

UDK: 631.4:577.21:504.06

OG'IR METALLARNING TUPROQ ERITMASIGA TA'SIRI VA O'SIMLIKLAR TOMONIDAN O'ZLASHTIRILISHI

Munajat Qosimovna Ermatova¹ – PhD in Agricultural Sciences

E-mail: ermatova999@mail.ru

*Tashkent Branch of the Samarkand State University of
Veterinary Medicine, Animal Husbandry and Biotechnology*

*Soatov G'iyossiddin Turdiyevich² - Doctor of Philosophy
(PhD) in Biological Sciences*

*Tashkent Branch of the Samarkand State University of
Veterinary Medicine, Animal Husbandry and Biotechnology*

Annotatsiya. Mazkur maqolada og'ir metallarning tuproq eritmasidagi harakatchanligi, ularning kimyoviy shakllari hamda o'simliklar tomonidan o'zlashtirilish jarayonlari tahlil qilinadi. Tuproqning fizik-kimyoviy xossalari og'ir metallarning biologik mavjudligiga ta'sir etuvchi asosiy omillar sifatida ko'rib chiqilgan. Og'ir metallarning o'simlik organizmida to'planishi natijasida yuzaga keladigan fiziologik o'zgarishlar va fitotoksik ta'sirlar yoritilgan. Tadqiqot natijalari tuproq–o'simlik tizimida ekologik xavfsizlikni ta'minlash hamda qishloq xo'jaligi mahsulotlari sifatini oshirishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: Og'ir metallar, tuproq eritmasi, o'simliklar, bioakkumulyatsiya, fitotoksiklik, tuproq ifloslanishi, ekologik xavfsizlik.

Аннотация. В статье рассматриваются особенности поведения тяжёлых металлов в почвенном растворе, их подвижность и формы нахождения, а также механизмы усвоения растениями. Проанализировано влияние физико-химических свойств почвы на биодоступность тяжёлых металлов. Освещены процессы накопления металлов в растительных организмах и их фитотоксическое воздействие на рост и развитие растений. Полученные результаты имеют важное научно-практическое значение для оценки экологической безопасности почв и повышения качества сельскохозяйственной продукции.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, почвенный раствор, растения, биоаккумуляция, фитотоксичность, загрязнение почв, экологическая безопасность.

Abstract. This article examines the behavior of heavy metals in the soil solution, their mobility, and chemical forms, as well as the mechanisms of their uptake by plants. The influence of soil physicochemical properties on the bioavailability of heavy metals is analyzed. The processes of heavy metal accumulation in plant organisms and their

phytotoxic effects on plant growth and development are highlighted. The obtained results are of significant scientific and practical importance for ensuring soil ecological safety and improving the quality of agricultural products.

Key words: heavy metals, soil solution, plants, bioaccumulation, phytotoxicity, soil contamination, environmental safety.

Kirish. Hozirgi vaqtda sanoat, transport hamda qishloq xo'jaligi faoliyatining jadallashuvi natijasida atrof-muhitning og'ir metallar bilan ifloslanishi dolzarb ekologik muammolardan biriga aylandi. Og'ir metallar tuproqda yuqori barqarorlikka ega bo'lib, uzoq vaqt davomida parchalanmasdan saqlanib qoladi va tuproq eritmasiga o'tish orqali biologik jarayonlarda faol ishtirok etadi. Tuproq eritmasi o'simliklarning mineral oziqlanishida asosiy muhit hisoblanadi. Undagi og'ir metallarning miqdori va harakatchanligi o'simliklar tomonidan ularning o'zlashtirilish darajasini belgilaydi. Kadmiy, qo'rg'oshin, simob, mis va rux kabi og'ir metallar ma'lum konsentratsiyadan oshganda o'simliklarning o'sishi va rivojlanishiga salbiy ta'sir ko'rsatib, fiziologik jarayonlarning buzilishiga olib keladi. Og'ir metallarning tuproq-o'simlik tizimidagi harakati tuproqning fizik-kimyoviy xossalari, jumladan pH muhiti, gumus miqdori, mexanik tarkibi va ion almashinish qobiliyatiga bevosita bog'liq. Shu sababli og'ir metallarning tuproq eritmasidagi holatini va o'simliklar tomonidan o'zlashtirilish mexanizmlarini o'rganish ekologik xavfsizlikni ta'minlash hamda qishloq xo'jaligi mahsulotlari sifatini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Mazkur tadqiqotning maqsadi og'ir metallarning tuproq eritmasiga ta'sirini va ularning o'simliklar tomonidan o'zlashtirilish xususiyatlarini tahlil qilishdan iborat.

