



Gulhayo ATOYEVA,
O'zbekiston Milliy universiteti katta o'qituvchisi, PhD
E-mail: gulhayoatoyeva@gmail.com

TDMAU dotsenti, PhD J.Abdinazarov taqrizi asosida

RELATIONSHIP OF ENZYME ACTIVITY WITH HEAVY METALS IN SOILS CONTAMINATED WITH HOUSEHOLD WASTE

Annotation

Soil contamination with heavy metals originating from municipal solid waste adversely affects soil biological activity. This study assessed the levels of molybdenum, tin, arsenic, copper, and bismuth contamination in soils surrounding municipal waste disposal sites and evaluated their effects on soil enzyme activity. Relationships between enzyme activity and heavy metal concentrations were analyzed using analysis of variance (ANOVA), regression analysis, and principal component analysis (PCA). The results confirm that heavy metals have a significant impact on soil enzymatic activity and highlight the importance of enzyme indicators for environmental monitoring and bioindication.

Keywords: soil fertility, soil contamination, soil biological activity, soil degradation, heavy metals.

СВЯЗЬ АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ В ПОЧВАХ, ЗАГРЯЗНЁННЫХ БЫТОВЫМИ ОТХОДАМИ, С ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Аннотация

Загрязнение почв тяжёлыми металлами, поступающими в составе бытовых отходов, оказывает отрицательное влияние на их биологическую активность. В данном исследовании оценены уровни загрязнения почв, прилегающих к полигонам твёрдых бытовых отходов, молибденом, оловом, мышьяком, медью и висмутом, а также влияние этих элементов на активность почвенных ферментов. Взаимосвязи между ферментативной активностью и концентрациями тяжёлых металлов проанализированы с использованием дисперсионного анализа (ANOVA), регрессионного анализа и метода главных компонент (PCA). Полученные результаты подтверждают значительное влияние тяжёлых металлов на ферментативную активность почв и подчёркивают важность данных показателей для экологического мониторинга и биоиндикации.

Ключевые слова: плодородие почв, загрязнение почв, биологическая активность почв, деградация почв, тяжёлые металлы.

MAISHIY CHIQINDILAR BILAN IFLOSLANGAN TUPROQLARDA FERMENTLAR FAOLLIGINING OG'IR METALLAR BILAN BOG'LIQLIGI

Annatatsiya

Maishiy chiqindilar tarkibidagi og'ir metallar bilan tuproqlarning ifloslanishi ularning biologik faolligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Mazkur tadqiqotda maishiy chiqindixonalar atrofi tuproqlarida molibden, qalay, mishyak, mis va vismut bilan ifloslanish darajasi hamda ushbu elementlarning tuproq fermentlari faolligiga ta'siri baholandi. Ferment faolligi bilan og'ir metallar kontsentratsiyalari o'rtasidagi bog'liqliklar ANOVA, regressiya va asosiy komponentlar tahlili (PCA) usullari yordamida tahlil qilindi. Olingan natijalar og'ir metallarning tuproq fermentativ faolligiga sezilarli ta'sirini tasdiqlab, ushbu ko'rsatkichlarning ekologik monitoring va bioindikatsiyada muhim ahamiyatga ega ekanini ko'rsatadi

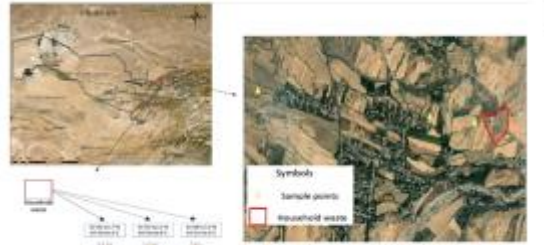
Kalit so'zlar. Tuproq unumdorligi, tuproq ifloslanishi, tuproqning biologik faolligi, tuproq degradatsiyasi, og'ir metallar.

