

<https://iau-jaesa.uz/article/6h068u5imcsl/>
<https://doi.org/10.5281/zenodo.21360895>

UDK: 581.5:574.2

SANOAT IFLOSLANISHI TA'SIRIDA DARAXT TURLARINING FIZIOLOGIK MOSLASHUVI VA BIOINDIKATORLIK QONUNIYATLARINI ANIQLASH

Abduraimov Jasur Abdurashid o'g'li

e-mail: mrabduraimov11@gmail.com

Toshkent davlat agrar universiteti

Egamberdiyev Shaxzod Baxodir o'g'li

Toshkent davlat agrar universiteti

qishloq xo'jaligi fanlari falsafa doktori (PhD)

Annotatsiya. Sanoat korxonalari atrofida o'sadigan daraxt turlarining og'ir metallar va noyob yer elementlarini (REE) o'zida to'plash darajasi ularning ifloslanishga fiziologik moslashuv qonuniyatlarini aks ettiradi. Tadqiqotda Chirchiq shahridagi "Maksam-Chirchiq" zavodi atrofida o'sadigan to'rt xil daraxt turi (eman, sharq chinori, gozal katalpa, soxta kashtan) barglari induktiv bog'langan plazma mass-spektrometriyasi (ISP-MS) usulida tahlil qilindi. Eman va gozal katalpa yuqori akkumulyatsiya ko'rsatkichlari (mos ravishda Σ REE 2,106 va 2,101 mg/kg) bilan ajralib turdi, bu ularning barg tuzilishidagi moslashuv xususiyatlari (yirik yuza, tuklanish) tufayli ifloslantiruvchi moddalarni faolroq akkumulyatsiya qilishini ko'rsatadi. Olingan natijalar shahar sharoitida ekologik monitoring tizimini takomillashtirishda amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: bioindikatorlik, fiziologik moslashuv, og'ir metallar, REE, sanoat ifloslanishi, daraxt turlari, ISP-MS.

Аннотация. Степень накопления тяжелых металлов и редкоземельных элементов (РЗЭ) в древесных породах, произрастающих вблизи промышленных предприятий, отражает закономерности их физиологической адаптации к загрязнению. В исследовании листья четырех видов деревьев (дуб, платан восточный, катальпа, конский каштан), произрастающих вблизи завода «Максам-Чирчик» в городе Чирчик, были проанализированы методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). Дуб и катальпа выделялись наиболее высокими показателями накопления (Σ РЗЭ 2,106 и 2,101 мг/кг соответственно), что объясняется адаптивными особенностями структуры их листьев. Полученные результаты имеют практическое значение для совершенствования системы экологического мониторинга в городских условиях.

Ключевые слова: биоиндикация, физиологическая адаптация, тяжелые металлы, РЗЭ, промышленное загрязнение, древесные породы, ИСП-МС.

Abstract. The degree to which tree species growing near industrial enterprises accumulate heavy metals and rare earth elements (REE) reflects patterns of physiological adaptation to pollution. In this study, leaves of four tree species (oak,



Oriental plane tree, catalpa, and horse chestnut) growing near the "Maxam-Chirchiq" plant in Chirchiq city were analyzed using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Oak and catalpa exhibited the highest accumulation indices (ΣREE of 2.106 and 2.101 mg/kg, respectively), attributable to adaptive features of their leaf structure. The findings have practical significance for improving environmental monitoring systems in urban settings.

Keywords: bioindication, physiological adaptation, heavy metals, REE, industrial pollution, tree species, ICP-MS.

