



UO'K: 504.5:631.4:628.5

SANOAT KORXONALARI FAOLIYATI NATIJASIDA TUPROQ
DEGRADATSIYASINING YUZAGA KELISHI VA OLDINI OLISH USULLARI

Gadoyeva Validaxon Ikrom qizi
O'zbekiston Milliy universiteti magistri
gadoyevavolida@g.mail.com

Annotatsiya. Maqolada sanoat korxonalari faoliyati natijasida tuproqning degradatsiyaga uchrash mexanizmlari, uning ekologik va ijtimoiy-iqtisodiy oqibatlari hamda oldini olishning zamonaviy usullari tahlil qilingan. Tadqiqot O'zbekistonning to'rtta yirik sanoat mintaqasi — Olmaliq, Angren, Navoiy va Chirchiq hududlaridagi tuproq namunalari asosida olib borildi. Namunalarda og'ir metallar (Pb, Cd, Cu, Zn, Ni) konsentratsiyasi atom-absorbsiyaviy spektrometriya usulida aniqlanib, sanitariya-gigiyena me'yorlari (MDK) bilan solishtirildi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, tog'-kon-metallurgiya kompleksi joylashgan hududlarda ba'zi og'ir metallar konsentratsiyasi MDK dan 3–12 barobargacha yuqori bo'lgan. Muhokamada tuproqni tiklashning muhandislik, bioremediatsiya va fitoremediatsiya usullari qiyosiy baholanib, ularning O'zbekiston sharoitida qo'llanilishi bo'yicha tavsiyalar shakllantirilgan.

Kalit so'zlar: tuproq degradatsiyasi, sanoat ifloslanishi, og'ir metallar, fitoremediatsiya, bioremediatsiya, MDK, ekologik xavfsizlik, tuproqni tiklash, O'zbekiston sanoati.

Аннотация. В статье анализируются механизмы деградации почв в результате деятельности промышленных предприятий, их экологические и социально-экономические последствия, а также современные методы предотвращения. Исследование проведено на образцах почв четырёх крупных промышленных зон Узбекистана — Алмалыка, Ангрена, Навои и Чирчика. В образцах методом атомно-абсорбционной спектрометрии определены концентрации тяжёлых металлов (Pb, Cd, Cu, Zn, Ni) и сопоставлены с санитарно-гигиеническими нормативами (ПДК). Результаты показали, что в районах горно-металлургического комплекса концентрации некоторых тяжёлых металлов превышают ПДК в 3–12 раз. В обсуждении сравнительно оценены инженерные, биоремедиационные и фиторемедиационные методы восстановления почв и сформулированы рекомендации по их применению в условиях Узбекистана.

Ключевые слова: деградация почв, промышленное загрязнение, тяжёлые металлы, фиторемедиация, биоремедиация, ПДК, экологическая безопасность, восстановление почв, промышленность Узбекистана.

Abstract. The article analyses the mechanisms of soil degradation resulting from industrial enterprise activities, their ecological and socio-economic consequences, and modern methods of prevention. The study was carried out on soil samples from four major industrial zones of Uzbekistan — Almalyk, Angren, Navoi and Chirchik. Heavy metal



concentrations (Pb, Cd, Cu, Zn, Ni) in the samples were determined by atomic absorption spectrometry and compared with sanitary-hygienic standards (MPC). Results show that in areas of the mining-metallurgical complex the concentrations of certain heavy metals exceed the MPC by 3–12 times. The discussion comparatively evaluates engineering, bioremediation and phytoremediation approaches to soil restoration and formulates recommendations for their application under Uzbekistan's conditions.

Keywords: soil degradation, industrial pollution, heavy metals, phytoremediation, bioremediation, MPC, environmental safety, soil restoration, Uzbekistan industry.