Kirish. Atrof muhitni, jumladan, tuproqlarni maishiy chiqindilar bilan ifloslanishi dunyo bo'yicha yil sayin ortib bormoqda, bu esa tuproqning kimyoviy, fizikaviy, biologik xossalari, unumdorligiga salbiy ta'sir qilishi natijasida unumdorlik ko'rsatkichini pasayishiga olib kelmoqda. Ifloslanish natijasida dastlab tuproqlarning mikrobiologik olamida o'zgarish sodir bo'ladi. Chiqindilarni boshqarish barcha mamlakatlarda inson salomatligi, atrof-muhitni muhofaza qilish, barqarorlik va aylanma iqtisodiyotga muhim ta'sir ko'rsatadi.

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili. Chiqindilarni utilitatsiya qilishning sanitariya usuli keng qo'llaniladigan an'anaviy usul bo'lib qolayotgan bo'lsa-da, uning atrof-muhit va sog'liq uchun ta'siri bo'yicha mavjud ilmiy dalillar yetarlicha ishonchli emas. Qattiq maishiy chiqindilarni qayta ishlashning turli usullarini (ko'mib tashlash, yoqish, kompostlash va boshqalar) qiyosiy o'rganish shuni ko'rsatadiki, ko'pchilik mamlakatlarda ko'mib tashlash usuli texnologik jihatdan nisbatan arzon hisoblanadi [1]. Maishiy chiqindilar har doim ham zaharli yoki xavfli bo'lmasligi mumkin, biroq ular yig'ilmasa yoki noto'g'ri boshqarilsa, ekologik xavf manbaiga aylanadi [2]. Maishiy chiqindilar tarkibiga organik va noorganik komponentlar kiradi. Chiqindilarni qayta ishlash jarayonlari asosan uch turga bo'linadi: jismoniy ishlov berish, kimyoviy qayta ishlash va biologik tozalash [3]. So'nggi yillarda yangi ifloslantiruvchi moddalar sifatida mikroplastmassalar va nanoplastikalar dunyoning barcha mintaqalarida keng tarqalmoqda [4].

Tadqiqod metodologiyasi. Toshkent viloyati Ohangaron tumanida joylashgan Toshkent shahar maishiy chiqindixonasi O'zbekistondagi yirik chiqindi poligonlaridan biri bo'lib, Toshkent shahridan to'plangan maishiy va sanoat chiqindilarini

utilizatsiya qilish uchun xizmat qiladi. Tuproq namunalari va kesmalari 0–30 sm qatlamdan, maishiy chiqindilar ta'siri eng yuqori bo'lgan hududlardan Davlatlararo standartlar (GOST 17.4.3.01-83 va GOST 17.4.4.02-84) asosida olindi. Namuna olish chiqindi poligonidan 0,2 km, 1,2 km va 5,0 km masofalarda amalga oshirilib, har bir masofadan 5 tadan namuna yig'ildi. Tuproqdagi og'ir metallarning umumiy va harakatchan miqdorlari atom-absorbtsion spektroskopiyasi (AAS) va induktiv bog'langan plazma–mass spektrometriya (ICP-MS) usullari yordamida aniqlandi. Olingan natijalar ANOVA, regressiya tahlili va asosiy komponentlar tahlili (PCA) usullari asosida qayta ishlanib, Sn, As, Cu, Bi va Mo fraksiyalari, tuproq xossalari hamda fermentlar faolligi o'rtasidagi farqlar eng kam ahamiyatli farq testi yordamida baholandi. Natijalar tuproqni tiklash va ekologik boshqaruv choralarini ishlab chiqishda ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi. (1-rasm).



1-rasm. Tadqiqot maydoni va tuproq profilining joylashuvi

Tahlil va natijalar. Tadqiqot hududida tarqalagan tuproqlarning maishiy chiqindilar bilan turli darajada ifloslangan hisoblanadi. Ushbu ifloslantiruvchi elementlar yani tuproqlarga tushgan maishiy chiqindilar tarkibidagi turli og'ir metallar miqdorini aniqlash maqsadida tadqiqot hududidan xalqaro standartlar doirasida turli masofalarda tuproq namunalari olinib laboratoriya sharoitida miqdori va Clark tarqalishi hamda Clark koeffitsientlari (Kc) aniqlandi (1-jadval).

