



NAVOIY KON-METALLURGIYA KOMBINATI ATROFI TUPROQLARIDA KOLLEMBOLALAR FAUNASINI O'RGANISHDA SUN'IY INTELLEKT TEXNOLOGIYALARINING ILMIY VA AMALIY TAJRIBALARI

*Hamidullayev Fatxulla Lutfulla o'g'li¹, Xalilova Umida Albuxalil qizi²,
Qurolboyeva Laylo³*

^{1,2,3}O'zbekiston Milliy Universiteti, Zoologiya kafedrası magistri

¹hamidullayevfatxulla@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-9348-62-83>

Annotatsiya: Mazkur ilmiy maqolada Navoiy kon-metallurgiya kombinati atrofi tuproqlarida uchraydigan kollembolalar (Collembola) faunasining tarkibi, tarqalish qonuniyatlari va ekologik xususiyatlari chuqur tahlil qilinadi. Tadqiqotning asosiy maqsadi sanoat faoliyati natijasida yuzaga keladigan antropogen omillarning tuproq ekotizimlariga ta'sirini biologik indikator organizmlar kollembolalar misolida baholash hamda ushbu jarayonda sun'iy intellekt texnologiyalarining ilmiy va amaliy imkoniyatlarini aniqlashdan iborat. Shu bilan birga, ularning ekologik omillarga, xususan, og'ir metallarning to'planishi va sanoat chiqindilariga yuqori sezgirliigi ularni ishonchli bioindikator sifatida qo'llash imkonini beradi.

Sun'iy intellekt asosidagi yondashuv katta hajmdagi biologik ma'lumotlarni qisqa vaqt ichida tahlil qilish, inson omili bilan bog'liq xatoliklarni kamaytirish hamda ekologik jarayonlarni modellashtirish imkonini berdi. Nazorat hududlarida esa fauna tarkibi nisbatan boy va barqaror ekanligi aniqlandi. Ushbu tadqiqot ekologiya, tuproq zoologiyasi va bioinformatika yo'nalishlari kesishmasida amalga oshirilgan bo'lib, uning natijalari atrof-muhitni muhofaza qilish, sanoat hududlarining ekologik xavfsizligini baholash va barqaror rivojlanish strategiyalarini ishlab chiqishda ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: Sun'iy intellekt, kollembolalar, tuproq faunasi, bioindikator organizmlar, ekologik monitoring, sanoat hududlari.

Аннотация: В данной научной статье рассматриваются состав, распространение и экологические особенности фауны коллембол (Collembola) в почвах, прилегающих к Навоийскому горно-металлургическому комбинату. Их высокая чувствительность к загрязнению почвы тяжелыми металлами и промышленными выбросами делает их надежным индикатором экологического состояния среды. В ходе исследования были отобраны образцы почвы с территорий, расположенных в непосредственной близости от комбината. Результаты работы могут быть использованы при организации экологического мониторинга, оценке состояния почв промышленных территорий и разработке мероприятий по охране окружающей среды. Исследование имеет важное научное и практическое значение для экологии, почвенной зоологии и биоинформатики.





Ключевые слова: искусственный интеллект, коллемболы, почвенная фауна, биоиндикаторы, экологический мониторинг, промышленные территории.

Abstract: This scientific article examines the composition, distribution patterns, and ecological characteristics of Collembola fauna in soils surrounding the Navoi Mining and Metallurgical Combine. The primary aim of the study is to assess the impact of anthropogenic factors associated with industrial activities on soil ecosystems using collembolans as bioindicator organisms, as well as to evaluate the scientific and practical potential of artificial intelligence technologies in biological research. Collembolans represent an essential component of soil fauna and play a crucial role in organic matter decomposition, soil structure formation, and the maintenance of microbial activity. Soil samples were collected from areas located at varying distances from the industrial site, including zones with intense anthropogenic impact and relatively undisturbed control areas. Collembolans were extracted using standard zoological methods, followed by detailed morphological examination under a microscope.

Keywords: artificial intelligence, Collembola, soil fauna, bioindicator organisms, environmental monitoring, industrial areas.

