



UDK: 595.7:504.054(575.1)

**Matnazar RAKHIMOV,**  
*B.f.d., professor, O‘zbekiston Milliy universiteti*  
*Biologiya va ekologiya fakulteti Zoologiya kafedrasini mudiri*  
**Fatxulla HAMIDULLAYEV,**  
*Magistrant, O‘zbekiston Milliy universiteti*  
*E-mail: hamidullayevfatxulla@gmail.com*

*TDTU “Biotexnologiya kafedrasini mudiri prof., b.f.d G.Abdullayeva taqrizi asosida*

## DIVERSITY AND SPATIAL DISTRIBUTION OF SOIL COLLEMBOLA FAUNA AROUND NAVOI MINING AND METALLURGY COMBINAT

Annotation

This study examines soil Collembola diversity around Navoi Mining and Metallurgy Combinat (NMMC) in Uzbekistan. Soil samples were collected at three distances (0.5 km, 2 km, 5 km) during winter months (November 2025, December 2025, January 2026), with nine replicates per location (27 total samples). Five species were identified: *Folsomia candida*, *Isotoma viridis*, *Entomobrya nivalis*, *Sminthurus viridis*, and *Hypogastrura viatica*. Results showed significant biodiversity increase with distance from the industrial facility. Shannon diversity index increased from 0.00 at 0.5 km to 1.89 at 5 km. Total abundance increased 3.3-fold (89 to 297 individuals). Statistical analysis confirmed highly significant differences among distance groups ( $p < 0.001$ ). Species-specific responses revealed differential pollution tolerance patterns. This research establishes baseline data for biomonitoring programs in Central Asian mining regions.

**Key words:** Collembola, springtails, soil fauna, biodiversity, industrial pollution, bioindicator, mining ecology, heavy metals, Shannon diversity index, ecological monitoring.

## РАЗНООБРАЗИЕ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФАУНЫ ПОЧВЕННЫХ КОЛЛЕМБОЛ ВОКРУГ НАВОЙСКОГО ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

Аннотация

В данном исследовании изучено разнообразие почвенных коллембол вокруг Навойского горно-металлургического комбината (НГМК) в Узбекистане. Пробы почвы были взяты на трех расстояниях (0.5 км, 2 км, 5 км) в зимние месяцы (ноябрь 2025 г., декабрь 2025 г., январь 2026 г.), с девятью повторностями на каждой точке (всего 27 образцов). Идентифицировано пять видов: *Folsomia candida*, *Isotoma viridis*, *Entomobrya nivalis*, *Sminthurus viridis* и *Hypogastrura viatica*. Результаты показали значительное увеличение биоразнообразия с удалением от промышленного объекта. Индекс Шеннона увеличился с 0.00 на расстоянии 0.5 км до 1.89 на расстоянии 5 км. Общая численность увеличилась в 3.3 раза (с 89 до 297 особей). Статистический анализ подтвердил высоко значимые различия между группами расстояния ( $p < 0.001$ ).

**Ключевые слова:** Коллемболы, почвенная фауна, биоразнообразие, промышленное загрязнение, биоиндикатор, горная экология.

## NAVOIY KON-METALLURGIYA KOMBINATI ATROFIDAGI TUPROQ KOLLEMBOLALARI FAUNASINING XILMA-XILLIGI VA FAZOVIIY TAQSIMLANISHI

Annotatsiya

Mazkur tadqiqotda O‘zbekistondagi Navoiy kon-metallurgiya kombinati (NKMK) atrofidagi tuproq kollembolalari xilma-xilligi o‘rganildi. Tuproq namunalari uchta masofada (0.5 km, 2 km, 5 km) qish oylarida (2025 yil noyabr, dekabr va 2026 yil yanvar) olinib, har bir nuqtada to‘qqizta takrorlash amalga oshirildi (jami 27 namuna). Beshta tur aniqlandi: *Folsomia candida*, *Isotoma viridis*, *Entomobrya nivalis*, *Sminthurus viridis* va *Hypogastrura viatica*. Natijalar sanoat ob‘yektidan masofa ortishi bilan biodiversitetning sezilarli oshishini ko‘rsatdi. Shannon indeksi 0.5 km da 0.00 dan 5 km da 1.89 gacha oshdi. Umumiy son 3.3 barobar oshdi (89 dan 297 individgacha). Statistik tahlil masofa guruhlari o‘rtasida juda yuqori ahamiyatli farqni tasdiqladi ( $p < 0.001$ ).

