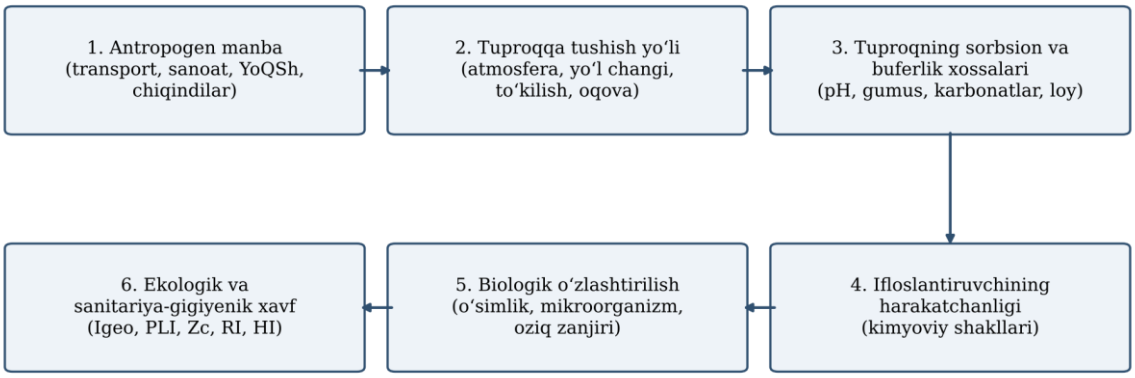
Izoh: “ustuvor ifloslantiruvchi” tushunchasi moddaning albatta me*’yordan oshganini anglatmaydi; u shu shahar uchun eng ko‘p qayd etiladigan yoki fondan yuqori bo‘lgan moddalarni bildiradi.*

Ushbu ma’lumotlar ifloslanishning mavjudligi bilan uning me’yordan oshishi tushunchalarini ajratib tahlil qilish zarurligini ko‘rsatadi. Shahar bo‘yicha o‘rtacha qiymatlar

me’yor doirasida bo‘lsa ham, alohida funksional zonalarda, ayniqsa transport magistrallari va yoqilg‘i quyish shoxobchalari atrofida lokal yuqori qiymatlar bo‘lishi mumkin.

4. MUHOKAMA

Tahlil Namangan shahar tuproqlarining ifloslanishini uch o‘zaro bog‘liq darajada ko‘rib chiqish zarurligini ko‘rsatdi. **Birinchi daraja – manbalar.** Transport metallar va uglevodorodlarning diffuz manbai, sanoat obyektlari va chiqindi poligonlari lokal ifloslanish o‘choqlari, yoqilg‘i quyish shoxobchalari, avtoservis va neft mahsulotlari omborlari esa neft mahsulotlarining potensial lokal manbalaridir [6, 8, 15]. **Ikkinchi daraja – tuproqda tutib qolinish va harakatlanish.** Urban tuproqlarning fizik-kimyoviy xossalari tabiiy tuproqlardan farq qilgani sababli bir xil miqdordagi metall turli sharoitda turlicha xavf tug‘diradi [3, 26]. **Uchinchi daraja – inson salomatligi va ekotizim uchun xavf.** Metallar o‘simliklar va oziq zanjiri orqali hamda chang zarrachalari bilan inson organizmiga tushadi [3, 4, 12]. Bu darajalarni birlashtiruvchi konseptual model 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Urban tuproqlarning ifloslanishini baholashning konseptual modeli

