



UO'K:631.453 (575.1)

Zafarjon JABBAROV,

B.f.d., professor, O'zbekiston Milliy universiteti, Toshkent, O'zbekiston

E.mail: zafarjonjabbarov@gmail.com

Feruza REYMOVA,

Tayanch doktorant, Qoraqalpog' davlat universiteti, Nukus, O'zbekiston

E.mail: reymovaferuza1@gmail.com

Otamurod IMOMOV,

Tayanch doktorant, O'zbekiston Milliy universiteti, Toshkent, O'zbekiston

E.mail: murod.imomov2019@gmail.com

Qoraqalpog'iston qishloq xo'jaligi va agrotexnologiyalar instituti dotsenti v.v.b., PhD G.U.Kdirbaeva taqrizi asosida

MORPHOGENETIC CHARACTERISTICS AND TECHNOGENIC CHANGES OF SOILS AROUND A CEMENT PLANT

Annotation

This study investigated the morphological characteristics and technogenic transformations of soils surrounding the "Karakalpak sement" cement plant in the Republic of Karakalpakstan. Field investigations were conducted on six soil profiles located at different distances from the pollution source. While natural lithogenic and arid pedogenic processes became dominant. The findings confirm that cement industry emissions significantly affect soil morphogenesis and technogenic transformation of surface soil horizons.

Keywords: cement plant, soil morphology, technogenic impact, carbonate accumulation, Calcisols.

МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ТЕХНОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВ ВЛИЯНИЯ ЦЕМЕНТНОГО ЗАВОДА

Аннотация

В статье изучены морфологические особенности и техногенные изменения почв вокруг цементного завода «Karakalpak sement» в Республике Каракалпакстан. Исследования проводились на 6 почвенных разрезах, расположенных на различных расстояниях от источника загрязнения. По мере удаления от завода техногенное воздействие ослабевало. Полученные результаты подтверждают значительное влияние цементной промышленности на морфогенез почв техногенной трансформации верхних горизонтов.

Ключевые слова: Цементный завод, морфология почв, техногенное воздействие, аккумуляция карбонатов, Calcisols.

SEMENT ZAVODI ATROFIDAGI TUPROQLARNING MORFOGENETIK XUSUSIYATLARI VA TEXNOGEN O'ZGARISHI

Annotatsiya

Maqolada Qoraqalpog'iston Respublikasida joylashgan "Karakalpak sement" sement zavodi atrofidagi tuproqlarning morfologik xususiyatlari va texnogen o'zgarishlari o'rganildi. Tadqiqotlar sement zavodidan turli masofalarda joylashgan 6 ta tuproq kesmasida olib borildi. Sement zavodidan uzoqlashgan sari texnogen ta'sir kamayib, tabiiy litogen va arid pedogenetik jarayonlar ustunlik qilgan. Tadqiqot natijalari sement sanoati tuproq morfogenezigga sezilarli ta'sir ko'rsatishini gorizontlarda texnogen transformatsiya jarayonlari rivojlanishini tasdiqladi.

Kalit so'zlar: sement zavodi, tuproq morfologiyasi, texnogen ta'sir, karbonat akkumulyatsiyasi, Calcisols.

Kirish. Sement sanoati atmosferaga katta miqdorda chang, gazsimon moddalar va og'ir metallarni chiqaruvchi asosiy antropogen manbalardan biri hisoblanadi. Sement zavodlari atrofida tuproqlarning morfologik, fizik-kimyoviy va biologik xususiyatlari sezilarli darajada o'zgarishga uchraydi. Ayniqsa, sement changi ta'siri tuproq profilining yuqori qatlamlarida yaqqol namoyon bo'lib, bu jarayonlar 5000 metrgacha bo'lgan radiusda kuchli ifodalanishi aniqlangan[1]. Tadqiqotlar natijalariga ko'ra, sement zavodlari atrofida tuproqlarda tuproq organik uglerodi, ureaza faolligi, pH, CaCO₃ miqdori hamda bakteriyalar populyatsiyasi kabi ko'rsatkichlar sement zavodidan bo'lgan masofaga bog'liq holda o'zgarishi kuzatilgan [2]. Shuningdek, sement changi ta'siri ostida tuproq muhitining ishqoriyligi ortishi, organik moddalar va ozuqa elementlari miqdorining kamayishi qayd etilgan [4]. Sement zavodlaridan chiqadigan qattiq zarrachalar tuproqning fizik xossalariga salbiy ta'sir ko'rsatib, uning zichligini oshiradi va suv-fizik rejimining yomonlashishiga olib keladi[6]. Sement ishlab chiqarish uchun xom ashyo qazib olish jarayonlari ham atrof-muhitga salbiy ta'sir ko'rsatadi[3]. Landshaftlarning texnogen buzilishi, o'simlik va hayvonot dunyosiga zarar yetkazilishi hamda karbonat angidrid (CO₂) chiqindilarining ortishi kuzatiladi[5].Tuproqlarining og'ir metallar bilan ifloslanishining asosiy manbalaridan biri sifatida baholanadi[6]. Shu sababli sement zavodlari atrofida tuproqlarda og'ir metallar miqdorini aniqlash, ekologik va geokimyoviy xavf darajasini baholash muhim ahamiyatga ega[7]. Sement zavodlari atrofida tuproqlarning morfologik tuzilishi, pH ko'rsatkichi, elektr o'tkazuvchanligi, ohak miqdori hamda Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb va Zn kabi og'ir metallar bo'yicha o'tkazilgan tadqiqotlar ushbu hududlarda ekologik va geokimyoviy xavf darajasi yuqori ekanligini ko'rsatgan [8]. Geoekologik baholashda geokimyoviy xususiyatlarini aniqlash hamda antropogen ta'sir darajasini baholash dolzarb ilmiy va amaliy ahamiyatga ega hisoblanadi.