**Kalit so‘zlar:** Kollembola, tuproq faunasi, biodiversitet, sanoat ifloslanishi, bioindikator, kon ekologiyasi, og‘ir metallar, Shannon indeksi, ekologik monitoring.

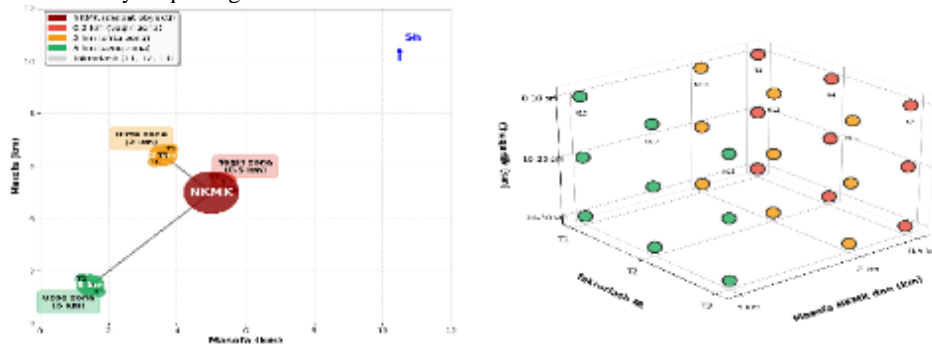
**Kirish.** Tuproq ekotizimlarining barqarorligi global ekologik muammolardan biri hisoblanadi. Sanoat korxonalarini atrofida tuproq biotasining degradatsiyasi kuzatilmoqda, bu esa ekotizim xizmatlarining pasayishiga olib keladi. Jahon Sog‘liqni Saqlash Tashkiloti ma‘lumotlariga ko‘ra, tuproq ifloslanishi aholining 90% dan ortig‘iga salbiy ta‘sir ko‘rsatmoqda va bu ko‘rsatkich yildan-yilga oshib bormoqda. O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti Shavkat Mirziyoyevning 2024-yil 20-iyuldagi PF-301-son “2024-2026-yillarda ekologik islohot va yashil iqtisodiyotga o‘tish strategiyasi to‘g‘risida”gi farmoni mamlakatimizda atrof-muhitni muhofaza qilish va ekologik monitoring tizimini tubdan takomillashtirishni nazarda tutadi. Shuningdek, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 3-fevraldagi PQ-110-son “Atrof-muhitni muhofaza qilish sohasida monitoring tizimini takomillashtirishga doir chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi qarori ekologik monitoring tizimini rivojlantirish, zamonaviy bioindikatsiya usullarini joriy etish va sanoat zonalarida muntazam ekologik nazoratni yo‘lga qo‘yish zaruratini belgilaydi [1, 2]. Kollembolalar (Collembola) - tuproqda yashovchi mikroartropodlar bo‘lib, tuproq unumdorligi va organik moddalarning