Binner va hammualliflari turli metodikalar sababli shaharlararo taqqoslash qiyinligini ko‘rsatgan [1]. Shu sababli Namanganda namuna olish chuqurligi (masalan, 0–5, 5–20 va 20–50 sm), nuqtalar joylashuvi, fon hududi, ekstraksiya usullari va statistik ishlov oldindan standartlashtirilishi kerak. Monitoring ma’lumotlarining ikki tomonlamaligi – mis, rux, neft mahsulotlari va sulfatlar ustuvor, lekin Pb, Zn, As va Hg ning o‘rtacha miqdorlari me’yor doirasida [19] – “ifloslangan” yoki “ifloslanmagan” kabi umumiy xulosadan ko‘ra fazoviy differensial yondashuv muhimroq ekanini ko‘rsatadi. Shahar transport magistrallari, sanoat zonalari, yoqilg‘i quyish shoxobchalari, turar-joylar, yashil hududlar va fon hududi bo‘yicha alohida guruhlarga ajratib o‘rganilishi lozim. Mingbuloq va Olmaliq tadqiqotlari Namangan uchun to‘g‘ridan-to‘g‘ri ko‘rsatkich bo‘la olmaydi, ammo lokal manbalar atrofida masofaga asoslangan namuna olish dizayni uchun metodik analog hisoblanadi [5, 6, 20]. Farg‘ona vodiysining boshqa shaharlarida (Farg‘ona, Qo‘qon) funksional zonalar bo‘yicha olib borilayotgan tadqiqotlar [27] ham bu yondashuvning samaradorligini tasdiqlaydi.

Ifloslanishni baholashda konsentratsiyaning o‘zi emas, balki fon qiymatiga nisbatan boyish darajasi va ekologik xavf ham aniqlanishi kerak. Buning uchun quyidagi indekslar tavsiya etiladi: geoakkumulyatsiya indeksi Igeo [21], ifloslanish koeffitsiyenti CF va ifloslanish yuklamasi indeksi PLI [22], potensial ekologik xavf indeksi RI [23], jami ifloslanish ko‘rsatkichi Zc [24] hamda inson salomatligi uchun xavf ko‘rsatkichi HI [25]. Fon qiymatlari sifatida shahar atrofidagi kam o‘zgargan tuproqlar ma’lumotlaridan foydalanish maqsadga muvofiq.

Tadqiqot bo‘shlig‘i

Namangan bo‘yicha mavjud ma’lumotlar uch guruhga bo‘linadi: (1) davlat monitoringi shahar tuproqlaridagi sanoat toksikantlarini muntazam kuzatadi, lekin funksional zonalar bo‘yicha batafsil ma’lumot bermaydi [19]; (2) viloyatda qishloq xo‘jaligi yerlari va neft koni hududidagi tuproqlar bo‘yicha alohida tadqiqotlar mavjud [17, 20]; (3) xalqaro adabiyotlarda urban tuproqlar ifloslanishini baholashning ko‘plab indeks va statistik usullari ishlab chiqilgan [1, 2, 4, 14, 21–25]. Biroq Namangan shahrida og‘ir metallar, neft mahsulotlari, tuproqning fizik-kimyoviy xossalari va fazoviy taqsimotni yagona tadqiqot dizayni asosida birlashtirgan kompleks baholash hali amalga oshirilmagan. Ushbu maqolaning ilmiy natijasi – Namangan shahar tuproqlarining ifloslanishini “metall – neft mahsulotlari – tuproq xossalari – fazoviy manba” tizimi sifatida o‘rganish zarurligining asoslanishi.

5. XULOSA

1) Urban tuproqlar antropogen kelib chiqqan og‘ir metallar va organik ifloslantiruvchilarni to‘plovchi geokimyoviy muhit bo‘lib, ularda Pb, Cd, Zn, Cu, Cr va Ni ning miqdori va fazoviy taqsimoti transport, sanoat va chiqindilar bilan bog‘liq holda keskin o‘zgaradi.

2) O‘zbekistondagi tadqiqotlar (Olmaliq, Navoiy, Mingbuloq) ifloslanishning manbadan uzoqlashgan sari kamayuvchi gradientini ko‘rsatadi; bu Namangan shahrida lokal manbalar atrofida masofaga asoslangan namuna olish dizaynini qo‘llashni asoslaydi.