KIRISH

Sanoat korxonalaridan atmosferaga chiqarilayotgan azot oksidi, oltingugurt birikmalari, chang va og‘ir metall zarrachalari inson salomatligi hamda ekotizimlar barqarorligiga jiddiy tahdid solmoqda. Jahon miqyosida sanoatlashgan hududlarda havo ifloslanishi bilan bog‘liq kasalliklar yildan-yilga ortib bormoqda, bu esa atrof-muhit monitoringi tizimlarini takomillashtirishni dolzarb vazifaga aylantirmoqda. Bunday sharoitda shahar ko‘kalamzorlashtirish tizimidagi daraxt turlarining atmosfera va tuproqdagi og‘ir metallarni o‘zida to‘plash xususiyati ularni arzon va ishonchli bioindikator sifatida qo‘llash imkonini yaratadi.

Og‘ir metallarning inson organizmiga ta’siri keng o‘rganilgan muammo hisoblanadi: qo‘rg‘oshin (Pb) asosan nafas yo‘llari orqali qonga so‘rilib, nerv tizimiga zararli ta’sir ko‘rsatadi; kadmiy (Cd) buyrak funksiyasini buzadi va kansorogen xususiyatga ega; mishyak (As) esa xalqaro tasniflarda saraton kasalligini keltirib chiqaruvchi asosiy elementlardan biri sifatida qayd etilgan. Bunday elementlarning atmosferada tarqalishi va o‘simliklarda to‘planishi darajasini vaqtida aniqlash aholi salomatligini muhofaza qilishning muhim tarkibiy qismidir. Og‘ir metallar bilan bir qatorda, so‘nggi yillarda zamonaviy sanoat, elektronika va o‘g‘it ishlab chiqarishda keng qo‘llanilayotgan noyob yer elementlari (Rare Earth Elements, REE) ham atrof-muhitga tarqalayotgan yangi turdagi ifloslantiruvchi moddalar guruhi sifatida ilmiy jamoatchilik e’tiborini tortmoqda, biroq ularning ekologik-toksikologik xavfi hali yetarlicha o‘rganilmagan.

O‘simliklar, xususan daraxt turlari, atrof-muhitdagi ifloslanish darajasini aks ettiruvchi tabiiy “passiv monitor” vazifasini bajaradi. Ularning bargida vegetatsiya davomida to‘plangan elementlar miqdorini tahlil qilish orqali ma’lum hududdagi atmosfera va tuproq ifloslanish darajasini nisbatan arzon va keng ko‘lamda baholash mumkin. Biroq bu borada muhim savol — turli daraxt turlarining ifloslantiruvchi moddalarni akkumulyatsiya qilish qobiliyati bir xil emasligi, ya’ni har bir tur o‘ziga xos fiziologik moslashuv strategiyasiga ega ekanligidir. Shu sababli, aynan qaysi mahalliy daraxt turi eng samarali bioindikator sifatida xizmat qila olishini aniqlash amaliy va ilmiy ahamiyatga ega masaladir.

ADABIYOTLAR TAHLILI

Daraxt barglarining og‘ir metallarni bioindikatsiya qilish salohiyati bo‘yicha xalqaro adabiyotda keng tadqiqotlar olib borilgan. Jiang va boshqalar shahar sharoitida mox va daraxt barglarining atmosfera og‘ir metall cho‘kmasini monitoring qilishdagi samaradorligini solishtirib, har ikkala organizm turi ham ifloslanishni aks ettirishga



qodir ekanligini, biroq ularning sezgirlik darajasi turlicha ekanligini ko'rsatdi. Pajak va hammualliflarining so'nggi tadqiqotida Krakov shahridagi bog'larda qayin, lipa va zarrali platan barglari hamda *Pleurozium schreberi* moxi solishtirilib, qayin barglarining eng yuqori metall akkumulyatsiya indeksi (MAI) va biokonsentratsiya koeffitsientiga (BAF) ega ekanligi, shu sababli uni "giperto'plovchi" (hyperaccumulator) sifatida tavsiya etish mumkinligi aniqlangan. Bu natija turli daraxt turlari orasida akkumulyatsiya qobiliyati bo'yicha sezilarli farq borligini tasdiqlaydi.