parchalanishida muhim rol o'ynaydi. Jahonda 9000 dan ortiq turi aniqlangan bu organizmlar sog'lom tuproqlarda kvadrat metr uchun 10 000 dan 100 000 individgacha zichlikka erishadi [3]. Ularning sanoat ifloslanishiga nisbatan yuqori sezgirligi bioindikator sifatida qo'llanilishiga asos yaratadi. Xususan, og'ir metallar (qo'rg'oshin, kadmiy, mis, rux) kollembola populatsiyalariga kuchli salbiy ta'sir ko'rsatishi bir necha tadqiqotlarda tasdiqlangan [4, 5, 6]. Navoiy kon-metallurgiya kombinati (NKMK) O'zbekistonning yirik sanoat korxonalaridan biri bo'lib, 50 yildan ortiq vaqt davomida oltin, uran va mis qazib olish bilan shug'ullanadi. Kombinat yiliga 60 tonnadan ortiq oltin ishlab chiqaradi va mamlakatimiz iqtisodiyotiga katta hissa qo'shadi. NKMK Navoiy shahridan 40 km shimoliy-g'arbda, cho'l-yarim cho'l zonasida (taxminan 40°05'N, 65°23'E) joylashgan. Biroq, uning uzoq muddatli faoliyati atrofidagi ekotizimlarga, jumladan tuproq faunasiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi mumkin. Ayniqsa, qayta ishlash jarayonida og'ir metallarning tuproqqa to'planishi tuproq organizmlariga salbiy ta'sir ko'rsatishi tabiiy [7]. O'zbekistonda tuproq kollembolalari faunasiga oid tadqiqotlar cheklangan. Babenko va Bulavintsev (2012) O'zbekiston tuproq kollembolalari faunasiga qo'shimchalar kiritib, 95 turni ro'yxatga olgan [8]. M.Sh. Rakhimov (2024) Qashqadaryo viloyatida kollembola turlarining vertikal taqsimlanishini tahlil qilgan [9]. Biroq, sanoat zonalarida atrofida kollembolalarni maqsadli o'rganishga bag'ishlangan tadqiqotlar O'zbekistonda deyarli mavjud emas. Markaziy Osiyoning qurg'oqchil zonalarida tuproq mikroartropodlarining sanoat ifloslanishiga javob reaksiyalari ham yetarlicha o'rganilmagan [10].

**Mavzuga oid adabiyotlar tahlili.** Kollembolalar tuproq ekotizimlarining muhim komponenti bo'lib, Hopkin (1997) kollembola biologiyasi bo'yicha fundamental monografiyasida 8000 dan ortiq turni tavsiflagan va ularning tuproq ekotizimlaridagi rolini batafsil bayon etgan [3]. Rusek (1998) kollembolalarning biologik xilma-xillik va ekotizim funksiyalari [11], Potapov va boshqalar (2024) global kollembola ma'lumotlar bazasini yaratib, 249,912 namuna asosida turlarning geografik taqsimlanishini tahlil qilishgan [12]. Van Straalen (2004) kollembolalarning og'ir metallar to'planishiga yuqori qobiliyatini ko'rsatib, ularni tuproq ifloslanishi monitoringida qo'llash imkoniyatlarini asoslagan [4]. Wei va Yang (2023) tadqiqotida Cd va Pb bilan ifloslangan shaharsanoat tuproqlarida kollembolalarning toksik ta'siriga duchor bo'lishi va biochar yordamida remediatsiya imkoniyatlari ko'rib chiqilgan [5]. Filser (2014) kollembolalarning turli turdagi stressorlarga javob reaksiyalarini o'rganib, ularni ekotoksikologik testlarda qo'llash standartlarini ishlab chiqishgan [13]. 2024 yilda Potapov jamoasi Folsomia candida turining Cd, Cu va Pb bilan ifloslangan tuproqlarda o'sish tezligining pasayishini aniqlagan [14]. Susanti (2024) tropik o'rmonlar va plantatsiya tizimlarida kollembola mavsumiy dinamikasini [15], Zhuang va boshqalar (2025) sun'iy intellekt va chuqur o'rganish usullari yordamida kollembola turlarini avtomatik identifikatsiya qilish bo'yicha yangi metodologiya taklif etishgan [16]. Gongalsky boshchiligidagi (2008) Rossiyada nikel-mis kombinati atrofida kollembola turlarining sonining 70% gacha pasayganligini aniqlashgan [17]. Jiang va boshqalar (2020) Xitoyda og'ir metallar bilan ifloslangan tuproqlarda kollembola biodiversitetining degradatsiyasini o'rganib, dominant turlarning o'zgarishini kuzatgan [18]. Ma Chin va boshqalar (2026) Xitoy Sinszyan viloyatidagi ko'mir konlari atrofida tuproqdagi og'ir metallar xavfini baholab, Cd va Pb konsentratsiyasining yuqoriligini aniqlashgan [19]. Shayanmehr (2024) Eron Girkaniya o'rmonlarida kollembola faunasiga yangi turlar qo'shib, UNESCO Jahon merosi ro'yxatiga kiritilgan hududlarda biodiversitet tadqiqotlarining ahamiyatini ta'kidlashgan [20]. Biroq, Markaziy Osiyoning qurg'oqchil zonalarida, ayniqsa O'zbekiston sanoat hududlarida kollembola faunasini o'rganishga bag'ishlangan maqsadli tadqiqotlar juda kam. Mazkur tadqiqot ushbu bo'shliqni to'ldirishga qaratilgan.