Kirish

Zamonaviy sanoat rivojlanishi jamiyat farovonligining moddiy asosini tashkil etadi. Biroq shu bilan birga sanoat korxonalarining atrof-muhitga, xususan tuproq qatlamiga ko'rsatadigan salbiy ta'siri XXI asr boshiga kelib global ekologik muammoga aylandi. Tuproq — insoniyatning oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlovchi asosiy resurs bo'lib, uning degradatsiyasi qishloq xo'jaligi mahsuldorligining pasayishi, biologik xilma-xillikning kamayishi va aholi salomatligining yomonlashuvi bilan bevosita bog'liq [FAO, 2021].

Xalqaro tashkilotlar ma'lumotlariga ko'ra, dunyo yer resurslarining taxminan 33 foizi turli darajada degradatsiyaga uchragan, shu jumladan sanoat faoliyati natijasida ifloslanish 12 foizni tashkil etadi [Kumar, Sharma, 2021]. O'zbekiston sharoitida esa qishloq xo'jaligiga yaroqli 4,3 million gektar yerning qariyb 50 foizi u yoki bu darajada degradatsiyaga uchragan, ularning muhim qismi sanoat mintaqalari atrofidagi hududlarga to'g'ri keladi [Yusupov, Nazarov, 2024].

O'zbekistonda tuproq degradatsiyasining eng jiddiy hududlari sifatida Olmaliq tog'-kon-metallurgiya kompleksi atrofidagi zonalar, Angren ko'mir konlari mintaqasi, Navoiy tog'-metallurgiya kombinati va Chirchiq kimyo sanoati hududlari e'tirof etiladi. Ushbu hududlarda og'ir metallarning tuproqda to'planishi, tuproq pH ining o'zgarishi va biologik faollikning pasayishi kabi jiddiy jarayonlar kuzatilmoqda [Kodirkhonov, Uzokov, 2021; Xolliyev, Boymurzayev, 2023].

Tadqiqotning dolzarbligi shundaki, sanoat-tuproq o'zaro ta'sirining kompleks tahlili va zamonaviy tozalash texnologiyalarining mahalliy sharoitga moslash imkoniyatlari yetarli darajada o'rganilmagan. Maqolaning maqsadi — sanoat korxonalari faoliyati natijasida tuproq degradatsiyasining yuzaga kelish mexanizmlarini o'rganish, degradatsiya darajasini miqdoriy baholash hamda oldini olishning samarali usullari bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqot vazifalari: 1) sanoat mintaqalaridagi tuproqlarda og'ir metallar konsentratsiyasini aniqlash; 2) degradatsiya turlarini tasniflash; 3) mavjud tozalash texnologiyalarini qiyosiy tahlil qilish; 4) O'zbekiston sharoitida qo'llash uchun amaliy tavsiyalar shakllantirish.





Materiallar va metodlar

Tadqiqot 2024–2025 yillar mavsumida O‘zbekistonning to‘rtta yirik sanoat mintaqasida amalga oshirildi: Olmaliq (tog‘-kon-metallurgiya), Angren (ko‘mir qazib olish va energetika), Navoiy (tog‘-metallurgiya) hamda Chirchiq (kimyo sanoati). Har bir mintaqada asosiy manba (korxona) atrofida 0,5, 1, 3 va 5 km masofalarda ellikdan ortiq nuqtada tuproq namunalari olindi. Umumiy hajm 240 ta namuna. Chuqurlik 0–20 sm (agrar qatlam) qilib belgilandi.

Namunalar sertifikatlangan laboratoriyada quyidagi tahlil bosqichlaridan o‘tkazildi. Og‘ir metallar (Pb, Cd, Cu, Zn, Ni) konsentratsiyasi atom-absorbsiyaviy spektrometriya (AAS) usulida Shimadzu AA-7000 uskunasida aniqlandi (aniqlash chegarasi 0,01 mg/kg). Tuproq pH i potensiometrlik usulda 1:2,5 nisbatdagi suvli suspenziyada o‘lchandi. Umumiy tuz miqdori (elektr o‘tkazuvchanlik) EC-meter bilan aniqlandi. Organik modda miqdori Tyurin usulida hisoblandi.