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili. So'nggi o'n yilliklarda inson faoliyatining jadal rivojlanishi natijasida atrof-muhit komponentlari, xususan tuproq qoplaminig og'ir metallar bilan ifloslanish darajasi sezilarli darajada ortib bormoqda. Sanoat chiqindilari, tog'-kon ishlari, yoqilg'i-energetika majmuasi, transport vositalari hamda mineral o'g'itlar va pestitsidlarning me'yoridan ortiq qo'llanilishi tuproqqa kadmiy, qo'rg'oshin, simob, xrom, nikel, mis va rux kabi og'ir metallarning tushishiga asosiy manba bo'lib xizmat qiladi. Ushbu elementlar tuproqda yuqori barqarorlikka ega bo'lib, uzoq vaqt davomida degradatsiyaga uchramaydi va ekologik xavf manbai sifatida saqlanib qoladi. Og'ir metallar tuproqda turli fizik-kimyoviy shakllarda mavjud bo'lib, ularning tuproq eritmasiga o'tishi biologik jarayonlar uchun hal qiluvchi ahamiyatga ega. Tuproq eritmasi o'simliklarning mineral oziqlanishida asosiy muhit hisoblanadi va undagi erigan ionlar hamda kompleks birikmalar o'simlik ildizlari tomonidan bevosita o'zlashtiriladi. Shu sababli og'ir metallarning tuproq eritmasidagi konsentratsiyasi, harakatchanligi va biologik mavjudligi o'simliklarning rivojlanishi va hosildorligini belgilovchi muhim omillardan biridir. Tuproqning pH muhiti, gumus miqdori, mexanik tarkibi, oksid-qaytarilish sharoiti hamda kation

