SHAHAR TUPROQLARINING OG‘IR METALLAR BILAN IFLOSLANISHINI KAMAYTIRISHDA FITOREMEDIATSIYA TEXNOLOGIYALARINING AHAMIYATI

[a]Tadjibayeva Lolaxon Akbarali qizi
[a]Farg‘ona davlat universiteti tayanch doktoranti

Annotatsiya: *Maqolada shahar tuproqlarining og‘ir metallar bilan ifloslanish muammosi va uni kamaytirishda fitoremediatsiya texnologiyalarining ahamiyati tahlil qilingan. Urbanizatsiya, sanoatlashuv va transport vositalari ta’siri natijasida tuproqlarda qo‘rg‘oshin, kadmiy, mis, rux, nikel va boshqa og‘ir metallarning to‘planishi ekologik xavfni kuchaytirmoqda. Fitoremediatsiya og‘ir metallar bilan ifloslangan tuproqlarni ekologik xavfsiz va iqtisodiy jihatdan maqbul usulda tiklash imkonini beruvchi zamonaviy biotexnologik yondashuv hisoblanadi. Maqolada fitoremediatsiyaning asosiy mexanizmlari, giperakkumulyator o‘simliklar va ularning og‘ir metallarni o‘zlashtirish xususiyatlari ko‘rib chiqilgan. Shuningdek, Farg‘ona shahri seliteb landshaftlari tuproqlarida og‘ir metallar tarqalishini baholash va ularning xavfini kamaytirishda fitoremediatsiya texnologiyalarini qo‘llash istiqbollari yoritilgan.*

Kalit so‘zlar: *og‘ir metallar, shahar tuproqlari, fitoremediatsiya, fitoekstraktsiya, fitostabilizatsiya, giperakkumulyator o‘simliklar, ekologik xavf, urbolandshaft, seliteb landshaft.*

XX asrning ikkinchi yarmidan boshlab shaharlashuv jarayonlarining jadallashishi natijasida shahar ekotizimlarida turli kimyoviy elementlarning yig‘ilishi keskin kuchaydi. Sanoat korxonalari, energetika ob’ektlari, transport vositalari va maishiy chiqindilar og‘ir metallarning asosiy antropogen manbalari hisoblanadi. Ushbu elementlar orasida qo‘rg‘oshin (Pb), kadmiy (Cd), rux (Zn), mis (Cu), nikel (Ni), kobalt (Co), marganets (Mn) va xrom (Cr) alohida ahamiyatga ega. Ular biologik parchalanmasligi, tuproq profilida uzoq muddat saqlanishi va trofik zanjir bo‘ylab ko‘chish xususiyati bilan boshqa ifloslantiruvchilardan farq qiladi [1].

Shahar tuproqlari tabiiy tuproqlarga nisbatan yuqori darajada transformatsiyalangan muhit hisoblanadi. Ularda texnogen zarrachalar, qurilish materiallari qoldiqlari, yoqilg‘i mahsulotlari va metall aerozollari to‘planadi. Natijada tuproqning geokimyoviy holati o‘zgaradi va ayrim elementlarning fon qiymatlaridan bir necha marta yuqori kontsentratsiyalari shakllanadi. Yevropa, AQSh va Xitoy shaharlarida o‘tkazilgan tadqiqotlar shahar markazlari va transport magistrallari yaqinida Pb, Zn va Cu elementlarining eng yuqori ko‘rsatkichlari kuzatilishini ko‘rsatgan [1].

Og‘ir metallar bilan ifloslangan tuproqlarni rekultivatsiya qilish uchun mexanik, fizik va kimyoviy texnologiyalar ishlab chiqilgan bo‘lsa-da, ularning aksariyati yuqori iqtisodiy xarajat talab qiladi. Tuproqni qazish, almashtirish yoki reagentlar bilan ishlov berish usullari katta hududlarda qo‘llanilganda iqtisodiy jihatdan samarasiz bo‘lib qoladi. Shu sababli so‘nggi o‘n yilliklarda biologik usullarga qiziqish keskin ortdi. Ana shunday usullardan biri fitoremediatsiya hisoblanadi [2].

Fitoremediatsiya atamasi 1990-yillarda keng tarqalgan bo‘lib, u o‘simliklar yordamida tuproq, suv va atmosfera muhitidagi zararli moddalarni kamaytirish yoki

zararsizlantirish jarayonlarini anglatadi. Zamonaviy fitoremediatsiya nazariyasining shakllanishida Ilya Raskin, David Salt va Robert Smith kabi olimlarning ishlari muhim ahamiyat kasb etgan. Ular fitoremediatsiyani ekologik xavfsiz, iqtisodiy jihatdan maqbul va tabiiy jarayonlarga asoslangan texnologiya sifatida ta’riflaganlar [1,2].