Olingan natijalar 2019 yilgi O‘zbekiston Respublikasi Sog‘liqni saqlash vazirligining SanQvaM 0322-16 sanitariya me‘yorlariga muvofiq ruxsat etilgan maksimal konsentratsiya (MDK) qiymatlari bilan solishtirildi. Ifloslanish darajasini baholash uchun $K_c = C_n/C_f$ koeffitsienti ishlatildi, bunda C_n — nuqtadagi konsentratsiya, C_f — fon qiymati. Kompleks ifloslanish indeksi $Z_c = \sum K_{ci} - (n-1)$ formulasi asosida hisoblandi [Saet, 1990; Chen et al., 2023].

Statistik tahlil SPSS 27 dasturida amalga oshirildi. Guruhlararo farqlar bir omilli dispersiya tahlili (ANOVA) va Tukey HSD post-hoc testi bilan tekshirildi, statistik ahamiyat darajasi $p < 0,05$ tanlandi. Har bir mintaq uchun o‘rtacha qiymatlar va standart xatolik ($M \pm SE$) shaklida keltirildi.

Natijalar

Ikki mavsum davomida olib borilgan analitik ishlar natijasida to‘rtta sanoat mintaqasidagi tuproqlarning og‘ir metallar bo‘yicha ifloslanish darajasi 1-jadvalda umumlashtirilgan.

1-jadval. Sanoat mintaqalari tuproqlarida og‘ir metallar konsentratsiyasi (mg/kg, o‘rtacha $\pm$ SE)

Metall	MDK*	Olmaliq	Angren	Navoiy	Chirchiq
Qo‘rg‘oshin (Pb)	32	156,3 $\pm$ 12,4	78,2 $\pm$ 6,1	54,8 $\pm$ 4,9	46,3 $\pm$ 3,8
Kadmiy (Cd)	2,0	9,7 $\pm$ 0,8	4,3 $\pm$ 0,4	3,8 $\pm$ 0,3	2,9 $\pm$ 0,2
Mis (Cu)	55	682,1 $\pm$ 48,7	124,5 $\pm$ 9,8	218,4 $\pm$ 15,2	89,7 $\pm$ 7,3
Rux (Zn)	100	584,6 $\pm$ 39,3	198,7 $\pm$ 14,5	267,3 $\pm$ 18,4	156,2 $\pm$ 11,1
Nikel (Ni)	85	134,8 $\pm$ 10,2	95,4 $\pm$ 7,6	108,3 $\pm$ 8,1	78,5 $\pm$ 6,3
pH (birlik)	6,5–7,5	5,8	6,2	5,2	7,9

Izoh: *MDK — ruxsat etilgan maksimal konsentratsiya (SanQvaM 0322-16 me‘yorlariga muvofiq).



