

**SANOAT EMISSIYALARI TA'SIRIDA OG'IR METALLAR BILAN
IFLOSLANGAN TUPROQLARNI REKULTIVATSIYA QILISH
TEXNOLOGIYALARINING SAMARADORLIGI**

Qarshi davlat texnika universiteti assistenti

Ennazarova Gulshaydo O'tkir qizi

Qarshi davlat texnika universiteti talabasi

Xolmamatova Sevara Alisherovna

Anotatsiya: Sanoat korxonalari ta'sirida og'ir metallar bilan ifloslangan tuproqlarni rekultivatsiya qilish texnologiyalari tadqiq etildi. Fizik-kimyoviy, kimyoviy immobilizatsiya va biologik usullarning kinetik samaradorligi qiyosiy tahlil qilindi. Eksperimental natijalar g'o'za poyasi asosidagi biochar va fitoekstraksiya kombinatsiyasi mobil kationlar (Cd^{2+} , Pb^{2+}) ulushini 88% gacha pasaytirib, unumdorlikni tiklashda eng aniq va optimal model ekanligini isbotladi.

Kalit so'zlar: Og'ir metallar, tuproq degradatsiyasi, kimyoviy immobilizatsiya, biochar, fitoekstraksiya, translokatsiya koeffitsiyenti, edafik monitoring.

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЧВ,
ЗАГРЯЗНЁННЫХ ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОД
ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ**

Ассистент Каршинского государственного технического университета

Энназарова Гулшайдо Уткировна

Студентка Qarshi State Technical University

Холмаматова Севара Алишеровна

Аннотация. В статье исследована эффективность технологий рекультивации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами под воздействием промышленных выбросов. Проведён сравнительный анализ кинетической

эффективности физико-химических, химических и биологических методов ремедиации. Экспериментальные результаты показали, что комбинированное применение биоугля (biochar), полученного из стеблей хлопчатника, и технологии фитоэкстракции позволяет снизить содержание подвижных форм кадмия (Cd^{2+}) и свинца (Pb^{2+}) до 88 % и является наиболее эффективным и экологически безопасным методом восстановления плодородия почв.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, деградация почв, химическая иммобилизация, биоуголь (biochar), фитоэкстракция, коэффициент транслокации, эдафический мониторинг, рекультивация почв, загрязнение окружающей среды.

EFFICIENCY OF REMEDIATION TECHNOLOGIES FOR SOILS CONTAMINATED WITH HEAVY METALS UNDER THE IMPACT OF INDUSTRIAL EMISSIONS

Karshi State Technical University, Assistant

Ennazarova Gulshaydo Utkir qizi

Kholmamatova Sevara Alisherovna,

student of Karshi State Technical University.

Abstract. This article investigates the efficiency of remediation technologies for soils contaminated with heavy metals due to industrial emissions. A comparative analysis of the kinetic efficiency of physicochemical, chemical immobilization, and biological remediation methods was conducted. Experimental results demonstrated that the combined application of cotton-stalk-derived biochar and phytoextraction technology reduced the mobile fractions of cadmium (Cd^{2+}) and lead (Pb^{2+}) by up to 88%, proving to be the most effective and environmentally sustainable approach for restoring soil fertility.

Keywords: heavy metals, soil degradation, chemical immobilization, biochar, phytoextraction, translocation factor, edaphic monitoring, soil remediation, environmental pollution.

Kirish. Texnogen taraqqiyot va og‘ir sanoat majmualarining jadal ekspanatsiyasi biosferaning bazaviy komponenti bo‘lgan edafotop (tuproq muhiti) qoplamiga misli ko‘rilmagan destruktiv bosim o‘tkazmoqda. Sanoat aerozollari, rangli va qora metallurgiya chiqindilari hamda transport emissiyalari tarkibidagi og‘ir metallar (Cd, Pb, Cu, Zn, Cr, As) tuproq ekotizimiga tushgach, organik toksikantlardan farqli o‘laroq, mikrobiologik yoki kimyoviy parchalanishga (degradatsiyaga) uchramaydi. Ular tuproqning singdirish majmuasida (CEC) o‘nlab va yuzlab yillar davomida saqlanib, ekologik zanjir va trofik kanallar (tuproq, o‘simlik, hayvon, inson) orqali tirik organizmlarga o‘tadi hamda ularda qaytmas kancerogen va mutativ o‘zgarishlarni keltirib chiqaradi. [1,2]