3) O‘zgidromet ma’lumotlariga ko‘ra Namangan shahri tuproqlarida kislotada eruvchan mis va rux, neft mahsulotlari va sulfatlar ustuvor ifloslantiruvchilardir, ayrim yillarda Pb, Zn, As va Hg ning o‘rtacha miqdorlari me’yordan oshmagan. Bu funksional zonalar bo‘yicha differensial baholash zarurligini ko‘rsatadi.

4) Og‘ir metallar va neft mahsulotlarini alohida emas, birgalikdagi antropogen yuklama sifatida, “manba → tuproq xossalari → harakatchanlik → biologik o‘zlashtirilish → ekologik xavf” modeli asosida o‘rganish taklif etiladi.

5) Kelgusidagi laboratoriya tadqiqotlari uchun ustuvor ko‘rsatkichlar: Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Cr, As va Hg ning yalpi va harakatchan shakllari; neft mahsulotlari va imkon qadar PAH; pH, gumus (organik uglerod), karbonatlar, mexanik tarkib va sulfatlar.

6) Natijalarni baholashda fon qiymatlari va REChK bilan taqqoslash, Igeo, PLI, Zc, RI va HI indekslari hamda GAT asosida fazoviy xaritalashdan foydalanish tavsiya etiladi.

7) Namangan shahrini sanoat zonalari, asosiy transport yo‘llari, yoqilg‘i quyish shoxobchalari, turar-joylar, yashil hududlar va fon hududi bo‘yicha o‘rganish ifloslanishning hududiy xususiyatlarini aniqlash va shahar tuproq-ekologik monitoringini takomillashtirish uchun ilmiy asos bo‘ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Binner H., Sullivan T., Jansen M.A.K., McNamara M.E. Metals in urban soils of Europe: A systematic review // Science of the Total Environment. 2023. Vol. 854. Art. 158734. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.158734.

2. Wei B., Yang L. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China // Microchemical Journal. 2010. Vol. 94(2). P. 99–107. DOI: 10.1016/j.microc.2009.09.014.

3. Ali H., Khan E., Ilahi I. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation // Journal of Chemistry. 2019. Art. 6730305. DOI: 10.1155/2019/6730305.

4. Tong S., Li H., Wang L., Tudi M.,Yang Li. Concentration, spatial distribution, contamination degree and human health risk assessment of heavy metals in urban soils across China between 2003 and 2019 – A systematic review // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. Vol. 17(9). Art. 3099. DOI: 10.3390/ijerph17093099.

5. Kodirov O., Shukurov N. Heavy metal distribution in soils near the Almalyk mining and smelting industrial area, Uzbekistan // Acta Geologica Sinica (English Edition). 2009. Vol. 83(5). P. 985–990. DOI: 10.1111/j.1755-6724.2009.00127.x.

6. Bandowe B.A.M., Shukurov N., Leimer S., Kersten M., Steinberger Y., Wilcke W. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soils of an industrial area in semi-arid Uzbekistan: spatial distribution, relationship with trace metals and risk assessment // Environmental Geochemistry and Health. 2021. Vol. 43(11). P. 4847–4861. DOI: 10.1007/s10653-021-00974-3.

7. Jabbarov Z.A., Fakhrutdinova M., Imomov O., Aliboeva M. Chemical properties of takyr-meadow and meadow-alluvial soils affected by chemical contamination // Integrated Systems: AI-Augmented Engineering. Springer, 2026. P. 171–179. DOI: 10.1007/978-3-032-21981-7_14.

8. Beinabaj S.M.H., Heydariyan H., Aleii H.M., Hosseinzadeh A. Concentration of heavy metals in leachate, soil and plants around Tehran landfill: Effect of landfill age on contamination intensity // Heliyon. 2023. Vol. 9. e13017. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e13017.

9. Hu Y. et al. Effects of mining wastewater discharge on heavy metal pollution and soil enzyme activity in rice paddies // Journal of Geochemical Exploration. 2014. Vol. 147(B). P. 139–150. DOI: 10.1016/j.gexplo.2014.08.001.

10. Kandeler E. et al. Structure and function of microbial communities in heavy-metal contaminated soil // Biology and Fertility of Soils. 2000. Vol. 32. P. 390–400. DOI: 10.1007/s003740000268.