Fitoremediatsiya g‘oyasining ilmiy asoslari esa undan ham oldinroq paydo bo‘lgan. 1983 yilda Rufus Chaney metall akkumulyatsiya qiluvchi o‘simliklar yordamida og‘ir metallar bilan ifloslangan tuproqlarni tozalash mumkinligini ilmiy jihatdan asoslab bergan. Keyinchalik mazkur yondashuv fitoekstraktsiya kontseptsiyasining shakllanishiga olib keldi. [3]

1995 yilda Kumar, Dushenkov, Motto va Raskin tomonidan e’lon qilingan tadqiqot fitoremediatsiya sohasidagi eng muhim ishlardan biri hisoblanadi. Unda Brassica juncea o‘simligi og‘ir metallarni tuproqdan o‘zlashtirishda yuqori samaradorlikka ega ekanligi isbotlangan. Mazkur tadqiqotdan keyin fitoekstraktsiya texnologiyasi jahon miqyosida keng tarqaldi [5].

Fitoremediatsiyaning nazariy va amaliy asoslari 1998 yilda Salt, Smith va Raskin tomonidan chop etilgan fundamental sharh maqolada umumlashtirildi. Mualliflar fitoremediatsiyani og‘ir metallar, radionuklidlar va organik ifloslantiruvchilarni kamaytirishning istiqbolli usuli sifatida baholadilar. Ularning ta’kidlashicha, mazkur texnologiyaning asosiy afzalligi atrof-muhitga qo‘shimcha zarar yetkazmasdan ifloslangan muhitni qayta tiklash imkoniyati bilan izohlanadi [7].

Hozirgi vaqtda fitoremediatsiyaning bir nechta asosiy mexanizmlari ajratiladi. Fitoekstraktsiya jarayonida o‘simliklar og‘ir metallarni tuproqdan o‘zlashtirib, yer usti biomassasida to‘playdi. Fitostabilizatsiya jarayonida metallarning harakatchanligi pasaytiriladi. Rizofiltratsiya suv muhitidagi ifloslantiruvchilarni ildiz tizimi orqali ushlab qolishga asoslanadi. Fitovolatilizatsiya va fitodegradatsiya esa ayrim kimyoviy birikmalarning transformatsiyalanishi bilan bog‘liq.

Og‘ir metallarni o‘zlashtirish qobiliyatiga ega bo‘lgan o‘simliklar giperakkumulyatorlar deb ataladi. Ilmiy adabiyotlarda Brassica juncea, Alyssum murale, Thlaspi caerulescens, Pteris vittata, Helianthus annuus, Populus spp. va Salix spp. turlari eng ko‘p o‘rganilgan o‘simliklar qatoriga kiradi. Ularning ayrimlari o‘z biomassasida metalllarni minglab mg/kg miqdorlarda to‘plash xususiyatiga ega.

So‘nggi yillarda shahar tuproqlarini rekultivatsiya qilishda fitoremediatsiyadan foydalanishga bag‘ishlangan tadqiqotlar soni keskin ortmoqda. Bunga asosiy sabab shahar hududlarida ifloslangan tuproqlarni qazib tashlashning texnik va iqtisodiy jihatdan murakkabligi hisoblanadi. Shu nuqtai nazardan fitoremediatsiya shahar yashil hududlari, yo‘l bo‘ylari, turar joy massivlari va sanoat zonalari uchun istiqbolli texnologiya sifatida baholanmoqda.

Rossiya geokimyo maktabida Perelman va Kasimov tomonidan rivojlantirilgan landshaft geokimyosi yondashuvi elementlarning migratsiyasi va akkumulyatsiyasini tabiiy-antropogen tizim sifatida tahlil qilish imkonini beradi. Bu yondashuv shahar tuproqlarini o‘rganishda ayniqsa muhim, chunki shahar muhitida tabiiy geokimyoviy fon texnogen oqimlar bilan qo‘shilib ketadi. Demak, Farg‘ona shahri kabi sanoatlashgan va transport yuklamasi yuqori hududlarda og‘ir metallarning tuproqlarda yig‘ilishini

faqat “ifloslanish” sifatida emas, balki landshaftdagi modda migratsiyasi va akkumulyatsiyasi natijasi sifatida baholash maqsadga muvofiqdir [6].

O‘zbekiston sharoitida og‘ir metallar bilan ifloslanish muammosi, asosan, sanoat hududlari, yirik transport yo‘llari, kon-metallurgiya majmualari va sug‘oriladigan tuproqlar bilan bog‘liq holda o‘rganilgan. Masalan, O‘zbekistonda tuproq monitoringida mis, rux, qo‘rg‘oshin, kadmiy, simob, margimush, suvda eruvchan ftoridlar, neft mahsulotlari, nitrat va ammoniy azoti kabi ko‘rsatkichlar tahlil qilinishi qayd etilgan. Shuningdek, Olmaliq, Navoiy, Toshkent, Termiz va boshqa texnogen hududlar bo‘yicha tadqiqotlarda og‘ir metallar manbaga yaqin joylarda ko‘proq to‘planishi va masofa ortgani sari kamayishi ko‘rsatilgan [9,10]