1-jadval

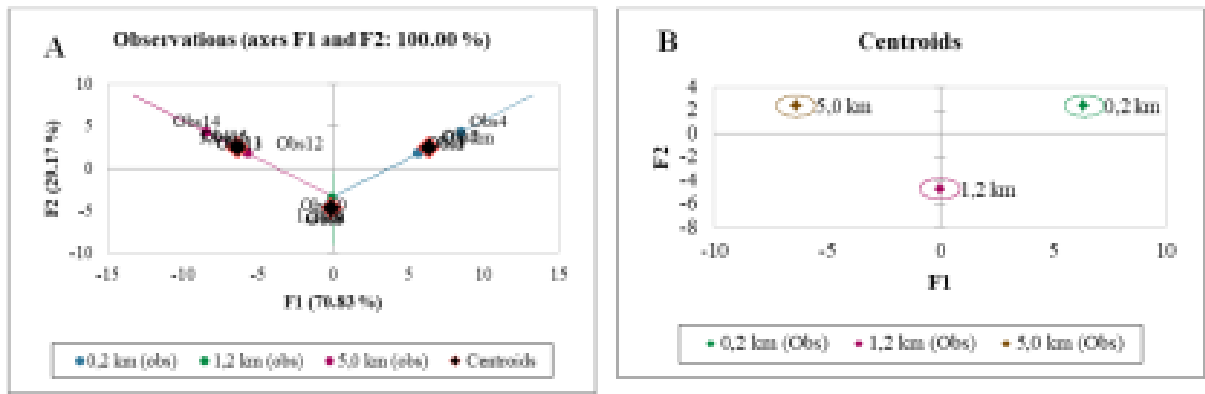
Tadqiqot tuproqlaridagi og'ir metallarning Clark konsentratsiyasi (Ck) miqdori

Element	Lokal miqdori (mg/kg)	Clark tarqalishi (mg/kg)	Clark koeffitsienti	Holat tasnifi
0,2 km masofa				
Sn	5,52	2	2,76	boyitilgan
As	13,8	1,8	7,67	juda boyitilgan
Mo	6,63	1,2	5,525	juda boyitilgan
Cu	80,8	50	1,616	boyitilgan
Bi	2,0	0,17	11,765	juda boyitilgan
1,2 km masofa				
Sn	3,96	2	1,98	boyitilgan
As	7,11	1,8	3,95	juda boyitilgan
Mo	6,07	1,2	5,058	juda boyitilgan
Cu	78,9	50	1,578	boyitilgan
Bi	1,88	0,17	11,059	juda boyitilgan
5 km masofa				
Sn	2,54	2	1,27	boyitilgan
As	11,4	1,8	6,33	juda boyitilgan
Mo	6,02	1,2	5,017	juda boyitilgan
Cu	69,2	50	1,384	boyitilgan
Bi	1,42	0,17	8,353	juda boyitilgan

Aniqlangan og'ir metallarning miqdori yer po'stidagi o'rtacha qiymatlar (Vinogradov, 1962) bilan taqqoslandi. Natijalarga ko'ra, 0,2 km masofada Sn elementi me'yoriy darajadan 2,2 baravar yuqori bo'lib, masofa ortishi bilan uning miqdori kamayib, 5 km masofada fon darajasiga yaqinlashadi. As elementi barcha nuqtalarda me'yoriy qiymatlardan sezilarli darajada yuqori aniqlanib, ayniqsa 0,2 km masofada 6,9 baravar oshgani qayd etildi. Mo elementi ham barcha masofalarda me'yoridan yuqori bo'lsa-da, uning farqi nisbatan barqaror saqlanib qoldi.