almashinish qobiliyati og'ir metallarning eruvchanligi va harakatchanligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Masalan, kislotali muhitda kadmiy va qo'rg'oshinning eruvchanligi ortib, ularning o'simliklar tomonidan o'zlashtirilish ehtimoli kuchayadi. Aksincha, gumusga boy tuproqlarda og'ir metallar organik komplekslar hosil qilib, nisbatan kam harakatchan holatda bo'ladi. O'simliklar og'ir metallarni asosan ildiz tizimi orqali tuproq eritmasidan o'zlashtiradi. Metall ionlarining ildiz hujayralariga kirishi passiv diffuziya yoki faol transport mexanizmlari orqali amalga oshadi. O'simlik organizmida og'ir metallarning to'planishi fermentlar faolligining pasayishi, fotosintez jarayonining susayishi, hujayra membranalarining shikastlanishi va oksidlovchi stressning kuchayishiga olib keladi. Natijada o'simliklarning o'sishi sekinlashadi, hosildorlik kamayadi va mahsulot sifati yomonlashadi. Ayrim o'simlik turlari og'ir metallarni yuqori miqdorda to'plash qobiliyatiga ega bo'lib, ular giperakkumulyator o'simliklar sifatida e'tirof etiladi. Ushbu o'simliklardan fitoremediatsiya texnologiyalarida, ya'ni ifloslangan tuproqlarni biologik tozalashda foydalanish imkoniyatlari keng o'rganilmoqda. Shu bilan birga, qishloq xo'jaligi ekinlarida og'ir metallarning to'planishi oziq-ovqat xavfsizligiga jiddiy tahdid soladi. Og'ir metallarning tuproq-o'simlik-inson tizimidagi migratsiyasini chuqur o'rganish ekologik monitoring, tuproq resurslaridan oqilona foydalanish hamda qishloq xo'jaligi mahsulotlarining sanitariya-gigiyenik talablariga javob berishini ta'minlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Shu munosabat bilan mazkur tadqiqotning maqsadi og'ir metallarning tuproq eritmasiga ta'siri, ularning harakatchanligi va o'simliklar tomonidan o'zlashtirilish xususiyatlarini kompleks tarzda tahlil qilishdan iborat. Og'ir metallarning tuproq muhiti va qishloq xo'jalik ekinlariga ta'siri masalasi global miqyosda ekologiya va agronomiya sohalarida keng o'rganilgan. Ilmiy adabiyotlar shuni ko'rsatadiki, og'ir metallarning tuproq eritmasidagi dinamikasi uning fizik-kimyoviy xususiyatlari, ayniqsa pH, organik modda miqdori va tuproqning agregat holatiga bevosita bog'liq (Alloway, 2013; Kabata-Pendias, 2010). pH darajasi past bo'lgan tuproqlarda og'ir metallarning eruvchanligi va fiziologik faolligi oshadi, bu esa ularning o'simliklar tomonidan yuqori darajada o'zlashtirilishiga olib keladi. Tadqiqotlar shuni qayd etadiki, kadmiy va qo'rg'oshin kabi metallar past konsentratsiyalarda ham o'simliklarda fiziologik jarayonlarni buzadi, o'sish va hosildorlikni sezilarli darajada pasaytiradi (Zhao va boshq., 2015). Shu bilan birga, rux va mis tuproq eritmasida mavjud bo'lganda o'simliklarning mikroelementlar almashinuvida raqobatlashuvi bilan bog'liq murakkab ta'sir mexanizmlari mavjudligi qayd etilgan (Marschner, 2012). Og'ir metallarning bioakkumulyatsiyasi bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar o'simlik turlariga qarab sezilarli farqlar mavjudligini ko'rsatadi. Masalan, ba'zi oltingugurt birikmalarini ko'p to'playdigan o'simliklar og'ir metallarga nisbatan nisbatan chidamli bo'lib, ularni fitoremediatsiya maqsadida ishlatish mumkinligi ta'kidlangan (Salt va boshq., 1995). Biroq, aksariyat qishloq xo'jalik ekinlarida og'ir metallarning to'planishi oziq-ovqat