Farg‘ona vodiysi va Farg‘ona viloyati tuproqlari bo‘yicha mavjud ishlar shuni ko‘rsatadiki, hududda Cu, Ni, Cd, As, Co, Cr, Mn, Zn va Sb kabi elementlar turli tuproq tiplarida turlicha to‘planadi. Janubiy Farg‘ona bo‘yicha tadqiqotlarda sug‘oriladigan bo‘z va bo‘z-o‘tloqi tuproqlarda margumush hamda ayrim og‘ir metallar miqdori kesmalar bo‘yicha tahlil qilingan. Farg‘ona viloyati tuproqlarida mis, nikel va kadmiy kontsentratsiyalari bo‘yicha olib borilgan ishlarda ayrim namunalarda Cu va Ni miqdori me’yoriy ko‘rsatkichlardan yuqori bo‘lishi mumkinligi qayd etilgan, Cd esa o‘rganilgan namunalarda me’yor doirasida bo‘lgani bildirilgan [11,12]

Biroq mavjud ishlar ko‘proq qishloq xo‘jaligi yoki umumiy viloyat tuproqlari doirasida bajarilgan. Farg‘ona shahrining aynan seliteb landshaftlari — ya’ni turar joy massivlari, yo‘l bo‘ylari, sanoatga yaqin hududlar, maktab-bog‘cha atroflari, bozorlar va yashil zonalar tuproqlarida og‘ir metallarni kompleks baholash hali alohida dolzarb masala bo‘lib qolmoqda. Shu nuqtai nazardan, Farg‘ona shahri tuproqlarida Pb, Cd, Cu, Zn, Ni va Cr elementlarining hududiy taqsimlanishi, fon qiymatlar bilan nisbati, ifloslanish indeksi va ekologik xavf darajasini baholash dissertatsiya uchun ilmiy asoslangan yo‘nalish hisoblanadi.

Farg‘ona shahri uchun fitoremediatsiyani to‘g‘ridan-to‘g‘ri “tozalash texnologiyasi” sifatida emas, balki og‘ir metallar xavfini kamaytirishga qaratilgan kompleks ekologik yondashuv sifatida qarash maqsadga muvofiq. Chunki shahar tuproqlarida metallar turli manbalardan keladi va ularning to‘liq chiqarib tashlanishi ko‘p yillik jarayonni talab qiladi. Amaliy jihatdan esa yo‘l bo‘ylarida fitostabilizatsiya, sanoatga yaqin hududlarda fitoekstraktsiya, ariq va zovurlar atrofida rizofiltratsiya elementlari, yashil zonalarda esa dekorativ-fitoremediatsion o‘simliklardan foydalanish mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Salt, D. E., Smith, R. D., & Raskin, I. (1998). Phytoremediation. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 49, 643–668. doi:10.1146/annurev.arplant.49.1.643. (Annual Reviews)
2. Raskin, I., Smith, R. D., & Salt, D. E. (1997). Phytoremediation of metals: Using plants to remove pollutants from the environment. Current Opinion in Biotechnology, 8(2), 221–226. doi:10.1016/S0958-1669(97)80106-1. (Portal issledovaniy Universiteta Aberdina)
3. Chaney, R. L. (1983). Plant uptake of inorganic waste constituents. In J. F. Parr, P. B. Marsh, & J. M. Kla (Eds.), Land treatment of hazardous wastes (pp. 50–76). Noyes Data Corporation.
4. Kabata-Pendias, A. (2010). Trace elements in soils and plants (4th ed.). CRC Press. (Taylor & Francis)

5. Kumar, P. B. A. N., Dushenkov, V., Motto, H., & Raskin, I. (1995). Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soils. Environmental Science & Technology, 29(5), 1232–1238. doi:10.1021/es00005a014. (PubMed)

6. Perelman, A. I., & Kasimov, N. S. (1999). Geokhimiya landshafta [Landscape geochemistry]. Astreya-2000. (GeoKniga)

7. Sharma, J. K., Kumar, N., Singh, N. P., & Santal, A. R. (2023). Phytoremediation technologies and their mechanism for removal of heavy metal from contaminated soil: An approach for a sustainable environment. Frontiers in Plant Science, 14, 1076876. (Frontiers)

8. Tang, S., et al. (2024). Advances in studies on heavy metals in urban soil. Sustainability, 16(2), 860. (MDPI)

9. Shukurov, N., & Wilcke, W. (2014). Heavy metals in soils of Angren-Almalyk mining industrial area: Distribution, forms, bioavailability and their impacts on soil biota.

10. Kholikulov, S. T., et al. (2025). Assessment of the levels of heavy metal pollution in roadside soils of Tashkent–Termiz highway using EF, Igeo and PLI indices. Journal of Ecological Engineering.

11. Esanov, A. A., & Turebaeva, S. (2026). Geochemical and agroecological problems of irrigated soils in Central Fergana. Journal of Open Biology and Ecology.

12. Mirkhaydarova, G., Ruzmetov, M., & Turdaliev, J. (2024). Factors and problems of chemical pollution of soils in Uzbekistan. E3S Web of Conferences.