Clark koeffitsientlari (Kc) Sn elementi uchun 0,2 km da 2,76, 1,2 km da 1,98 va 5 km da 1,27 ni tashkil etib, chiqindixonaga yaqin hududda eng yuqori boyitilish kuzatilishini ko'rsatdi. As elementi uchun Kc qiymatlari 0,2 km da 7,67, 1,2 km da 3,95 va 5 km da 6,33 bo'lib, mishyakning juda yuqori darajada boyitilganini tasdiqlaydi. Mo elementi uchun Kc qiymatlari barcha masofalarda 5,02–5,53 oralig'ida bo'lib, uning hudud bo'yicha barqaror va yuqori boyitilganini ko'rsatdi. Bu natijalar maishiy chiqindixonalar tuproqni og'ir metallar bilan ifloslantiruvchi muhim manba ekanini tasdiqlaydi.

Statistik ishonchlikni oshirish maqsadida Diskriminant tahlil, ANOVA va Correspondence Analysis usullari qo'llanildi. Diskriminant tahlil natijalariga ko'ra, birinchi va ikkinchi diskriminant funksiyalar mos ravishda 70,83 % va 29,17 % dispersiyani izohlab, 0,2 km, 1,2 km va 5,0 km masofalardagi tuproq namunalari o'rtasida aniq farqlanish va yaxshi guruhlanish mavjudligini ko'rsatdi (3-rasm).



2-rasm. Laboratoriya natijalarning Diskriminant tahlil (DA) natijalari

2-rasmda ko'rinib turibdiki bir-birining centroidlaridan aniq farqlanadi. Bu esa diskriminant tahlilning yuqori darajasidan dalolat beradi. Jumladan, 0,2 km masofada joylashgan markazlar F1 musbat, F2 xususiyat ham musbat, yuqori-ng kvadrantda belgilangan. Bu guruh aniq, boshqa narsadan keskin farqlanadi. 1,2 km masofada joylashgan markazlar F1 neytral (0 ga yaqin), F2 manzil manfiy, quyi-markazda kiritiladi. Ammo baribir farqlanadi, ammo baribir yaxshi ajratilgan. 5,0 km masofada joylashgan markazlar F1 maqsad manfiy, F2 maqsad musbat, yuqori-chap kvadrantda.

Tahlil ANOVA testi bilan ham davom ettirildi. Unga ko'ra, eng kuchli ko'rsatkich Cu va As da kuzatilgan, bu esa tahlil qilinayotgan natijaga Cu va As ning juda yuqori darajada ta'sir ko'rsatishini ko'rsatmoqda (2-jadval).

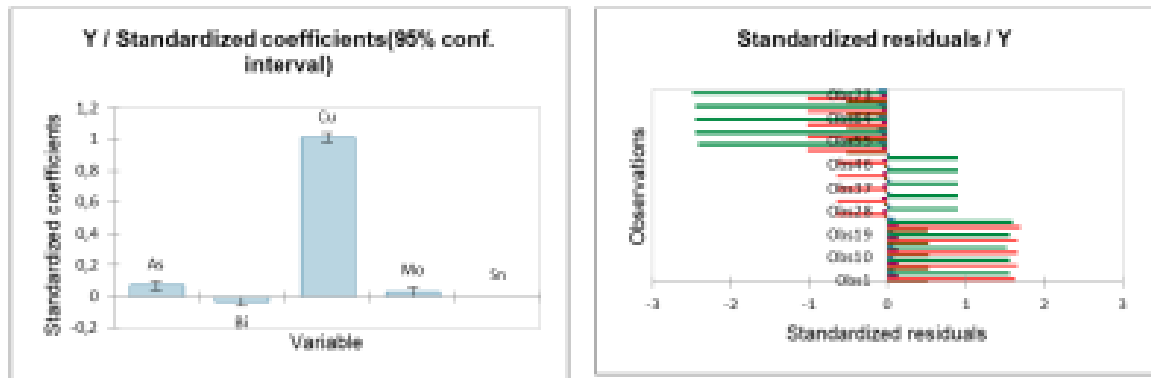
2-jadval.