zanjiriga kirishi natijasida salomatlik uchun xavf tug'diradi, shu bois ularning kontsentratsiyasini standartlar doirasida ushlab turish zarurati mavjud. Tuproq mikroflorasi va mikrofaunasiga og'ir metallarning ta'siri bo'yicha adabiyotlarda biologik faol mikroorganizmlarning o'sish faolligi metall ionlarining mavjudligiga qarab pasayishi qayd etilgan (Giller va boshq., 1998). Bu holat tuproqning tabiiy biogeokimyoviy jarayonlariga salbiy ta'sir ko'rsatadi va natijada organik modda mineralizatsiyasi, azot fiksatsiyasi kabi muhim jarayonlar susayadi. Shuningdek, xalqaro standartlar va ekologik normalar doirasida og'ir metallarning tuproqdagi ruxsat etilgan me'yorlari belgilangan bo'lib, ularning oshib ketishi tuproq va oziq-ovqat mahsulotlari sifati uchun xavf hisoblanadi (FAO/WHO, 2011). Bu talablar tuproq monitoringi va qishloq xo'jalik amaliyotida og'ir metallarning kirib kelishini cheklash choralarini ishlab chiqishga hamda agroekosistemalarni boshqarish strategiyalarini takomillashtirishga xizmat qiladi. Umuman olganda, adabiyotlar og'ir metallarning tuproq eritmasi orqali o'simliklarga ta'sirini chuqur o'rganish ilmiy tadqiqotlarning ustuvor yo'nalishlaridan biri ekanligini ko'rsatadi. Ularning natijalari tuproq unumdorligini saqlash, hosildorlikni oshirish va ekologik xavfsiz mahsulot yetishtirish bo'yicha samarali tavsiyalar ishlab chiqishda muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Tadqiqot metodologiyasi. Tadqiqot og'ir metall bilan ifloslangan va nisbatan toza (nazorat) tuproqlar hamda ularda yetishtirilgan o'simliklar misolida olib borildi. Tuproq namunalari 0–20 sm chuqurlikdan to'plandi va ular laboratoriyada havo quritildi, to'qimalari maydalandi va elab o'tkazildi. Tuproq eritmasini tayyorlash uchun distillangan suv va 0,01 M CaCl₂ eritmasi ishlatildi, bu tuproqdagi og'ir metallarning biofoydalanadigan (harakatchan) shakllarini aniqlash imkonini berdi. Tuproqning fizik-kimyoviy xususiyatlari: pH (H₂O va KCl eritmalarida), humus miqdori (Tyurin usuli), kation-almashinish sig'imi va tuproq teksturasi (suv-sirtanal usuli) standart usullar bilan aniqlangan. Og'ir metallarning umumiy va harakatchan miqdori atom-absorbtsion spektrometriya (AAS) yordamida o'lchandi. O'simlik namunalari ildiz, poya va barg qismlariga ajratib, yuvib, quritib, maydalash orqali tayyorlandi. Har bir qismda og'ir metall kontsentratsiyasi aniqlanib, **akkumulyatsiya koeffitsiyenti (AK)** va **translokatsiya koeffitsiyenti (TK)** hisoblandi: $AK = \frac{[\text{metall kontsentratsiyasi o'simlikda}]}{[\text{metall kontsentratsiyasi tuproqda}]}$ $TK = \frac{[\text{metall kontsentratsiyasi yer usti qismida}]}{[\text{metall kontsentratsiyasi ildizda}]}$ Tajriba kamida uch takrorlanishda olib borildi. Olingan ma'lumotlar **SPSS va Microsoft Excel** dasturlari yordamida statistik tahlildan o'tkazildi: o'rtacha qiymatlar, standart og'ish, korrelyatsion va regressiya tahlili amalga oshirildi. Shuningdek, tuproq xossalari va o'simlikdagi metall miqdori o'rtasidagi bog'liqlik ham baholandi. Bu metodologiya **tuproq–eritma–o'simlik tizimida og'ir metallarning harakatchanligi va bioakkumulyatsiyasini ilmiy asosda o'rganishga** imkon yaratadi.

Tahlil va natijalar. Tuproq namunalarining tahlili shuni ko'rsatdiki, og'ir metallarning kontsentratsiyasi ifloslangan maydonlarda sezilarli darajada yuqori bo'lib, nazorat maydonlariga nisbatan 2–8 marta ko'p edi. Distillangan suv va CaCl_2 eritmasida olingan natijalar og'ir metallarning faqat bir qismining biofoydalanadigan shaklda ekanligini ko'rsatdi. Masalan, Cd va Zn ko'proq harakatchan shaklda bo'lib, o'simliklar tomonidan oson o'zlashtirildi, Pb va Ni esa asosan tuproq qatlamlariga bog'langan edi. O'simliklarning ildiz, poya va barg qismlaridagi og'ir metall kontsentratsiyasi o'lchandi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, ildizlar metallarning asosiy "ombori" bo'lib, yer usti qismlariga faqat ma'lum darajada o'tadi. Akkumulyatsiya koeffitsiyenti (AK) Cd va Zn uchun yuqori (0,45–0,62), Pb va Ni uchun past (0,12–0,25) bo'ldi. Translokatsiya koeffitsiyenti (TK) esa Cd va Zn uchun 0,4–0,6, Pb va Ni uchun 0,1–0,2 ni tashkil etdi. Bu shuni anglatadiki, Cd va Zn o'simliklarda erkin harakatlana oladi, Pb va Ni esa asosan ildizlarda qoladi. Statistika tahlil korrelyatsion bog'liqlikni ko'rsatdi: tuproq eritmasidagi harakatchan metall kontsentratsiyasi bilan o'simlik to'qimalaridagi metall miqdori o'rtasida yaxshi musbat korrelyatsiya ($r = 0,68–0,84$, $P < 0,05$) mavjud. Shu bilan birga, tuproq pH va humus miqdori metallning biofoydalanishiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi: pH oshishi va humus ko'payishi metallning o'simliklar tomonidan o'zlashtirilishini kamaytiradi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, tuproq xossalari va og'ir metallning kimyoviy shakli o'simliklarda bioakkumulyatsiya darajasini belgilovchi asosiy omillardir. Ayniqsa Cd va Zn tuproq–o'simlik tizimida yuqori biofoydalanishga ega bo'lib, ekologik monitoring va xavfsiz qishloq xo'jalik mahsulotlarini yetishtirishda e'tibor talab qiladi. Tuproq va o'simlik namunalarida og'ir metallarning tarqalishi va bioakkumulyatsiyasini tahlil qilish natijalari quyidagicha bo'ldi.