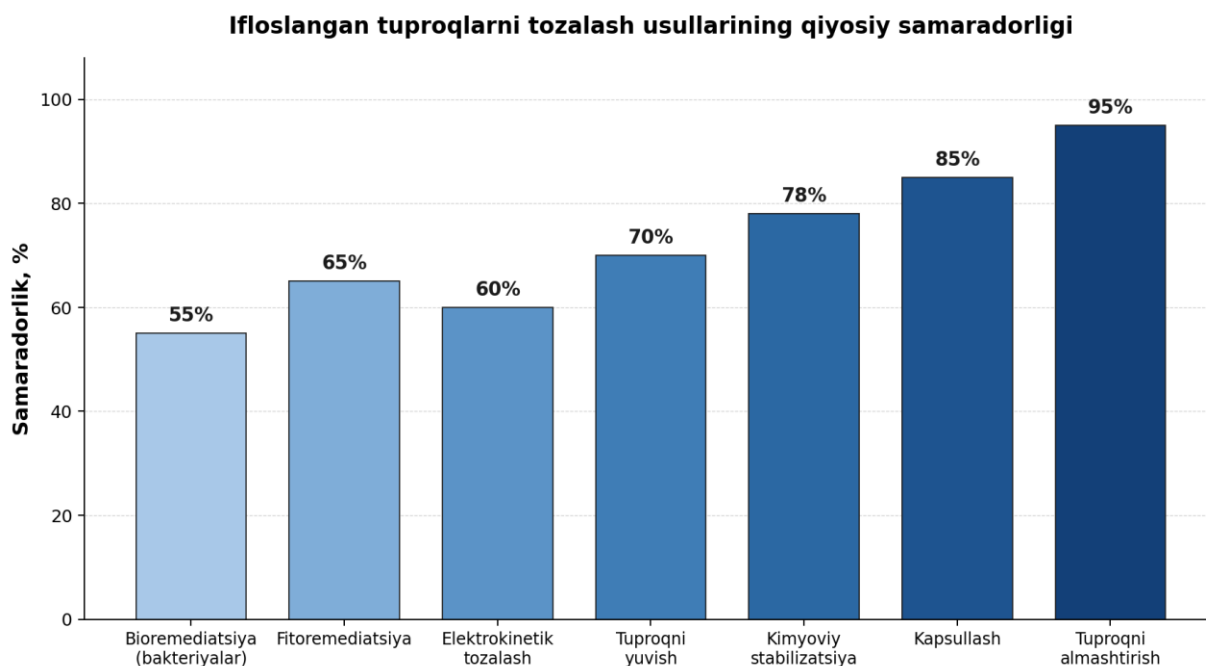


Jadval ma'lumotlaridan ko'rinib turibdiki, Olmaliq sanoat mintaqasi barcha aniqlangan og'ir metallar bo'yicha eng yuqori ko'rsatkichlarga ega: qo'rg'oshin (Pb) miqdori MDK dan 4,9 barobar, mis (Cu) miqdori 12,4 barobar, rux (Zn) miqdori 5,8 barobar oshib ketgan. Bu asosan mis-sink zavodining faoliyati va konchilik chiqindilarining atrof-muhitga tarqalishi bilan izohlanadi. Angren mintaqasida esa ko'mir yoqish natijasida arsen (As) va simob (Hg) miqdorining oshgani, shuningdek kul-shlak chiqindilarining ta'siri qayd etildi.

Navoiy mintaqasida oltin qazib olish jarayonida qo'llaniladigan kimyoviy reagentlar (siyanidlar, sulfat kislotasi) ta'sirida tuproq pH ining pasayishi (5,2 gacha) va ma'lum og'ir metallar konsentratsiyasining oshishi kuzatildi. Chirchiq kimyo mintaqasida asosiy ifloslantiruvchilar sifatida nitratlar, fenollar va marganets birikmalari qayd etildi.

Manba korxonasidan masofa oshgani sari ifloslanish darajasi pasayishi aniqlandi: 0,5 km da o'rtacha $K_c = 8,4$ bo'lsa, 5 km da bu ko'rsatkich 1,9 gacha tushdi. Bu shamol yo'nalishlariga bog'liq holda "ifloslanish shleyfi" shakllanishini tasdiqlaydi.

Sanoat tarmoqlari kesimida tuproq degradatsiyasiga hissa qo'shishning taxminiy ulushi va bu ifloslanishlarga qarshi qo'llaniladigan zamonaviy tozalash usullarining samaradorligi 1-rasmda tasvirlangan.



1-rasm. Ifloslangan tuproqlarni tozalash usullarining qiyosiy samaradorligi (%)

Diagrammadan ko'rinib turibdiki, mavjud remediatsiya texnologiyalari samaradorligi jihatidan 55–95 foiz oralig'ida farqlanadi. Eng yuqori ko'rsatkichga (95%) tuproqni almashtirish va kapsullash usullari ega bo'lsa-da, ular yuqori xarajat talab qiladi va katta hududlarda amaliy jihatdan qo'llash cheklangan. Fitoremediatsiya va bioremediatsiya usullari nisbatan arzon va ekologik toza yechim sifatida O'zbekiston sharoitida istiqbolli hisoblanadi.