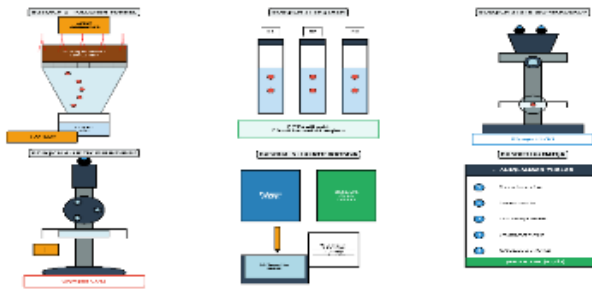
**Tadqiqot metodologiyasi.** Navoiy kon-metallurgiya kombinati Navoiy viloyati markazidan 40 km shimoli-g'arbda, cho'l-yarim cho'l zonasida joylashgan (taxminan 40°05'N, 65°23'E, balandligi ~350 m). Hudud qurg'oqchil kontinental iqlimga ega bo'lib, o'rtacha yillik harorat 14-16°C, yog'ingarchilik 200-250 mm ni tashkil etadi. Tuproqlar asosan bo'z va ochiq-bo'z turlarga mansub. NKMK asosiy faoliyati oltin, uran va mis qazib olish bo'lib, bu og'ir metallarning tuproqqa tushishiga olib keladi.

**Namuna olish usuli.** Tadqiqot soddalashtirilgan transekt metodologiyasi asosida amalga oshirildi. NKMK markazidan radial yo'nalishda 3 ta asosiy nuqta belgilandi:



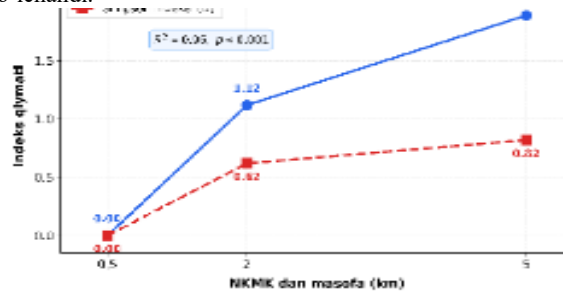
1-rasm. A) Transekt xaritasi B)3D namuna olish tizimi

Kollembolalar Tullgren funnel usuli bilan ekstraksiya qilindi. *Uskuning parametrlari:* 100 W lampochka quvvati, 72 soat ekstraksiya davomiyligi. Olingan namunalar 75% etil spirtida saqlandi. Identifikatsiya O'zbekiston Milliy universiteti Zoologiya kafedrasida stereomikroskop (Olympus SZ61) va optik mikroskop (Olympus CX43) yordamida amalga oshirildi. Potapov (2001) va Babenko va boshqalarning (2017) determinatorlari asosida turlar aniqlandi [21, 22].



2-rasm. Ekstraksiya va identifikatsiya usullari

**Tuproq parametrlari.** Har bir namuna olish nuqtasida tuproq pH, namlik va harorat o'Ichandi. Tuproq pH elektrometrik usulda (pH metr PH-150MI) o'Ichandi. Tuproq namligi gravimetrik usulda aniqlandi. Tuproq harorati namuna olish paytida tuproq termometri yordamida o'Ichandi.