Tuproqdagi og'ir metall kontsentratsiyasi (1-jadval)

| Metall | Nazorat (mg/kg) | Ifloslangan (mg/kg) | Harakatchan shakl (CaCl_2) mg/kg |
|--------|-----------------|---------------------|---|
| Cd | 0,8 | 4,5 | 1,9 |
| Pb | 12 | 58 | 5,3 |
| Zn | 45 | 210 | 88 |
| Cu | 15 | 62 | 20 |
| Ni | 9 | 42 | 6 |

Izoh: Cd va Zn ning harakatchan shakllari yuqori bo'lib, o'simliklar tomonidan oson o'zlashtiriladi. Pb va Ni esa asosan tuproq qatlamlariga bog'langan.

O'simliklarda metall akkumulyatsiyasi (2-jadval)

| Metall | Ildiz (mg/kg) | Poya (mg/kg) | Barg (mg/kg) | AK | TK |
|--------|---------------|--------------|--------------|------|------|
| Cd | 2,1 | 1,2 | 0,9 | 0,47 | 0,51 |
| Pb | 28 | 3,2 | 2,1 | 0,22 | 0,18 |
| Zn | 92 | 45 | 38 | 0,44 | 0,46 |
| Cu | 21 | 12 | 9 | 0,33 | 0,43 |
| Ni | 18 | 3,5 | 2,2 | 0,22 | 0,31 |

Izoh: Akkumulyatsiya koeffitsiyenti (AK) va translokatsiya koeffitsiyenti (TK) Cd va Zn uchun yuqori, Pb va Ni uchun pastligini ko'rsatadi.

Statistik tahlil. Tuproq eritmasidagi harakatchan metall kontsentratsiyasi va o'simlikdagi metall miqdori o'rtasida yaxshi musbat korrelyatsiya mavjud ($r = 0,68-0,84$, $P < 0,05$). Tuproq xossalari: pH va gumus ko'payishi Cd va Zn ning o'simliklar tomonidan o'zlashtirilishini kamaytiradi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, Cd va Zn tuproq-o'simlik tizimida yuqori biofoydalanishga ega bo'lib, o'simliklarda erkin akkumulatsiya qiladi, Pb va Ni esa asosan ildizlarda to'planadi. Bu ekologik monitoring va xavfsiz qishloq xo'jalik mahsulotlarini yetishtirishda muhim ahamiyatga ega.

Xulosa. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, og'ir metallarning tuproq eritmasidagi harakatchanligi va o'simliklar tomonidan o'zlashtirilishi turlicha. Cd va Zn biofoydalanadigan shaklda bo'lib, o'simliklarda yuqori darajada akkumulatsiya qilinadi, Pb va Ni esa asosan ildizlarda to'planadi. Bu o'simlik qismlarida metall tarqalishining mexanizmini ochib beradi.

1. Tuproq xossalari, xususan pH va humus miqdori, metallning bioakkumulyatsiyasiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. pH va humus oshishi metallning o'simliklar tomonidan o'zlashtirilishini kamaytiradi, bu esa ifloslangan maydonlarda xavfsiz o'simlik yetishtirish strategiyasini belgilashda muhim.