Muhokama

Olib borilgan tadqiqot natijalari sanoat korxonalari atrofidagi tuproq degradatsiyasining kompleks va ko'p bosqichli xarakterga ega ekanligini tasdiqlaydi. Birinchidan, aniqlangan konsentratsiya qiymatlari xalqaro adabiyotdagi shunga o'xshash tadqiqotlar bilan mos keladi: Xitoyning Yansi tog'-kon mintaqasida Cu ning MDK dan 8–15 barobar, Polshaning Silesiya sanoat zonasida Pb ning 5–10 barobar oshgani qayd etilgan [Chen et al., 2023]. Bu Olmaliqdagi vaziyatning global miqyosdagi tipik “hot spot” muammosi ekanligini ko'rsatadi.

Ikkinchidan, tuproq degradatsiyasining oldini olishning uch asosiy strategiyasi ajratiladi: preventiv (ifloslanishning oldini olish), remediatsion (mavjud ifloslanishni tozalash) va monitoring. Preventiv chora-tadbirlar sirasiga sanoat chiqindilarini tozalash inshootlari (elektrofiltrlar, sikloniklar, biofiltrlar), yopiq texnologik jarayonlar va toza ishlab chiqarish tamoyillari kiradi. Bu yo'nalishda O'zbekiston Respublikasining 2020 yildan buyon “Yashil iqtisodiyot” strategiyasi doirasida amalga oshirilayotgan islohotlar muhim rol o'ynaydi [Yusupov, Nazarov, 2024].

Uchinchidan, ifloslangan tuproqlarni tozalash texnologiyalari orasida bioremediatsiya va fitoremediatsiya alohida e'tiborga loyiq. Bioremediatsiya — mikroorganizmlar (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Streptomyces* avlodlari) yordamida ifloslantiruvchilarni parchalash yoki inertsizlantirishga asoslanadi. Fitoremediatsiya esa gipergiperakumulyator o'simliklar (*Brassica juncea*, *Helianthus annuus*, *Thlaspi caerulescens*) orqali og'ir metallarni to'plash yoki ildiz zonasida ushlab qolishga asoslangan usul [Wang, Li, Zhang, 2020; Muhammadjonov, Rahimov, 2022].

O'zbekiston sharoitida fitoremediatsiya usullarining ustunligi shundaki, u iqlim jihatidan qulay (uzoq muddatli o'suv davri, quyoshli kunlar), qishloq xo'jaligi tajribasi bilan bog'lanishi mumkin va lokal o'simlik turlaridan (masalan, kungaboqar, xantal, shirinmiya) foydalanish imkoniyati mavjud. Biroq bu usulning kamchiliklari — sekinligi (5–15 yil) va faqat yuqori tuproq qatlami uchun samarali bo'lishidir.

To'rtinchidan, huquqiy va institutsional chora-tadbirlar. O'zbekiston Respublikasining “Atrof-muhitni muhofaza qilish to'g'risida”gi qonuni (yangi tahriri 2022), “Chiqindilar to'g'risida”gi qonuni va Ekologik audit tizimi mavjud bo'lsa-da, ularning amaliy tatbiqi va sanksiyalar mexanizmi hali kuchaytirilishi lozim. Xalqaro tajribada masalan, Germaniyada BBodSchG (Federal tuproq muhofazasi qonuni) doirasida ifloslantiruvchi to'lash tamoyili (polluter-pays) muvaffaqiyatli qo'llaniladi [Chen et al., 2023].

Beshinchidan, monitoring tizimi. Zamonaviy yondashuvda GIS-texnologiyalar, masofadan turib zondlash va IoT-sensorlar tuproq holatini real vaqtda kuzatish imkonini beradi. O'zbekistonda Ekologiya vazirligi tomonidan “EcoMonitoring” tizimi ishga tushirilgan bo'lsa-da, uni sanoat mintaqalarida kengaytirish va aholi uchun ochiq ma'lumotlar bazasiga aylantirish maqsadga muvofiq.