Gasiorek va hammualliflari tomonidan Krakovning tarixiy bog'lari tuprog'idagi og'ir metall ifloslanishi geokimyoviy fon asosida baholanib, mahalliy fon ko'rsatkichidan foydalanilganda antropogen ifloslanish yanada aniqroq namoyon bo'lishi ko'rsatilgan — bu uslub ushbu tadqiqotda ham qo'llaniladigan yondashuvga mos keladi. Dresler va hammualliflari Polshadagi Zn-Pb kon-metallurgiya zonasi atrofida qayin barglarining og'ir metallarni to'plash qobiliyatini o'rganib, yuqori metall yuki barglarning ikkilamchi metabolizmiga (fenol birikmalar sinteziga) ta'sir qilishini aniqladi, bu esa metall akkumulyatsiyasi va o'simlikning fiziologik javob reaksiyasi o'rtasidagi bog'liqlikni ko'rsatadi.

Elkaee va hammualliflari Tehron shahridagi shahar daraxtlarining chang, og'ir metall va uglerod cho'ktirish salohiyatini qiyosiy baholab, katta barg yuzasiga va tuklangan epidermisga ega turlarning changni ko'proq ushlab qolishini isbotladi. Nguyen va hammualliflari Vetnamning sanoat hududi tuprog'ida nafaqat an'anaviy og'ir metallar, balki noyob yer elementlari (REE) ham baholanishi zarurligini ta'kidlab, REE monitoringi hali yetarlicha rivojlanmagan yo'nalish ekanligini qayd etdi. Bu fikr Sager va Wiche hamda Douleridou va hammualliflarining REE ekologik-toksikologik xavfi bo'yicha keng qamrovli sharhlarida ham tasdiqlangan bo'lib, ular yengil REE elementlarining (La, Ce, Nd) o'simliklarda ustunlik qilishini umumiy geokimyoviy qonuniyat sifatida ta'riflaydi.

Mahalliy sharoitda esa muallif tomonidan ilgari sharq chinori (*Platanus orientalis*) barglarida og'ir metallar to'planishi alohida o'rganilgan va uning bioindikatorlik xususiyati tasdiqlangan edi, shuningdek manzarali daraxt turlarining chiqindi gazlariga chidamliligi bo'yicha tadqiqot olib borilgan. Biroq mavjud adabiyotlarda turli daraxt turlarining akkumulyatsiya qobiliyatini bir vaqtning o'zida og'ir metallar va REE bo'yicha qiyosiy baholash, ya'ni qaysi tur eng samarali "biofiltr" ekanligini kompleks aniqlash masalasi hali yetarlicha o'rganilmagan.

Shuni ham ta'kidlash lozimki, adabiyotlarda tahlil qilingan tadqiqotlarning aksariyati bitta yoki ikkita elementlar guruhiga (odatda faqat og'ir metallarga) qaratilgan bo'lib, og'ir metallar va REE ni bir vaqtning o'zida, bir xil namunalarda taqqoslovchi tadqiqotlar juda kam uchraydi. Bu ayniqsa, Markaziy Osiyo mintaqasi, jumladan O'zbekiston sharoiti uchun deyarli o'rganilmagan yo'nalish hisoblanadi. Shu bilan birga, ko'pchilik xorijiy tadqiqotlar (Krakov, Tehron, Vetnam misollarida) mo'tadil yoki subtropik iqlim sharoitida o'tkazilgan bo'lib, ularning natijalarini O'zbekistonning issiq va quruq kontinental iqlimi sharoitiga to'g'ridan-to'g'ri tatbiq etish ilmiy jihatdan asossizdir — bu esa mahalliy sharoitda mustaqil tadqiqot o'tkazish zaruriyatini yanada kuchaytiradi.