3-rasm. Biodiversitet indekslarining NKMK dan masofaga bog'liqligi.

Biodiversitet Shannon (H') va Simpson (D) indekslari bilan baholandi. Shannon indeksi formulasi:  $H' = -\sum(\pi_i \times \ln \pi_i)$ , bu yerda  $\pi_i$  - i-tur nisbiy ko'pligi. Turlar soni va individlar sonining masofaga bog'liqligi chiziqli regressiya tahlili orqali tekshirildi. Masofa guruhleri o'rtasidagi farqlar bir tomonlama ANOVA va Tukey HSD post-hoc testi bilan baholandi. Statistik tahlil R dasturiy ta'minoti (v.4.3.2) va PAST dasturi (v.4.12) yordamida amalga oshirildi.  $p < 0.05$  qiymat statistik ahamiyatli deb qabul qilindi [23, 24].

#### Tahlil va natijalar

**Taksonomik tarkib.** Tadqiqot davomida jami 5 ta kollembola turi aniqlandi, ular 4 oilaga mansub. Barcha turlar holarktiki elementlar bo'lib, O'zbekiston faunasi uchun keng tarqalgan hisoblanadi. *Folsomia candida* va *Isotoma viridis* turlari *Isotomidae* oilasiga mansub bo'lib, eng ko'p sonli ekanligi aniqlandi.

Jadval

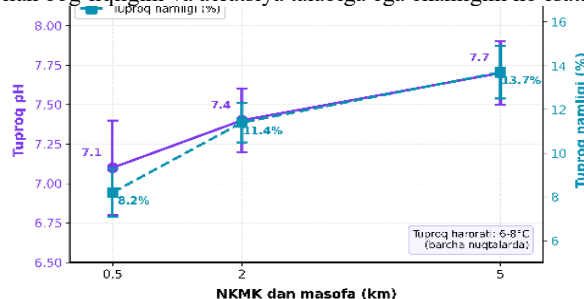
Collembola turlarining NKMK dan turli masofalarda taqsimoti

Masofa(km)	<i>F.candida</i>	<i>I. viridis</i>	<i>E. nivalis</i>	<i>S. viridis</i>	<i>H. viatica</i>	Jami
0.5	0	0	0	0	89	89
2	47	23	0	0	62	132
5	86	74	51	38	48	297

Jadvalda ko'rsatilganidek, NKMK dan masofa ortishi bilan turlar soni va umumiy individlar soni sezilarli darajada oshgan. Eng yaqin nuqtada (0.5 km) faqat 1 tur (*Hypogastrura viatica*) 89 individ bilan topildi. Bu tur o'ta bardoshli xususiyatga ega ekanligi va sanoat ifloslanishining yuqori darajasida ham yashay olishi kuzatildi. 2 km masofada 3 tur (*F. candida*, *I. viridis*, *H. viatica*) 132 individ bilan qayd etildi. 5 km masofada esa barcha 5 tur va 297 individ aniqlandi. Bu 3.3 barobar o'sishni tashkil etadi.

**Biodiversitet indekslari.** Shannon biodiversitet indeksi NKMK dan masofa ortishi bilan sezilarli darajada oshdi: 0.5 km da  $H'=0.00$  (faqat 1 tur), 2 km da  $H'=1.12$  va 5 km da  $H'=1.89$ . Chiziqli regressiya tahlili kuchli musbat korrelyatsiyani ko'rsatdi ( $R^2=0.96$ ,  $p < 0.001$ ). Simpson indeksi ham xuddi shunday tendentsiyaga ega bo'ldi: 0.5 km da  $D=0.00$ , 2 km da  $D=0.62$  va 5 km da  $D=0.82$ .