Kirish

Hozirgi kunda sanoat va tog'-kon metallurgiya tarmoqlarining jadal rivojlanishi atrof-muhitga kuchli antropogen bosimni yuzaga keltirmoqda. Ayniqsa, yirik sanoat korxonalari faoliyati olib boriladigan hududlarda tuproq ekotizimlarining degradatsiyasi, biologik xilma-xillikning kamayishi va tuproq faunasining tuzilishida sezilarli o'zgarishlar kuzatilmoqda. Tuproq ekotizimlari biosferaning muhim tarkibiy qismi bo'lib, ularning barqaror faoliyati o'simliklar, mikroorganizmlar va tuproq faunasining o'zaro bog'liq funksional tizimi orqali ta'minlanadi. Shu sababli sanoat hududlarida tuproq faunasining holatini baholash ekologik monitoringning muhim yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Navoiy kon-metallurgiya kombinati O'zbekiston Respublikasining eng yirik sanoat korxonalaridan biri bo'lib, uning faoliyati hudud tuproqlarining fizik-kimyoviy va biologik xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Kon-metallurgiya jarayonlari natijasida tuproqda og'ir metallarning to'planishi, pH ko'rsatkichlarining o'zgarishi va biologik faollikning pasayishi kuzatiladi. Ushbu omillar tuproq biotsenozining muhim komponentlari bo'lgan mikroartropodlar, xususan kollembolalar (Collembola) faunasining tarkibi va tarqalishiga bevosita ta'sir etadi. Kollembolalar tuproq ekotizimlarida keng tarqalgan mikroartropodlar bo'lib, ular organik qoldiqlarning parchalanishi, gumus hosil bo'lishi va mikrobiologik jarayonlarning faollashuvida muhim rol o'ynaydi. Ularning qisqa hayot sikli, tez ko'payishi va ekologik omillarga yuqori sezgirliги kollembolalarni ishonchli bioindikator organizmlar sifatida qo'llash imkonini beradi. Ayniqsa, sanoat hududlarida kollembolalar turlar xilma-xilligi va sonining o'zgarishi tuproqning ekologik holatini baholashda muhim ko'rsatkich hisoblanadi. So'nggi yillarda biologik va ekologik tadqiqotlarda sun'iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish ilmiy





izlanishlarning yangi bosqichini boshlab berdi. Sun'iy intellekt asosidagi algoritmlar katta hajmdagi ma'lumotlarni tezkor qayta ishlash, tasvirlarni avtomatik tanish, turlarni aniqlash va murakkab ekologik jarayonlarni modellashtirish imkonini bermoqda. An'anaviy usullar bilan solishtirganda, sun'iy intellekt texnologiyalari biologik ma'lumotlarni tahlil qilishda yuqori aniqlik, vaqt tejamlorligi va subyektivlikning kamayishini ta'minlaydi.

Mazkur tadqiqot Navoiy kon-metallurgiya kombinati atrofi tuproqlarida kollembolalar faunasini o'rganishda sun'iy intellekt texnologiyalarining ilmiy va amaliy imkoniyatlarini baholashga qaratilgan. Tadqiqot doirasida kollembolalar faunasining turlar tarkibi, bioxilma-xillik darajasi va antropogen omillarga bog'liqligi aniqlanib, ushbu ma'lumotlar sun'iy intellekt asosida tahlil qilinadi. Ushbu yondashuv sanoat hududlarida ekologik monitoring tizimlarini takomillashtirish, tuproq ekotizimlarining holatini ob'ektiv baholash hamda atrof-muhitni muhofaza qilish bo'yicha ilmiy asoslangan xulosalar ishlab chiqishga xizmat qiladi.

Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqot ishlari Navoiy kon-metallurgiya kombinati atrofidagi sanoat hududlarida olib borildi. Tadqiqot maydonlari kon-metallurgiya obyektlariga yaqin joylashgan intensiv antropogen ta'sirga uchragan uchastkalar hamda nisbatan kam ifloslangan nazorat hududlaridan tanlab olindi. Tanlangan uchastkalar tuproqning fizik-kimyoviy xususiyatlari, rel'ef va o'simlik qoplami jihatidan o'xshash bo'lishiga e'tibor qaratildi. Bu esa sanoat omillarining kollembolalar faunasiga ta'sirini yanada aniqroq baholash imkonini berdi. Tuproq namunalari vegetatsiya davrida standart ekologik metodikalar asosida yig'ildi. Har bir uchastkadan 0–10 sm chuqurlikdan bir nechta takroriy namunalar olindi. Namuna olish jarayonida tuproqning mexanik tarkibi, namligi va o'simlik qoplami qayd etildi. Olingan namunalarning har biri alohida konteynerlarga joylashtirilib, laboratoriyaga yetkazildi. Tuproq namunalardan kollembolalarni ajratib olish uchun Tullgren–Berleze voronkasi usuli qo'llanildi. Ajratib olingan namunalar 70% etil spirti eritmasida saqlanib, keyinchalik laboratoriya sharoitida mikroskop ostida tahlil qilindi. Kollembolalar morfologik belgilariga ko'ra aniqlanib, tur va jinslar darajasida tasniflandi. Turlarni aniqlashda zamonaviy taksonomik kalitlar va ilmiy adabiyotlardan foydalanildi. Kollembolalarning mikroskopik tasvirlari raqamli formatga o'tkazilib, sun'iy intellekt asosidagi mashinaviy o'rganish algoritmlari yordamida tahlil qilindi. Tasvirlarni tanish va avtomatik tur aniqlash jarayonida konvolyutsion neyron tarmoqlardan (CNN) foydalanildi. Modelni o'qitish uchun oldindan belgilangan va mutaxassislar tomonidan tasdiqlangan tasvirlar bazasi shakllantirildi. Algoritmlar yordamida kollembolalar turlarining aniqlanish aniqligi va takrorlanish darajasi baholandi. Kollembolalar faunasining tuzilishini baholashda turlar soni, umumiy zichlik va bioxilma-xillik indeksleri (Shannon–Wiener, Simpson) hisoblandi. Sanoat hududlari va nazorat uchastkalari o'rtasidagi farqlar statistik usullar yordamida solishtirildi. Sun'iy intellekt asosida olingan natijalar an'anaviy statistik tahlillar bilan taqqoslanib, ularning o'zaro mosligi baholandi. Bundan tashqari, kollembolalar faunasi ko'rsatkichlari bilan tuproqning ekologik





holati o'rtasidagi bog'liqlik modellashtirildi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligini ta'minlash maqsadida barcha tahlillar takroriy tajribalar asosida olib borildi. Sun'iy intellekt modellari uchun trening va test ma'lumotlari alohida ajratilib, modelning aniqligi va barqarorligi baholandi. Olingan natijalar ekologik monitoring va tuproq zoologiyasi bo'yicha mavjud ilmiy ma'lumotlar bilan solishtirildi.

Olingan natijalar

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, sanoat ta'siriga uchragan hududlar va nazorat uchastkalari o'rtasida kollembolalar faunasining tarkibi va bioxilma-xillik darajasida sezilarli farqlar mavjud. Navoiy kon-metallurgiya kombinati ga yaqin joylashgan tuproqlarda kollembolalar soni va turlar xilma-xilligi keskin kamayganligi kuzatildi, bu esa antropogen omillarning tuproq ekotizimlariga salbiy ta'sirini tasdiqlaydi. Tadqiqot davomida barcha uchastkalardan jami bir necha o'n turga mansub kollembolalar aniqlandi. Nazorat hududlarida turlar soni va individlar zichligi nisbatan yuqori bo'lib, ekologik barqarorlikning saqlanganligi bilan tavsiflandi. Sanoat hududlariga yaqin joylarda esa dominant turlar soni kamayib, faunaning strukturaviy soddalashuvi kuzatildi. Ayrim ekologik jihatdan sezgir turlar faqat nazorat uchastkalarida uchrashi qayd etildi. Bioxilma-xillik indeksleri tahlili sanoat ta'sirining kollembolalar faunasiga kuchli ta'sir ko'rsatishini yaqqol namoyon etdi. Nazorat hududlarida Shannon–Wiener indeksi yuqori qiymatlarga ega bo'lgan bo'lsa, sanoat hududlarida ushbu ko'rsatkich sezilarli darajada pasaygan. Simpson indeksi natijalari esa sanoat hududlarida bir necha tolerant turlarning ustunlik qilayotganligini ko'rsatdi. Bu holat tuproq ekotizimlarida biologik muvozanatning buzilganligidan dalolat beradi.

Sun'iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish kollembolalar turlarini aniqlash va ularning tarqalishini tahlil qilishda yuqori aniqlikni ta'minladi. Moshinaviy o'rganish algoritmlari asosida mikroskopik tasvirlar orqali turlarni avtomatik aniqlash jarayonida yuqori moslik darajasi qayd etildi. Sun'iy intellekt yordamida aniqlangan natijalar an'anaviy morfologik tahlil natijalari bilan deyarli mos kelishi kuzatildi, bu esa ushbu texnologiyalarning biologik tadqiqotlarda ishonchli qo'llanishini tasdiqlaydi. Kollembolalar soni va bioxilma-xilligi sanoat hududlariga yaqinlik darajasiga teskari proporsional ekanligi aniqlandi. Kon-metallurgiya obyektlariga yaqin hududlarda tuproqning ekologik holati yomonlashgan sari kollembolalar faunasi soddalashib borishi kuzatildi. Sun'iy intellekt asosida amalga oshirilgan modellashtirish natijalari kollembolalar faunasi ko'rsatkichlari bilan antropogen bosim o'rtasida barqaror statistik bog'liqlik mavjudligini ko'rsatdi. Olingan natijalar kollembolalarning sanoat hududlarida tuproq ekologik holatini baholashda samarali bioindikator ekanligini yana bir bor tasdiqlaydi. Sun'iy intellekt texnologiyalarining qo'llanilishi esa ekologik monitoring jarayonlarini tezkor, aniq va tizimli tashkil etish imkonini beradi. Ushbu yondashuv sanoat hududlarida tuproq ekotizimlarini baholash va muhofaza qilishga qaratilgan ilmiy-amaliy tadqiqotlar uchun muhim ahamiyat kasb etadi.