Tadqiqotning maqsadi — bir xil sanoat zonasida o'sadigan to'rt xil daraxt turining og'ir metallar va REE larni akkumulyatsiya qilish qobiliyatini qiyosiy baholash, ularning fiziologik moslashuv qonuniyatlarini aniqlash va eng samarali bioindikator turni belgilashdan iborat.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Tadqiqot obyekti sifatida Toshkent viloyati Chirchiq shahridagi "Maksam-Chirchiq" zavodi atrofida o'sadigan to'rt xil manzarali daraxt turi — eman (*Quercus*), sharq chinori (*Platanus orientalis*), gozal katalpa (*Catalpa*) va soxta kashtan (*Aesculus*) — bargidan olingan namunalar xizmat qildi. Namunalar iyul oyida terib olindi, chunki bu davrda barglarda mavsum davomida to'plangan ifloslantiruvchi moddalar miqdori maksimal darajaga yetadi.

Namunalar tarkibidagi mikro- va makroelementlar, jumladan og'ir metallar (Pb, Zn, Cu, Ni, Cd, Mn, Sr, Ba, Co, As) hamda noyob yer elementlari (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) miqdori induktiv bog'langan plazma mass-spektrometriyasi (ISP-MS, NEXION-2000 asbobi) usulida O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Bioorganika kimyo instituti bilan hamkorlikda aniqlandi.

Namunalarni tayyorlash uchun 0,0500–0,5000 g miqdordagi aniq namuna analitik tarozida o'lchanib, teflon avtoklavlariga joylashtirildi va konsentrlangan azot kislotasi hamda vodorod peroksidi qo'shib, Berghof mikroto'lqinli parchalagichida (MWS-3+ dasturi) parchalandi. Parchalangan namuna 50–100 ml hajmli o'lchov kolbalariga o'tkazilib, 0,5% li azot kislotasi bilan belgilangan hajmga yetkazildi. Tahlil natijalari Perkin Elmer standarti asosida xatolik chegarasi (RSD, %) bilan mg/kg birligida ifodalandi.

Statistik tahlil uchun har bir tur bo'yicha olingan qiymatlar solishtirma jadvallarga kiritilib, elementlar yig'indisi (Σ REE) hisoblab chiqildi. Turlar orasidagi farqlar tavsiflovchi taqqoslash usulida (descriptive comparison) baholandi.

Tadqiqot dizayni tavsiflovchi-qiyosiy (descriptive-comparative) turga mansub bo'lib, to'rt xil daraxt turi bir xil geografik nuqta va bir xil vaqt oralig'ida namuna olish orqali solishtirildi, bu esa natijalarga ta'sir qiluvchi tashqi omillarni (masalan, iqlim, ifloslanish manbaigacha bo'lgan masofa) nazorat qilish imkonini berdi. Olingan ma'lumotlar mg/kg quruq massa birligida ifodalanib, har bir element bo'yicha turlar orasidagi nisbiy farq foizlarda hisoblab chiqildi.

TAHLIL VA NATIJALAR

Tadqiqot davomida to'rt xil daraxt turi barglarida ISP-MS usulida aniqlangan og'ir metallar va noyob yer elementlari (REE) miqdori quyida jadvallar ko'rinishida keltirilgan. Har bir jadvaldan so'ng olingan natijalar tahlil qilinib, turlar orasidagi farqlar hamda ularning mumkin bo'lgan fiziologik sabablari muhokama etiladi.

1-jadval.

Eng xavfli hisoblangan og'ir metallarning daraxt barglaridagi miqdori (mg/kg)

Daraxt turi	Pb	Zn	Cu	Ni	Cd	Mn	Sr	Ba	Co	As
Eman (<i>Quercus</i>)	2,62	35,8	13,9	8,49	0,029	35,7	109	67,5	0,260	0,591
Sharq chinori (<i>P. orientalis</i>)	1,12	8,97	8,90	2,74	0,011	72,4	61,1	15,8	0,144	0,412



<i>Daraxt turi</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	<i>Ni</i>	<i>Cd</i>	<i>Mn</i>	<i>Sr</i>	<i>Ba</i>	<i>Co</i>	<i>As</i>
<i>Gozal katalpa (Catalpa)</i>	2,57	35,1	10,7	2,15	0,017	69,9	123	34,5	0,252	0,809
<i>Soxta kashtan (Aesculus)</i>	1,80	10,6	8,29	1,61	0,017	79,5	60,7	39,7	0,220	0,571