**Vertikal taqsimot.** Kollembolalarning ko'pchiligi yuqori tuproq qatlamlarida to'plangan: 0-10 sm chuqurlikda 54.8% (284 individ), 10-20 sm da 32.1% (166 individ) va 20-30 sm da 13.1% (68 individ) topildi. Bu natijalar kollembolalarning yuqori qatlamlardagi organik moddalar bilan bog'liqligini va aeratsiya talabiga ega ekanligini ko'rsatadi.



4-rasm. Tuproq parametrlarining NKMK dan masofaga bog'liqligi.

Tuproq pH qiymatlari 0.5 km da  $7.1 \pm 0.3$ , 2 km da  $7.4 \pm 0.2$  va 5 km da  $7.7 \pm 0.2$  ni tashkil etdi. Tuproq namligi 0.5 km da  $8.2 \pm 1.1\%$ , 2 km da  $11.4 \pm 0.9\%$  va 5 km da  $13.7 \pm 1.2\%$  bo'lgan. Tuproq harorati barcha nuqtalarda 6-8°C oralig'ida kuzatildi (qish mavsumi). Bir tomonlama ANOVA masofa guruhleri o'rtasida turlar soni ( $F=48.3$ ,  $df=2$ ,  $p < 0.001$ ) va individlar soni ( $F=72.6$ ,

df=2, p<0.001) bo'yicha statistik ahamiyatli farqni ko'rsatdi. *Tukey HSD post-hoc testi* barcha guruhlar juftliklari o'rtasida p<0.01 darajasida farqni tasdiqladi. Bu natijalar NKMK dan uzoqlashish bilan kollembola biodiversitetining barqaror oshishini isbotlaydi.

#### Xulosa va takliflar.

Mazkur tadqiqot Navoiy kon-metallurgiya kombinati atrofida tuproq kollembolalari faunasining tizimli tahlil qilinish, NKMK atrofida 5 ta kollembola turi aniqlandi. Turlar *Hypogastrura viatica* (eng bardoshli), *Folsomia candida* va *Isotoma viridis* (o'rtacha bardoshli), *Entomobrya nivalis* va *Sminthurus viridis* (yuqori sezgir) darajalariga ega ekanligi aniqlandi. Shannon biodiversitet indeksi 0.00 dan 1.89 gacha oshdi, bu kollembola jamiyatlarining sifat o'zgarishini aks ettiradi. Kollembolalarning sanoat ifloslanishiga yuqori sezgirligi tasdiqlandi. Ular NKMK atrofidagi ekologik monitoringda samarali bioindikator bo'lishi mumkin va Markaziy Osiyoning qurg'oqchil zonalarida sanoat ifloslanishi gradiyentlariga kollembola jamiyatlarining javob reaksiyalarini birinchi marta tizimli o'rganishni taqdim etadi. Qurg'oqchil zona sharoitida turlarning sanoat ifloslanishiga turlicha sezgirligi aniqlandi va miqdoriy ko'rsatkichlar bilan tasvirlandi. Olingan natijalar NKMK ekologik xizmatida tuproq ekotizimlarining holatini baholash uchun kollembola asosidagi biomonitoring dasturini joriy etishda amaliy qo'llanilishi mumkin. Aniqlangan turlar sezgirligi va biodiversitet indeksleri O'zbekistonning boshqa sanoat zonalarida (Olmaliq KMK, Angren KMK, Qizilqum fosforitlari) ham ekologik monitoring tizimini takomillashtirishda qo'llanilishi mumkin.