11. Song J., Shen Q., Wang L., Qui G., Shi J. Xu J. Effects of Cd, Cu and Zn on microbial biomass and bacterial community structure and their combined effects // Environmental Pollution. 2018. Vol. 243. P. 510–518. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.09.011.

12. Luo C., Liu C., Wang Y., Liu S., Li F., Chjan G Heavy metal contamination in soils and vegetables near an e-waste recycling site in South China // Journal of Hazardous Materials. 2011. Vol. 186(1). P. 481–490. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.11.024.

13. Mench M., Renella G., Gelsomino A. et al. Biochemical parameters and bacterial species richness in metal-contaminated and reclaimed soils // Environmental Pollution. 2006. Vol. 144(1). P. 24–31. DOI: 10.1016/j.envpol.2006.01.014.

14. Ruhani A., Makki M., Hejcman M., Shirzad R., Gusiatin M.Z. Heavy metal risk assessment and spatial distribution in urban soil in Bojnurd, Iran, with emphasis on Sb // Sustainability. 2023. Vol. 15(4). Art. 3495. DOI: 10.3390/su15043495.

15. Kowsari M.H., Saghi M.H., Ashoori R. Assessment and mapping of heavy metal pollution severity in soils around Sabzevar municipal landfill // Journal of Environmental Health and Sustainable Development. 2022. Vol. 7(1). P. 1547–1560. DOI: 10.18502/jehsd.v7i1.8965.

16. Gianfreda L., Rao M.A. Potential of extracellular enzymes in the remediation of contaminated soils: A review // Enzyme and Microbial Technology. 2004. Vol. 35(4). P. 339–354. DOI: 10.1016/j.enzmictec.2004.05.006.

17. Pulatov M., Abduraxmonov N., Qalandarov N. Sug‘oriladigan sur tusli qo‘ng‘ir tuproqlarning ayrim xossa-xususiyatlari // Agro kimyo himoya va o‘simliklar karantini. 2025. 419-421 b https://agrokarantin.uz/media/f48e7566-a03d-4d96-a23b-fc4a0d170208/maqola.pdf?v=1786608733

18. Sultanova Mirkhaydarova G., Ruzmetov M., Turdaliev J. Factors and problems of chemical pollution of soils in Uzbekistan // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 563. Art. 03032. DOI: 10.1051/e3sconf/202456303032.

19. O‘zbekiston Respublikasi Gidrometeorologiya xizmati agentligi. Atrof-muhit ifloslanishi monitoringi ma’lumotlari (Tuproq ifloslanishi dinamikasi, 2019–2024 yy.). – URL: meteo.uz

20. Jabbarov Z.A. Neft bilan ifloslangan o‘tloqi-allyuvial tuproqlarning ayrim xossalarini o‘zgarishi va uning rekultivatsiyasi (Namangan viloyati “Mingbuloq” neft koni hududidagi tuproqlar misolida): Avtoreferat.Toshkent. 2008. DOI: 10.13140/RG.2.2.25789.82401

21. Müller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River // GeoJournal. 1969. Vol. 2(3). P. 108–118.

22. Tomlinson D.L., Wilson J.G., Harris C.R., Jeffrey D.W. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index // Helgoländer Meeresuntersuchungen. 1980. Vol. 33. P. 566–575.

23. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach // Water Research. 1980. Vol. 14(8). P. 975–1001.

24. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.

25. US EPA. Risk Assessment Guidance for Superfund. Vol. I: Human Health Evaluation Manual (Part A). EPA/540/1-89/002. Washington, DC, 1989.

26. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.

27. Isaqov V.Yu., Tadjibaeva L.A. [Farg‘ona shahrining geokimyoviy landshaftlari, ularning o’ziga xos xususiyatlari . Fardu ilmiy xabarlari, 2024, 2-son, 129 b. DOI: 10.56292/SJFSU/vol30_iss2/a129