Guruhlar orasidagi Pr > T orqali tuproqdagi og'ir metallarni tahlili

Ifloslovchi moddalar	qiymatlar	Standart xato t	t	Pr > t	Pastki chegara (95%)	yuqori chegara (95%)	p-qiymatlarining ahamiyat kodlari	qiymatlar
Kesish miqtasi	4,005	0,748	5,355	<0.0001	2,513	5,497		***
As	4,987	1,058	4,715	<0.0001	2,877	7,097		***
Bi	-2,237	1,058	-2,115	0,038	-4,347	-0,127		*
Cu	72,295	1,058	68,340	<0.0001	70,185	74,405		***
Mo	2,233	1,058	2,111	0,038	0,123	4,343		*
Sn	0,000	0,000						

Belgi kodlari: 0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1

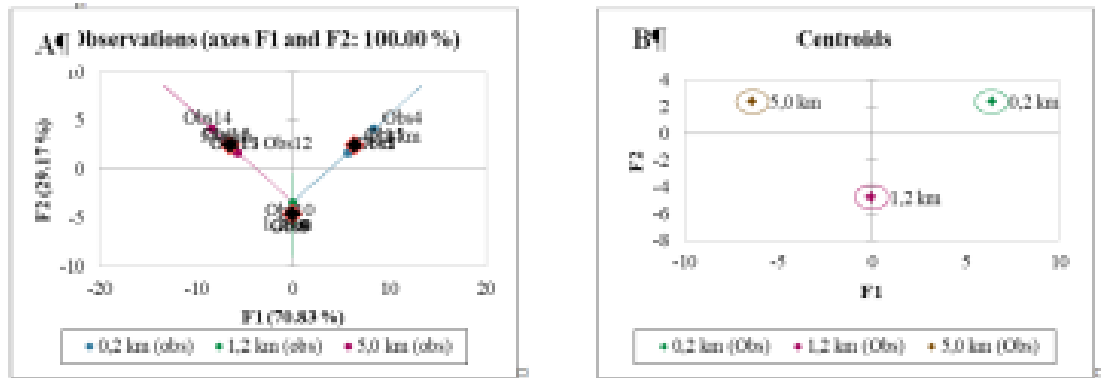
Laboratoriya tahlillar o'rtasidagi farqlarni aniqlash maqsadida og'ir metallarning standardized coefficients, standard residual og'ishlari hamda hududdan olingan namunalarning means ko'rsatkichlari aniqlandi (Fig.4). Unga ko'ra, standardized coefficients (95% conf. interval) da Cu eng katta ta'sirga, As va Mo ta'siri juda kichik ekanligi aniqlandi. Bi va Sn og'ir metallari deyarli ta'sir qilmagan. Means ko'rsatkichlari bo'yicha ham Cu namunasi Y qiymatiga eng sezilarli va kuchli ta'sir qiluvchi asosiy omil ekanligi yana bir bor (~75-80 oralig'ida) tasdiqlanmoqda. Bi, As, Mo, va Sn esa sezilarli ta'sirga ega emas.



3-rasm. Laboratoriya natijalarning ANOVA test natijalari

Model prognozlar va haqiqiy kuzatuvlar o'rtasidagi farqlarni baholash uchun standartlashtirilgan qoldiqlar tahlil qilindi. Qoldiqlarning aksariyati -2 va +2 oralig'ida joylashib, modelning yaxshi aniqlikka ega ekanini ko'rsatdi. Ayrim kuzatuvlar (Obs71, Obs64, Obs57, Obs50 va Obs1) nisbatan katta og'ishlarga ega bo'lib, ayniqsa Obs71 (~ -2,5) modelga kam mos kelishini ko'rsatdi. Shunga qaramay, qoldiqlarning asosiy qismi -1 va +1 oralig'ida to'plangan bo'lib, modelning bashorat qilish qobiliyati yuqori ekanini tasdiqlaydi.