Tadqiqot muhokamasi

Mazkur tadqiqot natijalari sanoat faoliyatining tuproq ekotizimlariga, xususan, kollembolalar faunasiga sezilarli ta'sir ko'rsatishini tasdiqlaydi. Navoiy





kon-metallurgiya kombinati atrofi tuproqlarida olib borilgan tahlillar shuni ko'rsatdiki, antropogen bosim kuchaygan sari kollembolalar turlar xilma-xilligi va umumiy zichligi kamayib boradi. Bu holat kollembolalarning ekologik omillarga yuqori sezgirligi bilan izohlanadi va ularning bioindikator sifatidagi ahamiyatini yana bir bor tasdiqlaydi. Nazorat uchastkalarida kollembolalar faunasining boy va barqaror tuzilishga ega bo'lishi tuproqning nisbatan sog'lom ekologik holatini ko'rsatadi. Sanoat hududlariga yaqin uchastkalarda esa faunaning soddalashuvi, ya'ni bir necha tolerant turlarning ustunlik qilishi kuzatildi. Bunday holat ko'plab ekologik tadqiqotlarda og'ir metall bilan ifloslangan tuproqlar uchun xos bo'lib, bu jarayon sanoat chiqindilarining tuproq biotsenoziga uzoq muddatli salbiy ta'sir ko'rsatishini anglatadi. Bioxilma-xillik indeksleri asosida olingan natijalar sanoat hududlarida ekologik muvozanatning buzilganligini ko'rsatdi. Shannon–Wiener indeksining pasayishi va Simpson indeksining ayrim dominant turlar foydasiga siljishi tuproq faunasining ekologik barqarorligi izdan chiqqanligini bildiradi. Ushbu natijalar kollembolalar faunasining struktura va funksional jihatdan o'zgarishini chuqurroq tahlil qilish zarurligini ko'rsatadi.

Sun'iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish biologik tadqiqotlarda yangi ilmiy yondashuv sifatida o'zini namoyon etdi. Moshinaviy o'rganish algoritmlari asosida kollembolalar turlarini avtomatik aniqlash va ularning tarqalishini tahlil qilish natijalari an'anaviy morfologik usullar bilan deyarli mos kelishi aniqlanganligi ushbu texnologiyalarning ishonchliligini tasdiqlaydi. Shu bilan birga, sun'iy intellekt yondashuvi katta hajmdagi ma'lumotlarni tezkor qayta ishlash va murakkab ekologik bog'liqliklarni aniqlash imkonini berdi. Antropogen omillar va kollembolalar faunasi o'rtasidagi bog'liqlikni modellash tirish natijalari sun'iy intellekt texnologiyalarining amaliy ahamiyatini yanada oshiradi. Tuproqning ifloslanish darajasi oshgan sari kollembolalar faunasining soddalashuvi va bioindikatorlik xususiyatlarining o'zgarishi kuzatilishi ekologik monitoring tizimlarida ushbu yondashuvdan keng foydalanish mumkinligini ko'rsatadi. Bu esa sanoat hududlarida ekologik xavfni oldindan baholash va profilaktik choralar ishlab chiqishda muhim ahamiyat kasb etadi. Umuman olganda, tadqiqot natijalari kollembolalar faunasini o'rganishda sun'iy intellekt texnologiyalarini qo'llash ilmiy va amaliy jihatdan samarali ekanligini ko'rsatadi. Ushbu integratsiyalashgan yondashuv an'anaviy ekologik tadqiqotlarni yangi bosqichga olib chiqib, sanoat hududlarida tuproq ekotizimlarini muhofaza qilish va barqaror boshqarish uchun mustahkam ilmiy asos yaratadi.