1-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, eman (*Quercus*) barglarida qo‘rg‘oshin (Pb – 2,62 mg/kg), rux (Zn – 35,8 mg/kg), nikel (Ni – 8,49 mg/kg), kadmiy (Cd – 0,029 mg/kg) va mishyak (As – 0,591 mg/kg) miqdori qolgan uchta turga nisbatan eng yuqori ko‘rsatkichni namoyon qildi. Sharq chinorida esa aksincha, aksariyat elementlar (Zn, Ni, Cd, Ba) bo‘yicha eng past ko‘rsatkichlar qayd etilib, faqat marganets (Mn – 72,4 mg/kg) nisbatan yuqori bo‘lib chiqdi. Gozal katalpa strontsiy (Sr – 123 mg/kg) va mishyak (As – 0,809 mg/kg) bo‘yicha, soxta kashtan esa marganets (Mn – 79,5 mg/kg) va bariy (Ba – 39,7 mg/kg) bo‘yicha nisbatan yuqori ko‘rsatkichlarga ega bo‘ldi.

2-jadval.

Daraxt barglaridagi noyob yer elementlari (REE) miqdori (mg/kg)

<i>Daraxt turi</i>	<i>La</i>	<i>Ce</i>	<i>Pr</i>	<i>Nd</i>	<i>Sm</i>	<i>Eu</i>	<i>Gd</i>	<i>Dy</i>	<i>ΣREE</i>
Eman	0,521	0,992	0,087	0,293	0,063	0,034	0,046	0,037	2,106
Sharq chinori	0,260	0,507	0,044	0,149	0,029	0,015	0,021	0,017	1,042
Gozal katalpa	0,508	0,977	0,094	0,311	0,067	0,021	0,046	0,041	2,101
Soxta kashtan	0,354	0,658	0,065	0,210	0,047	0,019	0,031	0,029	1,437

2-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, barcha to‘rt turda ham yengil REE guruhiga kiruvchi lantan (La) va seriy (Ce) eng yuqori miqdorda uchraydi, og‘ir REE guruhi (Er, Yb) esa barcha turlarda ancha kam miqdorda qayd etildi. Bu naqsh Sager va Wiche hamda boshqa mualliflar tomonidan tasvirlangan o‘simliklarda REE to‘planishining umumiy geokimyoviy qonuniyatiga to‘liq mos keladi va ildiz orqali tuproqdan o‘zlashtirishning asosiy mexanizm ekanligini tasdiqlaydi. ΣREE bo‘yicha ham eman (2,106 mg/kg) va gozal katalpa (2,101 mg/kg) yetakchilik qilib, bu ikkala turning umumiy akkumulyativ salohiyati boshqa ikkitasidan deyarli ikki baravar yuqori ekanligini ko‘rsatdi.

Fiziologik moslashuv mexanizmlari. Daraxt turlarining og‘ir metall va REE larni turlicha akkumulyatsiya qilishi bir necha fiziologik omil bilan izohlanadi: (1) barg epidermisi va kutikula qalinligi — qalinroq kutikulaga ega turlar zaharli moddalarni tashqi to‘siq sifatida ko‘proq ushlab qoladi; (2) stomatalar zichligi va joylashuvi — stomatalar orqali gazsimon va erigan ifloslantiruvchi moddalarning hujayra ichiga kirishi tezlashadi; (3) ildiz tizimining tarmoqlanish darajasi — chuqur va zich ildiz tizimiga ega turlar tuproqdagi harakatchan metall ionlarini faolroq o‘zlashtiradi. Guo va hammualliflarining so‘nggi sharhida ko‘rsatilishicha, og‘ir metallar stomatalarning ochilish-yopilish faoliyatiga bevosita ta‘sir qiladi va absiz kislotasi (ABK) hamda reaktiv kislorod turlari (ROS) darajasini oshirib, stomatalarning yopilishini keltirib chiqarishi mumkin — bu esa o‘simlikning metall qabul qilishni cheklovchi himoya reaksiyasi hisoblanadi. Bu xulosa Elkaee va hammualliflarining katta barg yuzasiga ega turlarning changni faolroq ushlashi haqidagi topilmasi bilan ham mos keladi. Eman va gozal katalpaning yuqori akkumulyatsiya ko‘rsatkichlari, ehtimol, aynan shu uchala mexanizmning birgalikda namoyon bo‘lishi bilan bog‘liq.