O‘zbekiston hududiy muammolarining geokimyoviy dolzarbligi. O‘zbekiston Respublikasining o‘ziga xos arid (qurg‘oqchil) va keskin kontinental iqlim sharoitida tuproq ifloslanishi o‘ta xavfli xarakterga ega. Yirik sanoat o‘choqlari hisoblangan Olmaliq kon-metallurgiya kombinati (OKMK), Navoiy kon-metallurgiya kombinati (NKMK), Angren issiqlik elektr stansiyasi va Farg‘ona neftni qayta ishlash zavodlari joylashgan hududlar atrofidagi qishloq xo‘jaligi yerlarida og‘ir metallarning yalpi miqdori ruxsat etilgan me‘yor (REM) ko‘rsatkichlaridan 15–45 barobargacha yuqori ekanligi qayd etilgan [4,7].

Arid iqlimda yillik bug‘lanish miqdori yog‘ingarchilik miqdoridan 5–8 barobar yuqori bo‘lganligi sababli, yuksaluvchi kapillyar suv oqimlari ustunlik qiladi. Bu esa og‘ir metall kationlarining tuproqning chuqur qatlamlariga yuvilib ketishiga yo‘l qo‘ymay, ularni eng faol hisoblangan unumdor (A_{haydalma}) qatlamda (0–30 sm) jamlaydi. Mazkur yerlarda yetishtirilayotgan qishloq xo‘jaligi mahsulotlarining ekologik xavfsizligini ta‘minlash va tuproq biosentrini qayta tiklash uchun rekultivatsiya texnologiyalarini aniq miqdoriy va kinetik koeffitsiyentlar asosida ishlab chiqish bugungi kunning kechiktirib bo‘lmaydigan fundamental va amaliy vazifasidir [4].

Tadqiqot metodlari .Tadqiqot ma'lumotlarining aniqligini ta'minlash va eksperimental natijalarni olishda quyidagi metodologik va instrumental usullar majmuasidan foydalanildi:

1. Instrumental va kimyoviy tahlil usullari ICP-MS (Induktiv bog'langan plazmali mass-spektrometriya): Tuproq substrati va o'simlik fitomassasi tarkibidagi elementlarning aniq mikromiqdorlarini (mg/kg darajasida) o'lchash.

2. Tessier bosqichli kimyoviy ekstraksiya uslubi: Og'ir metallarning tuproqdagi 5 ta asosiy fraksiyasini (1. Almashinuvchi/mobil, 2. Karbonatlar bilan bog'langan, 3. Fe-Mn oksidlari bilan bog'langan, 4. Organik moddalar bilan bog'langan, 5. Qoldiqli/inert) alohida ajratib olish va miqdorini aniqlash.

3. pH-metriya va Konduktometriya: Tuproq eritmasining vodorod ko'rsatkichi (pH) va elektr o'tkazuvchanligini (EC) aniqlash [1,3].

Biogeokimyoviy hisoblash koeffitsiyentlari

Texnologiyalarning samaradorlik mezonlarini aniq matematik ifodalash uchun quyidagi formulalardan foydalanildi:

Rekultivatsiya samaradorligi

$$R = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

Bu yerda: C_0 – boshlang'ich mobil metall miqdori (mg/kg), C_t – rekultivatsiyadan keyingi mobil metall miqdori (mg/kg).

Translokatsiya koeffitsiyenti (TF):

$$TF = \frac{C_{poya}}{C_{ildiz}}$$

Bu yerda: C_{poya} va C_{ildiz} – metallning o'simlik organlaridagi aniq konsentratsiyasi.

Tadqiqot natijalari .Olib borilgan kimyoviy va biogeokimyoviy tajribalar natijasida ifloslangan tuproqlarni tiklashning turli usullari bo'yicha aniq raqamli ko'rsatkichlar olindi.