Ifloslangan tuproqlarda katalaza faolligi 0,106–0,504 ml, invertaza 6,10–23,8 mg va ureaza 0,35–1,54 mg oralig'ida o'zgardi. Chiqindixonaga yaqin hududda katalaza faolligining pastligi tuproqning ifloslanishi va biokimyoviy faollikning susayishi bilan bog'liq bo'lsa, 1,2 km masofada tuproq sharoiti sog'lom holatga yaqinlashadi. PCA natijalariga ko'ra, birinchi va ikkinchi asosiy komponentlar mos ravishda 70,83 % va 29,17 % dispersiyani izohlab, 0,2 km, 1,2 km va 5,0 km masofalardagi namunalarning aniq guruhlanishini ko'rsatdi (5-rasm).



4-rasm. Laboratoriya natijalarning Diskriminant tahlil (DA) natijalari

Guruhlar joylashuviga ko'ra, F1 bo'yicha katta ijobiy qiymatlar bilan ifodalanib, o'zaro yaqin joylashgan. Bu guruh o'ziga xos xususiyatga ega ekanligini ko'rsatadi. 1.2 km markazda, deyarli koordinata boshida (0 atrofida) joylashgan. Kuzatuvlar F1 komponenti asosida yaqqol guruhlarga ajraladi (0.2 km va 5.0 km). Aynan shu komponentda muhim ahamiyatga ega bo'lgan o'zgaruvchilarni batafsil tahlil qilish lozim ekanligidan dalolat. 1.2 km masofa o'rtacha yoki neytral guruhni ifodalaydi. Komponentlar bo'yicha guruhlarning joylashishi bo'yicha, Fig.3 B 0.2 km guruh F1 bo'yicha ijobiy (taxminan +6 atrofida), F2 bo'yicha ham ijobiy (~+2). Demak, bu guruh F1 va F2 komponentlar bo'yicha alohida xarakteristikalarini o'zida aks ettiradi. 5.0 km guruh F1 bo'yicha salbiy (taxminan -6 atrofida), F2 bo'yicha esa ijobiy (~+2). Bu guruh 0.2 km guruhidan ayniqsa F1 komponenti bo'yicha keskin farqlanadi. 1.2 km guruh F1 bo'yicha neytral (deyarli 0), F2 bo'yicha esa aniq salbiy (taxminan -5 atrofida). Invertase fermenti bo'yicha kuchli ta'sir (0,786) va juda kichik standart xato (0,107). p-qiymati juda past (<0.0001), natija juda aniq va ishonchli ekanligidan dalolat. Urease fermentida natijalar mutunosib chiqmadi.

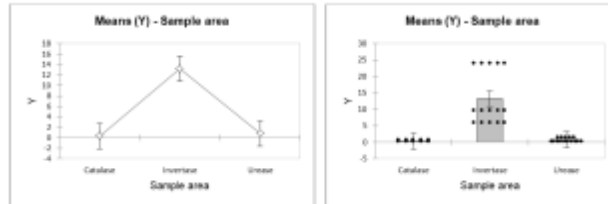
4-jadval.

Tuproqdagi fermentlarni guruhlar o'rtasida Pr > T bo'yicha tahlili

Ferment	qiymatlar	Standart xato t	t	Pr > t	Pastki chegara (95%)	yuqori chegara (95%)	p-qiymatlarining ahamiyat kodlari
Katalaza	-0,029	0,107	-0,273	0,786	-0,244	0,186	o
Invertaza	0,786	0,107	7,366	<0.0001	0,571	1,001	***
Ureaza	0,000	0,000					

Belgi kodlari: 0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1

Standartlashtirilgan regressiya koeffitsiyentlari (95% ishonch oralig'i bilan) natijalar tahlili bo'yicha, Invertase fermenti standartlashtirilgan koeffitsiyenti taxminan 0.8, bu juda yuqori qiymat (6-rasm).