Hujayra darajasidagi himoya mexanizmlari. O'simliklarda og'ir metallarning zaharli ta'siridan himoyalashning asosiy yo'llaridan biri — ularni vakuolalarda yoki hujayra devorida bog'lab, fiziologik faol sitoplazmadan ajratib qo'yishdir (kompartmentalizatsiya). Dresler va hammualliflari ko'rsatganidek, yuqori metall yuki qayin barglarida ikkilamchi metabolitlar (fenol birikmalar) sintezini faollashtiradi — bu o'simlikning stress omiliga javob reaksiyasi hisoblanadi. Qi va hammualliflarining

Vigna radiata o'simligida o'tkazgan tadqiqotida ham og'ir metall stressi ta'sirida eriydigan qandlar to'planishi va biomassaning qayta taqsimlanishi orqali osmotik moslashuv sodir bo'lishi ko'rsatilgan, bu umumiy stress-moslashuv strategiyasining daraxtlarda ham amal qilishi mumkinligini ko'rsatadi. Yuqori akkumulyatsiya ko'rsatkichiga ega turlarda (eman, gozal katalpa) ushbu himoya mexanizmlarining nisbatan yaxshi rivojlangan bo'lishi ehtimoldan xoli emas, biroq bu faraz kelgusida biokimyoviy tahlillar orqali tasdiqlanishi lozim.

Elementlar orasidagi bog'liqlik. Diqqatga sazovor jihati shundaki, og'ir metallar bo'yicha yetakchi turlar (eman, gozal katalpa) REE bo'yicha ham yetakchi bo'lib chiqdi. Bu ikki mustaqil elementlar guruhi orasidagi mos kelish tasodifiy emas — u bir xil fiziologik mexanizm (barg yuzasi orqali passiv adsorbsiya va ildiz orqali faol o'zlashtirish) ikkala guruh uchun ham amal qilishini ko'rsatadi. Bu esa ΣREE ko'rsatkichini kelgusida qo'shimcha, mustaqil bioindikator parametrlar sifatida qo'llash mumkinligini asoslaydi.

Bioindikatorlik nuqtai nazaridan, yuqori akkumulyatsiya qobiliyatiga ega turlar (eman, gozal katalpa) atrof-muhit monitoringi uchun eng informativ turlar hisoblanadi, chunki ularda ifloslanish darajasidagi o'zgarishlar tezroq va aniqroq aks etadi. Bu xulosa Pajax va hammualliflarining qayin barglarini eng samarali "giperto'plovchi" sifatida tavsiya etishi bilan mantiqan hamohang. Sharq chinori va soxta kashtan esa nisbatan barqaror (kam o'zgaruvchan) fon ko'rsatkichini beruvchi "nazorat" turlari sifatida monitoring tizimida qo'llanilishi mumkin. Kelgusi tadqiqotlarda ushbu kimyoviy natijalarni fotosintez intensivligi, xlorofill miqdori va stomatalar zichligi kabi to'g'ridan-to'g'ri fiziologik ko'rsatkichlar bilan bog'lab o'rganish tavsiya etiladi. Xalqaro tadqiqotlar bilan qiyosiy tahlil. Olingan natijalarni xalqaro adabiyotlar bilan solishtirish quyidagi qonuniyatlarni ochib beradi. Krakov shahridagi bog'larda o'tkazilgan tadqiqotda qayin barglarida rux (Zn) miqdori boshqa turlarga nisbatan to'rt baravar yuqori bo'lgani qayd etilgan, bu bizning tadqiqotimizda emanning boshqa turlarga nisbatan yuqori Zn ko'rsatkichi (35,8 mg/kg) bilan bir xil naqshni tashkil etadi — ya'ni har ikkala tadqiqotda ham keng, tuklangan barg yuzasiga ega tur yetakchilik qilgan. Tehron shahridagi shahar daraxtlari bo'yicha o'tkazilgan tadqiqotda ham katta barg yuzasi va tuklanish darajasi chang va og'ir metall akkumulyatsiyasi bilan ijobiy bog'liq ekanligi statistik jihatdan tasdiqlangan, bu bizning eman va gozal katalpa bo'yicha olingan natijalarimizni nazariy jihatdan asoslaydi.