1. Fraksion tarkibning tahlili. Tessier usuli bo'yicha aniqlanganda, rekultivatsiya qilinmagan nazorat tuproqlarida eng xavfli ksenobiotiklar — kadmiy (Cd) va qo'rg'oshin (Pb) elementlarining mos ravishda 58.4% va 42.1% qismi eng harakatchan (almashinuvchi) fraksiyada ekanligi aniqlandi. Bu ko'rsatkich ushbu metallarning agrofittotsenozlarga oson o'tishini tasdiqlaydi [2,9].

2. Rekultivatsiya texnologiyalarining kinetik va miqdoriy solishtirmasi
Turli agentlar (EDTA xelatori, mineral ohaktosh, g'o'za poyasidan olingan pirolizli biochar va giperakkumulyator o'simliklar) sinovdan o'tkazildi. Eksperimentlar davomida olingan aniq ko'rsatkichlar quyidagi jadvalda tizimlashtirildi [5].

Rekultivatsiya texnologiyalarining miqdoriy va ekologik samaradorlik ko'rsatkichlari

№	Texnologiya turi	Qo'llanilgan asosiy reagentlar / o'simliklar	Metallarni ng mobil qismini kamaytirish samaradorligi (R%)	Tuproqning biologik faolligi (Katalaza fermenti, O₂ mg/g/h)	1gektarga sarflanadigan o'rtacha xarajat (USD)	O'zbekiston sharoitidagi cheklovlar
1	Fizik-kimyoviy (Yuvish)	0.1MEDTA (Etilendiamintetra sirka kislota)	82.4%	0.12 (Mikrobiota nobud bo'ladi)	\$8,500 – \$12,000	Tuproq strukturasi buziladi, yuvindi suvlarni utilizatsiya qilish qiyin
2	Elektrokinetika	Doimiy elektrik tok (1.5 V/cm)	74.1%	0.35 (Lokal sterillanish)	\$6,000 – \$9,000	Yuqori sho'rlanish sharoitida tok oqimi tarqalib ketadi
3	Kimyoviy immobilizatsiya	Kalsiy karbonat (CaCO ₃) + Fosfatlar	64.5%	0.85 (Barqaror)	\$1,200 – \$1,800	Metallar tuproqdan chiqmaydi, pH keskin ortganda qayta faollashadi

4	FitoeKstraksiya	Brassica juncea (Sarepta xantali)	58.2%	1.45 (Yaxshi)	\$400 – \$600	Jarayon sekinkechadi (3–5 vegetatsiya davri talab etiladi)
5	Fitostabilizatsiya	Phragmites australis (Oddiy qamish)	61.0%	1.30 (Yaxshi)	\$300 – \$500	Metallar faqat ildizda to‘planadi, yer unumdorligi sekin tiklanadi
6	Kombinatsiyalashgan model	Modifikatsiyalangan biochar + Brassica juncea	87.8%	2.10 (Maksimal yuqori)	\$800 – \$1,100	Hech qanday ekologik cheklov yo‘q (Eng optimal usul)

Jadval ma’lumotlaridan ko‘rinib turibdiki, Biochar va FitoeKstraksiya kombinatsiyasi (6-usul) tuproqning fermentativ faolligini (katalaza faolligi 2.10) saqlagan holda, og‘ir metallarning toksik mobil shakllarini 87.8% gacha kamaytirishga muvaffaq bo‘lgan [6].

Munosabat va muhokama. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, sof fizik-kimyoviy usullar (masalan, kislota yoki EDTA bilan yuvish) yuqori tozalash koeffitsiyentiga (82.4%) ega bo‘lsa-da, tuproq unumdorligini va undagi g‘ümüs arxitektonikasini butunlay yo‘q qiladi. Katalaza fermenti faolligining 0.12mg/g/h gacha tushib ketishi tuproqning biologik tabiati o‘lganligidan dalolat beradi. O‘zbekiston sharoitida faqatgina o‘simliklarning o‘zini (fitoeKstraksiya) ifloslangan yerga ekish ham kutilgan natijani bermaydi [2,5]. Chunki yuqori ionli toksiklik sharoitida o‘simlik ildiz tizimi fitotoksik va oksidlanish stressiga uchrab, vegetatsiyaning dastlabki bosqichidayoq nobud bo‘ladi.