5-rasm. Laboratoriya natijalarning ANOVA test natijalari

Natijalar invertaza fermenti uchun ta'sir ko'rsatkichi ishonch oralig'i 0,6–1,0 da joylashib, 0 dan ancha uzoqda ekanini va natijaning statistik jihatdan ishonchli ekanini ko'rsatadi. Katalaza fermenti uchun ko'rsatkich juda kichik va salbiy bo'lib ($\approx -0,05$), uning ishonch oralig'i $-0,25$ dan $+0,18$ gacha bo'lib, 0 qiymatini o'z ichiga oladi, bu esa ta'sirning statistik jihatdan ahamiyatsizligini bildiradi. Ureaza fermenti ta'siri esa aniqlanmadi. Standartlashtirilgan qoldiqlar asosan -1 va $+1$ oralig'ida joylashgan bo'lib, modelning mosligi yaxshi ekanini ko'rsatadi, ayrim kuzatuvlarda esa (Obs41, Obs36, Obs31, Obs1 va Obs6) qoldiqlar nisbatan yuqori qiymatga ega.

Ekologik baholashga ko'ra, yuqori darajada ifloslangan hudud tuproqlarida invertaza fermenti faolligi 6,10 ni tashkil etib, organik moddalarning fermentativ parchalanishi past ekanini ko'rsatadi. Fon hududida esa invertaza faolligi 23,80 ga yetib, ifloslanmagan tuproqlarda mikrobiologik jarayonlar yuqori darajada kechishini tasdiqlaydi. **Xulosa va tavsiyalar.** Tadqiqot natijalari maishiy chiqindixonona atrofidagi tuproqlarda og'ir metallarning to'planishi tuproq fermentlarining faolligiga sezilarli ta'sir ko'rsatishini tasdiqladi. Hudud tuproqlari bir qator toksik elementlar bilan ifloslangan bo'lib, ularning ayrimlari ruxsat etilgan me'yordan ancha yuqori ekani aniqlandi. Xususan, mis miqdori me'yordan 13–14 baravar, mishyak 4–5 baravar, molibden esa fon darajasidan yuqori ekanligi qayd etildi. Og'ir metallarning ortiqcha to'planishi tuproqning ekologik holati va fermentativ jarayonlariga salbiy ta'sir ko'rsatib, bu holat ayniqsa mishyak va vismut elementlari misolida yaqqol namoyon bo'ldi. Shu bilan birga, ayrim metallar va fermentlar faolligi o'rtasidagi ijobiy bog'liqlik mikroorganizmlarning ifloslanish sharoitiga moslashuvi bilan izohlanadi.

Minnatdorchilik

Bu maqola O'zbekiston Respublikasining Innovatsion rivojlanish agentligi moliyalashtirgan quyidagi loyiha asosida bajarilgan ishlar natijalari asosida yozilgan: **AL-8624042553-** "Maishiy chiqindixonona atrofidagi hududlar uchun muhofaza, ifloslanish, fon hudud chegarasini belgilash hamda tuproqlarning ekologik indikatorlarini ishlab chiqish"

ADABIYOTLAR

1. Arutyunyanz A A1, Salamova N A1, Simeonidi D D1. Characterization of Condition of the Sewage Water and the Level of the Soil Pollution by Polygons of Waste Matter of Republic of North Ossetia – Alania. 7. Bhupendra Koul., Pooja Taak. Soil

- Pollution: Causes and Consequences. // Springer Nature. 2018. Chapter - 1–37. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2420-8_1.
2. Akobundu N. Amadi. Heavy Metal Concentration in Soils from Enyimba Dumpsite in Aba, Southeastern Nigeria. //Asian Journal of Water, Environment and Pollution, Vol. 11, No. 1 (2014), -Pp. 105–113.
 3. Degtyareva I. A., Khidiyatullina A. Ya. Evaluation of the influence of natural associations of hydrocarbon-oxidizing microorganisms on the state of oil-contaminated soil. Scientific Notes of Kazan University 2011, -Vol. 153, - book. - P. 29.
 4. Efremova S.Yu., Sharkov T.A., Lukanets O.V. Environmental monitoring of soil pollution. Pedagogical University named after V.G. Belinsky natural. - No. 25. 2011. –P. 1-2.