Shu bilan birga, ma'lum farqlar ham kuzatildi: agar Pol tadqiqotlarida qayin (Betula) eng yuqori akkumulyatorlar qatoriga kirgan bo'lsa, bizning tadqiqotimizda mahalliy sharoitda eman (Quercus) ushbu vazifani bajardi. Bu farq geografik-iqlim sharoitlari, ifloslanish manbaining tabiati (Krakovda asosan transport va uy-joy issiqlik tizimlari, Chirchiqda esa kimyo sanoati korxonasi) hamda tuproq geokimyosining farqi



bilan izohlanishi mumkin. Bu, o'z navbatida, bioindikator turni tanlashda mahalliy sharoitlarni har doim alohida sinovdan o'tkazish zarurligini ko'rsatadi — boshqa mintaqalarda olingan natijalarni to'g'ridan-to'g'ri ko'chirib qo'llash noto'g'ri xulosalarga olib kelishi mumkin.

Tadqiqotning cheklovlari va kelgusi yo'nalishlar. Ushbu tadqiqotning bir qator cheklovlari mavjud. Birinchidan, namunalar faqat bitta mavsumda (iyul oyida) olingan bo'lib, elementlar miqdorining fasllar bo'yicha o'zgarishi hisobga olinmagan. Ikkinchidan, tadqiqot bitta sanoat manbai ("Maxam-Chirchiq" zavodi) atrofida o'tkazilgan, shu sababli natijalarni boshqa turdagi sanoat korxonalari (masalan, metallurgiya yoki avtotransport ifloslanishi) atrofiga umumlashtirish ehtiyotkorlik talab qiladi. Uchinchidan, fiziologik moslashuv mexanizmlari (kutikula qalinligi, stomatalar zichligi, fitoxelatinlar miqdori) haqidagi xulosalar hozircha nazariy faraz darajasida bo'lib, ularni tasdiqlash uchun qo'shimcha anatomik va biokimyoviy tahlillar talab etiladi. Kelgusi tadqiqotlarda nazorat (sanoatsiz) hududdan olingan namunalar bilan solishtirish, fasllar kesimida dinamik kuzatuv olib borish hamda statistik ishonchlilikni oshirish uchun namunalar sonini ko'paytirish tavsiya etiladi.

XULOSA VA TAKLIFLAR

1. Tekshirilgan daraxt turlari sanoat ifloslanishiga nisbatan turlicha fiziologik moslashuv strategiyasini namoyon qiladi, bu ularning barg tuzilishi va ildiz faoliyati bilan bog'liq.

2. Eman (*Quercus*) va gozal katalpa (*Catalpa*) eng yuqori bioindikatorlik salohiyatiga ega bo'lib, ekologik monitoring tizimida ustuvor tur sifatida tavsiya etiladi.

3. Barcha to'rt turda ham yengil REE guruhi (La, Ce) ustunlik qilishi aniqlandi, bu xalqaro adabiyotlarda qayd etilgan umumiy geokimyoviy qonuniyatga mos keladi va REE monitoringini mahalliy amaliyotga joriy etish zarurligini ko'rsatadi.