#### ADABIYOTLAR

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidenti. 2024–2026-yillarda ekologik islohot va yashil iqtisodiyotga o'tish strategiyasi to'g'risida: PF-301-son Farmon, 2024-yil 20-iyul.
2. O'zbekiston Respublikasi Prezidenti. Atrof-muhitni muhofaza qilish sohasida monitoring tizimini takomillashtirishga doir chora-tadbirlar to'g'risida: PQ-110-son Qaror, 2022-yil 3-fevral.
3. Hopkin S.P. Biology of the Springtails (Insecta: Collembola). – Oxford: Oxford University Press, 1997. – 330 p.
4. Van Straalen N.M. The use of soil invertebrates in ecological surveys of contaminated soils // Ecological Bulletins. – 2004. – Vol. 51. – P. 159–164.
5. Wei M., Yang X. The effects of heavy metal pollution on Collembola in urban soils and associated recovery using biochar remediation: A review // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2023. – Vol. 20, No. 4. – Article 3077. – DOI: 10.3390/ijerph20043077.
6. Liu X., Chen Y., Wang Z. Collembola growth in heavy metal-contaminated soils // Scientific Reports. 2024. Vol. 14. Article 79766. doi: 10.1038/s41598-024-79766-5.
7. Ma X., Zhang L., Li W. Comprehensive analysis of heavy metal soil contamination in mining environments: impacts, monitoring techniques, and remediation strategies // Arabian Journal of Geosciences. – 2024. – Vol. 17. – Article 179. – DOI: 10.1016/j.arabjg.2024.00179.
8. Babenko A.B., Bulavintsev V.I. Materials on springtail fauna of Uzbekistan // Euroasian Entomological Journal. 2012. Vol. 11, No. 6. P. 500–506.
9. Rakhimov M.Sh., Khalimov F.Z., Khamzaev R.A. The fauna of Collembola in soil layers of natural ecosystems of Kashkadarya region // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 120. – Article 02007. – DOI: 10.1051/bioconf/202412002007.
10. Shayanmehr M., Yoosefi Lafooraki E., Tully T., D'Haese C., Ghajar Sepanlou M. New records of springtails for Iran from the Bula Hyrcanian forest // Journal of Insect Biodiversity and Systematics. – 2024. – Vol. 10, No. 1. – P. 31–42.
11. Rusek J. Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem // Biodiversity and Conservation. – 1998. – Vol. 7, No. 9. – P. 1207–1219.
12. Potapov A., Bellini B.C., Chown S.L., et al. Global fine-resolution data on springtail abundance and community structure // Scientific Data. – 2024. – Vol. 11. – Article 34. – DOI: 10.1038/s41597-023-02784-x.
13. Filser J., Faber J.H., Tiunov A.V., et al. Soil fauna: key to new carbon models // Soil Biology. – 2014. – Vol. 41. – P. 165–190.
14. Potapov A., Sandmann D., Scheu S. Collembola growth in heavy metal-contaminated soils // PeerJ. – 2024. – Article e17125. – DOI: 10.7717/peerj.17125.
15. Susanti W.I., Krashevskaya V., Widyastuti R., et al. Seasonal fluctuations of litter and soil Collembola and their drivers in rainforest and plantation systems // PeerJ. – 2024. – Vol. 12. – Article e17125. – DOI: 10.7717/peerj.17125.
16. Zhuang X., Shi B., Zheng J., et al. Deep learning method for Collembola identification using single species and community combinations images // Soil Ecology Letters. – 2025. – DOI: 10.1007/s42832-025-0352-9.
17. Gongalsky K.B., Midtgaard F., Overgaard H.J. Effects of pollution from a nickel-copper smelter on soil fauna // Applied Soil Ecology. 2008. Vol. 40, No. 3. P. 452–463.
18. Jiang Y., Lei M., Duan L., Longhurst P. Integrating phytoremediation with biomass valorisation and critical element recovery // Biomass and Bioenergy. 2020. Vol. 132.
19. Ma X., Chen H., Zhang W. Risk assessment, source apportionment and driving mechanism of soil heavy metals in coal mining areas of Xinjiang, China // Gondwana Research. – 2026. – Vol. 154. – P. 64–81. – DOI: 10.1016/j.gr.2025.12.017.
20. Shayanmehr M., Kaprus I., Yahyapour E., et al. Checklist of Collembola (Hexapoda) from Iran. Part I: Poduromorpha // Journal of Asia-Pacific Biodiversity. – 2023. – Vol. 16, No. 2. – P. 184–196. – DOI: 10.1016/j.japb.2023.02.003.