Xulosa

O'tkazilgan kompleks tadqiqot natijalari asosida quyidagi xulosalar chiqarildi:





1) O'zbekistonning to'rtta yirik sanoat mintaqasidagi tuproqlarda og'ir metallar konsentratsiyasi MDK dan sezilarli darajada yuqori: Olmaliqda Cu — 12,4 barobar, Zn — 5,8 barobar, Pb — 4,9 barobar; Angrenda As va Hg bo'yicha kuchli ifloslanish; Navoiyda pH ning kislotali tomonga siljishi; Chirchiqda nitrat va fenol birikmalari muammosi kuzatilmoqda.

2) Ifloslanish darajasi manba korxonasidan masofaga teskari mutanosib ravishda pasayadi va shamol yo'nalishi bo'yicha "ifloslanish shleyfi" hosil bo'ladi.

3) Tuproqni tiklash texnologiyalari orasida O'zbekiston sharoiti uchun eng istiqbolli yechim — fitoremediatsiya va bioremediatsiyaning kombinatsiyalangan qo'llanilishi hisoblanadi.

4) Muammoning kompleks yechimi uchun uch tomonlama yondashuv zarur: a) ishlab chiqarish jarayonida ifloslanishning oldini olish; b) mavjud ifloslangan hududlarni bosqichma-bosqich tiklash; c) huquqiy va monitoring tizimini takomillashtirish.

5) Kelajakdagi tadqiqotlar yo'nalishlari: mahalliy o'simlik va mikroorganizm turlaridan foydalangan holda O'zbekiston uchun ixtisoslashgan remediatsiya texnologiyalarini ishlab chiqish; sanoat mintaqalari atrofida uzoq muddatli monitoring stansiyalari tarmog'ini yaratish; ifloslangan yerlarni ekologik va iqtisodiy qayta baholash metodikasini takomillashtirish.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Kodirkhonov Sh., Uzokov P. Olmaliq tog'-kon-metallurgiya kombinati atrofidagi tuproqlarda og'ir metallarning to'planishi // AGRO ILM. — 2021. — №2. — B. 65–68.

2. Muhammadjonov S., Rahimov M. Sanoat korxonalari atrofidagi tuproqlarni fitoremediatsiya usulida tozalash imkoniyatlari // O'zMU Xabarleri. — 2022. — №3/2. — B. 145–150.

3. Xolliyev A., Boymurzayev X. Toshkent viloyati sanoat mintaqalarida tuproq degradatsiyasi holati // Ekologiya xabarnomasi. — 2023. — №4. — B. 22–28.

4. Yusupov F., Nazarov A. O'zbekistonda sanoat mintaqalari tuproqlarining ekologik holati // Fan va texnologiyalar taraqqiyoti. — 2024. — №1. — B. 88–95.

5. Egamqulov B. Sement ishlab chiqarish korxonalarining tuproqqa ta'siri // Qishloq xo'jaligi ilmi va amaliyoti. — 2023. — №2. — B. 34–40.

6. Suvonov S., Turdaliyev A. Sanoat chiqindilari ta'sirida ifloslangan tuproqlarni tozalash usullari // O'zbekiston geologiya jurnali. — 2022. — №5. — B. 71–77.

7. Kumar V., Sharma A. Global assessment of soil contamination by industrial activities // Environmental Pollution. — 2021. — Vol. 285. — 117188.

8. Wang Y., Li X., Zhang H. Phytoremediation strategies for heavy metal contaminated soils: A review // Chemosphere. — 2020. — Vol. 249. — 126202.



9. Chen X., Liu J., Wang R. Recent advances in soil remediation technologies for industrial contamination // Science of the Total Environment. — 2023. — Vol. 858. — 159781.

10. Bori Z., Aliyev U. Biological remediation methods for polluted industrial soils in Central Asia // Environmental Science and Pollution Research. — 2022. — Vol. 29. — P. 8912–8925.

11. FAO. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture — Systems at Breaking Point. — Rome: FAO, 2021. — 164 p.

12. Kholiqov B., Rashidov N., Toshov A. Heavy metals accumulation in soils around Angren coal mining area // Journal of Ecology and Natural Environment. — 2020. — Vol. 12(3). — P. 45–52.