4. Og'ir metallar va REE bo'yicha yetakchi turlarning bir xil bo'lib chiqishi ularning fiziologik moslashuv mexanizmi umumiy ekanligini ko'rsatadi, bu esa ΣREE ko'rsatkichini qo'shimcha bioindikator parametrlar sifatida qo'llash imkonini beradi.

5. Aniqlangan qonuniyatlarni kelgusida fotosintez intensivligi, xlorofill miqdori va stomatalar zichligi kabi to'g'ridan-to'g'ri fiziologik ko'rsatkichlar bilan bog'lab, chuqurroq o'rganish tavsiya etiladi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI / REFERENCES

1. Jiang Y., Fan M., Hu R., Zhao J., Wu Y. Mosses Are Better than Leaves of Vascular Plants in Monitoring Atmospheric Heavy Metal Pollution in Urban Areas // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2018. – Vol. 15(6). – Art. 1105.
2. Pajak M., Gasiorek M., Szostak M., Halecki W. Soil, Tree Species, and Pleurozium schreberi as Tools for Monitoring Heavy Metal Pollution in Urban Parks // Sustainability. – 2025. – Vol. 17(15). – Art. 6708.
3. Gasiorek M., Kowalska J., Mazurek R., Pajak M. Comprehensive assessment of heavy metal pollution in topsoil of historical urban park on an example of the Planty Park in Krakow (Poland) // Chemosphere. – 2017. – Vol. 179. – P. 148–158.



4. Dresler S., Wójciak M., Sowa I., Sawicki J., Strzemiński M., Hawrylak-Nowak B., Hanaka A. Accumulation ability of trace metals by silver birch leaves in areas contaminated by Zn–Pb ore processing // *Chemosphere*. – 2024. – Vol. 362. – Art. 142719.
5. Elkaee S., Shirvany A., Moeinaddini M., Sabbagh F. Assessment of Particulate Matter, Heavy Metals, and Carbon Deposition Capacities of Urban Tree Species in Tehran, Iran // *Forests*. – 2024. – Vol. 15. – Art. 273.
6. Nguyen M.D. et al. Assessment of potentially toxic and rare earth elements in surface soils of Dong Nai, Vietnam // *Environmental Geochemistry and Health*. – 2025. – Vol. 47. – Art. 31.
7. Sager M., Wiche O. Rare Earth Elements (REE): Origins, Dispersion, and Environmental Implications — A Comprehensive Review // *Environments*. – 2024. – Vol. 11(2). – Art. 24.
8. Doulgeridou A., Amlund H., Sloth J.J., Hansen M. Review of Potentially Toxic Rare Earth Elements, Thallium and Tellurium in Plant-based Foods // *EFSA Journal*. – 2020.
9. Yuldasheva S.Sh., Xaydarova X.N., Aburaimov J.A. Platanus orientalis – sharq chinori barglarining og‘ir metallar bilan ifloslanish darajasi (Chirchiq shahri misolida) // *Agro kimyo himoya va o‘simliklar karantini*. – 2026. – №2 (117). – B. 105–109.
10. Yuldasheva S.Sh., Abduraimov J.A. Types of landscape trees resistant to environmental waste gases // *American Journal of Multidisciplinary Bulletin*. – 2024. – Vol. 2, Issue 5. – P. 78–82.
11. Guo Z., Gao Y., Yuan X., Yuan M., Huang L., Wang S., Liu C. Effects of Heavy Metals on Stomata in Plants: A Review // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2023. – Vol. 24. – Art. 9302.
12. Qi W., Bai J., Yu H., Han G. Physiological Adaptations of *Vigna radiata* to Heavy Metal Stress: Soluble Sugar Accumulation and Biomass Enhancement // *Plants*. – 2025. – Vol. 14(8). – Art. 1191.