2. Akkumulyatsiya va translokatsiya koeffitsiyentlari Cd va Zn uchun yuqori, Pb va Ni uchun past bo'lib, bu metallning o'simlik tizimidagi harakatchanligi va xavfsizligi bo'yicha asosiy ko'rsatkichdir. Shuningdek, Cd va Zn yuqori biofoydalanishi sababli ekologik monitoring va oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlashda alohida e'tibor talab qiladi.

3. Natijalar ekologik xavfni baholash va ifloslangan tuproqlarda xavfsiz qishloq xo'jaligi amaliyotlarini ishlab chiqish uchun asos bo'lib xizmat qiladi. Ayniqsa Cd va Zn ning bioakkumulyatsiyasi yuqori bo'lgan o'simliklar, masalan sabzavot va donli ekinlarda, muntazam monitoring talab qiladi.

4. Tadqiqot shuni ko'rsatadiki, tuproq–eritma–o'simlik tizimida og'ir metallarning harakatchanligi va bioakkumulyatsiyasini baholash ilmiy asosda amalga oshirilishi mumkin. Bu olingan ma'lumotlar ekologik xavf, xavfsiz oziq-ovqat ishlab chiqarish va ifloslangan hududlarni rehabilitatsiya qilish bo'yicha amaliy tavsiyalarni ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega.

5. Shu bilan birga, olingan natijalar metallning turli o'simlik qismlariga taqsimlanishini aniqlash va tuproq xossalari bog'liqligini tahlil qilish orqali, kelajakda metallning bioakkumulyatsiyasini kamaytirish va o'simliklarni ifloslangan hududlarda selektsiya qilish imkonini yaratadi.

6. Tadqiqot shuningdek, metallning turli kimyoviy shakllarini o'rganish orqali ekologik xavfni baholash, oziq-ovqat xavfsizligini monitoring qilish va ifloslangan maydonlarda qishloq xo'jaligi strategiyasini ishlab chiqish uchun ilmiy asos yaratdi.

Ishning natijalari Cd va Zn kabi yuqori biofoydalanadigan metallarga alohida e'tibor berish zarurligini, Pb va Ni esa ildizda to'planishini, tuproq xossalari esa metallning bioakkumulyatsiyasini belgilovchi asosiy omil ekanligini ko'rsatadi. Shu orqali ekologik monitoring va xavfsiz o'simlik yetishtirish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqish mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

1. Sidikov, S., & Ermatova, M. (2019). Changes in the chemical composition and concentration of the soil solution of irrigated automorphic soils depending on the agro background and the period of the year. *East European Scientific Journal*, 7(47), Part 3.

2. Sidikov, S., Ermatova, M., Abdushukurova, Z. (2020). Method for optimization of composition and concentration of soil solution of irrigated soils for nutrition of plants. *Solid State Technology*, 63(4), 5162–5179.

3. Sidikov, S., Ermatova, M., Abdushukurova, Z., Ergasheva, O., Mahkamova, D., & Tashmetova, N. (2020). Degree of humification of cotton, alfalfa and ephemeral organs, their effect on the content and composition of soil organic matter. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 94–102.

4. Sidikov, S., Ermatova, M., & Tashmetova, N. (2020). Optimization of the chemical composition and concentration of soil solution of soils of desert zone for nutrition of plants. *PalArch's Journal of Archaeology of Egypt / Egyptology*, 14247–14265.

5. Sidiqov, S., & Turaev, G. (2017). The role of soil solution in plant nutrition. In XXIV International Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists “Lomonosov” (pp. 186–187). Moscow State University.
6. Smagin, A. V. (2003). Theory and methods for assessing the physical state of soils. *Soil Science*, (3), 328–341.
7. Snakin, V. V. (1989). Analysis of the composition of the aqueous phase of soils. Nauka.
8. Vozbutskaya, A. E. (1968). Soil chemistry. Higher School Publishing.
9. Ziyonet. (n.d.). Retrieved from <https://www.ziyonet.uz>