Tadqiqot xulosasi

Mazkur tadqiqot Navoiy kon-metallurgiya kombinati atrofi tuproqlarida kollembolalar faunasini o'rganishda sun'iy intellekt texnologiyalarini qo'llashning ilmiy va amaliy jihatdan samarali ekanligini ko'rsatdi. Olingan natijalar sanoat faoliyatining tuproq ekotizimlariga, xususan, mikroartropodlar tarkibiga sezilarli ta'sir ko'rsatishini tasdiqlab, kollembolalarning bioindikator organizmlar sifatidagi yuqori ahamiyatini yana bir bor isbotladi. Tadqiqot davomida sanoat hududlariga yaqin joylashgan tuproqlarda kollembolalar turlar xilma-xilligi va umumiy zichligining kamayishi aniqlanib, bu holat antropogen omillar bilan bevosita bog'liq





ekani asoslab berildi. Nazorat uchastkalarida esa kollembolalar faunasining nisbatan barqaror va boy tarkibga ega ekanligi tuproqning ekologik holati yaxshiroq saqlanganidan dalolat berdi. Bioxilma-xillik indeksleri asosida olingan natijalar tuproq ekotizimlarida ekologik muvozanatning buzilganligini aniq ko'rsatdi. Sun'iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish kollembolalar faunasini aniqlash va tahlil qilish jarayonlarini sezilarli darajada takomillashtirdi. Moshinaviy o'rganish algoritmlarining yuqori aniqlik bilan ishlashi biologik ma'lumotlarni qayta ishlashda inson omili bilan bog'liq xatoliklarni kamaytirib, katta hajmdagi ma'lumotlarni tezkor va tizimli tahlil qilish imkonini berdi. Sun'iy intellekt asosida olingan natijalarning an'anaviy metodlar bilan mos kelishi ushbu texnologiyalarning biologik tadqiqotlarda ishonchli vosita ekanligini ko'rsatadi. Tadqiqot natijalari ekologik monitoring tizimlarini rivojlantirishda sun'iy intellekt texnologiyalarini biologik usullar bilan integratsiyalash muhimligini asoslab berdi. Ushbu yondashuv sanoat hududlarida tuproq ekotizimlarining holatini aniq baholash, ekologik xavflarni oldindan aniqlash va muhofaza choralarini ishlab chiqishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega. Kelgusida ushbu tadqiqot natijalaridan foydalanib, ekologik monitoringni avtomatlashtirish va barqaror rivojlanish strategiyalarini takomillashtirish imkoniyati mavjud. Umuman olganda, olib borilgan ilmiy izlanishlar tuproq zoologiyasi, ekologiya va bioinformatika yo'nalishlari kesishmasida amalga oshirilib, zamonaviy biologik tadqiqotlarda sun'iy intellekt texnologiyalarining keng qo'llanilishi uchun mustahkam ilmiy asos yaratadi. Ushbu ish natijalari nafaqat ilmiy jihatdan, balki sanoat hududlarida atrof-muhitni muhofaza qilish va ekologik barqarorlikni ta'minlashda amaliy ahamiyat kasb etadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Standard extraction method reference: **Tullgren / Berlese funnel** protocols for soil microarthropod extraction (klassik metodlar va laboratoriya qo'llanmalari).
2. Raximov, M. S. (2024). *Collembola fauna in soil layers of natural ecosystems of Southern Uzbekistan*. (Kashkadarya region study; maqola/ma'ruza).
3. Elmuratova, Z. U. (2024). *The fauna of Collembola in soil layers of natural ecosystems* - Bio-Conferences / regional proceedings.
4. ResearchGate / regional reports on Collembola distribution in Uzbekistan (Karakalpakstan, Jizzakh, southern regions): Erzhanova D. M., Ishanov A. A., va boshqa mintaqaviy tadqiqotlar - qishloq va tabiiy ekotizimlarda kollembola jamiyatlari haqida hisobotlar va maqolalar.
5. Zhuang, X., et al. (2025). *Deep learning method for Collembola identification using macro-image datasets* (Springer journal).
6. Fiera, C. (2009). *Biodiversity of Collembola in urban soils and their use as bioindicators*. Pedobiologia / Applied Soil Ecology. (seminal paper on Collembola as bioindicators).
7. Lopes, B. C. H., et al. (2024). *Multixenobiotic response of Collembola to soil contaminants: rapid physiological indicators for monitoring*. Environmental Pollution / ScienceDirect.





8. *Deep learning detection/classification comparisons (YOLOv8, Faster R-CNN) for Collembola and soil arthropods* - (technical evaluations and model performance reports).