Sinergik mexanizm va aniq yechim: Kombinatsiyalashgan modelda tuproqqa kiritilgan g‘o‘za poyasi pirolizli biochari ($g^{ovakliligi} > 350m^2 /g$) dastlabki bosqichda Cd^{2+} va Pb^{2+} kationlarini xemosorbsiya va ion almashinuvi yo‘li bilan sirtqi qismida qattiq fiksatsiyalaydi. Bu esa tuproq eritmasining umumiy toksikligini pasaytiradi. Himoyalangan muhitda Brassica juncea o‘simligi ildiz

tizimini jadal rivojlantirib, keyinchalik ildiz eksudatlari (malat va sitrat kislotalari) yordamida biochar dan metallarni dozalangan holda ajratib oladi va poyasiga toʻplaydi ($TF = 2.45$) [3,6,8].

Xulosa. Tuproq yuvish va elektrokinetik usullar yuqori sarf-xarajat (\$6,000–\$12,000/ga) hamda ekotizimga salbiy taʼsiri tufayli yirik maydonlarda qoʻllashga yaroqsiz deb topildi [1,5].

Mahalliy agrosanoat chiqindilaridan (gʻoʻza poyasi) 550 C haroratda tayyorlangan biochar tuproqdagi erkin ogʻir metallar miqdorini kamaytiruvchi samarali va arzon xemosorbent hisoblanadi [3,6].

Biochar + Fitorekultivatsiya kombinatsiyalashgan modeli ogʻir metallarning harakatchan shakllarini 87.8% gacha xavfsiz holatga keltiradi va tuproq mikrobiologik faolligini 2 barobardan ziyodga oshiradi [6,8,10].

Oʻzbekistonning sanoat zonalarini (Olmaliq, Navoiy) atrofidagi ifloslangan yerlarni rekultivatsiya qilishda iqtisodiy va ekologik jihatdan eng aniq, tejamkor (800–1,100/ga) usul sifatida aynan ushbu kombinatsiyalashgan kimyoviy-biologik model tavsiya etiladi [4,7,10]. Ushbu yondashuv nafaqat mavjud holatni tahlil qilish, balki kelajakdagi tendensiyalarni aniqlashda ham muhim ilmiy vosita hisoblanadi. [11].

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Smith, S. R. (2019). Organic contaminants and heavy metals in agricultural soils and their remediation. *Environmental Science & Policy*, 93, 112-121.
2. Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2020). Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications. *Chemosphere*, 260, 127521.
3. Li, H., & Wang, Q. (2021). Biochar applications for wastewater treatment and soil remediation: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 412, 125184.

4. Mahmudov, M. M., & Tojiyev, R. (2022). O'zbekistonning sanoat hududlari tuproqlarining og'ir metallar bilan ifloslanishi va ekologik holati. O'zbekiston Ekologiya Xabarnomasi, 4(2), 45-50.
5. Kumar, V., & Singh, J. (2023). Remediation of heavy metals contaminated soils using chelate-assisted phytoremediation. International Journal of Phytoremediation, 25(3), 311-325.
6. Rizwan, M., Ali, S., & Hussain, A. (2021). Lead and cadmium immobilization in soil using bamboo biochar. Ecotoxicology and Environmental Safety, 215, 112119
7. Tashpulatov, S. A. (2024). Olmaliq kon-metallurgiya kombinati atrofi tuproqlarini rekultivatsiya qilish usullari. Tuproqshunoslik va Agrokimyo Jurnali, 11(1), 18-26.
8. Wang, L., & Tsang, D. C. (2022). Green remediation of contaminated soils using biochar: Mechanisms and efficacy. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 52(8), 1321-1350
9. Sharma, P., & Dubey, R. S. (2023). Heavy metal toxicity in plants and phytoremediation strategies. Plant Physiology and Biochemistry, 194, 202-218.
10. Yusupov, X. A. (2025). Biotexnologik usullar yordamida tuproqlarni toksik elementlardan tozalash samaradorligi. O'zbekiston Biologiya Jurnali, 2(1), 55-62.
11. Jo'rayeva.O'.A. Atrof-muhit muhofazasi siyosatining samaradorligi: Ekonometrik baholash va prognozlash. //ILMIY XABARNOMA JURNALI VOL08. No 5/2026.. 1416-1422 b.