Tadqiqot metodi va materiallari. Tadqiqotda jami 6 ta tuproq kesmasi tashkil qilinib, ular sement zavodidan 0,2 km dan 12 km gacha bo'lgan masofalarda joylashtirildi (jadval). Namuna olish nuqtalari WGS-84 koordinatalar tizimi asosida aniqlandi. Tuproq namunalari olish ishlari ISO 18400-102:2017 "Soil quality - Sampling - Part 102: Selection and application of sampling techniques" xalqaro standarti talablari asosida amalga oshirildi. Tadqiqot hududi tuproqlari asosan sug'orilmaydigan qumli-taqirli va karbonatli cho'l tuproqlaridan tashkil topgan. Sement changi ta'siri ayniqsa yuza gorizontlarda yaqqol namoyon bo'lib, tuproq strukturasining zichlashishi va morfogenetik jarayonlarning transformatsiyasiga olib kelgan. Tadqiqot natijalarini xalqaro WRB (World Reference Base for Soil Resources) klassifikatsiyasi mezonlari asosida tahlil qilish ushbu tuproqlarning asosan Calcisols referat tuproq guruhiga mansubligini, yuza qismida esa Technic kvalifikatori belgilari mavjudligini ko'rsatdi. Bu holat sement sanoati ta'sirida tuproq qoplamining morfologik tuzilishi, genetik qatlamlar differentsiatsiyasi va morfogenetik jarayonlarida texnogen transformatsiya yuz berayotganligini tasdiqlaydi.

Natijalar

1-kesma. F.Reymova 20.03.2025. "Karakalpak sement" zavodi himoya zonasidan 200 metr uzoqlikda, shimoliy-sharqiy tomon shamol yo'nalishi asosan esadigan tarafdin qazildi.

0–8 sm. Yuza texnogen-akkumulyativ qatlam (At). Bu qatlam och kulrang rangli, qumli mexanik tarkibli, quruq va strukturasiz bo'sh tuzilishga ega. Changlarning yuzada to'planishi natijasida shakllangan. Chang pardasi tuproq yuzasida fizik to'siq hosil qilib, namlik infiltratsiyasini cheklaydi.

8–16 sm. Sementatsiyalangan texnogen-karbonatli qatlam (Btca). Och ko'kimtir rangli, qattiq, toshsimon va zich qatlam hisoblanadi. Sement zarrachalari namlik ta'sirida sementatsiyalanib, litogenlashgan sun'iy qatlamni hosil qilgan. Karbonat dog'lari CaCO_3 migratsiyasi va qayta cho'kishini ko'rsatadi. Zichlik yuqori bo'lib, suv o'tkazuvchanlikni pasaytiradi.

16–42 sm. Illyuvial-karbonatli qatlam (Bca). Och ko'kimtir rangli, qumloq tarkibli, kam nam va strukturasiz qatlam. Bu yerda karbonat konkretsiyalari va oq g'ovaksimon to'planmalar kuzatiladi. Ular yuqori qatlamlardan yuvilib tushgan karbonatlarning illyuvial akkumulyatsiyasi natijasidir. Agregatlar texnogen zarrachalar va tuzlar ta'sirida parchalangan.

42–70 sm. Namlangan illyuvial o'tish qatlami (B). Och kulrang, ko'kimtir dog'li rangga ega bo'lib, namligi nisbatan yuqori. Mayda agregatli struktura shakllangan. Ko'kimtir dog'lar gidromorfik sharoit elementlarini ko'rsatadi. Bu yuqoridagi sementatsiyalangan zich qatlam suv harakatini cheklaganini anglatadi. Texnogen aralashmalar deyarli uchramaydi, keyingi qatlamga rangi bilan o'tadi.

70–100 sm. Zichlangan karbonatli-litogen qatlam (BCca). Kulrang, og'ir qumoqli tarkibli, kuchli zichlangan qatlam. Namligi yuqori, suv o'tkazuvchanligi past, ildiz va hashorat izlari uchramaydi. Litogen omillar ustun, kam miqdordagi zang dog'lari jarayonlarini bildiradi, keyingi qatlamga rangi bilan o'tadi.

100–140 sm. Karbonatli akkumulyativ ona jins (Cca₁). Och sarg'ish-kulrang, strukturasiz va zich qatlam. Konkretsiyalari ko'rinishida ko'p miqdorda to'plangan, ildiz va hashorat izlari uchramaydi. Illyuvial-karbonat jarayonlari litologik xususiyatlar bilan namoyon bo'ladi, keyingi qatlamga namligi bilan o'tadi.

140–170 sm. Karbonat-gipsli o'tish qatlam (Cca₂). Och sarg'ish rangli, zich va kesakchali tuzilishga ega. Bu quruq iqlim sharoitida kapillyar ko'tarilish tuzlar to'planishi bilan bog'liq, keyingi qatlamga rangi bilan o'tadi.

170–192 sm. Litologik ona jins qatlam (C). Och kulrang-sarg'ish, qumloq-qumoqli tarkibli, strukturasiz va tabiiy zich qatlam. Karbonatlar diffuz tarqalgan. Ildiz va hashorat izlari uchramaydi. Pedogenez jarayonlari juda zaif bo'lib, profil lyossimon yotqiziqalarda shakllangan.

2-kesma. F.Reymova 20.03.2025. "Karakalpak sement" zavodi himoya zonasidan 1 km uzoqlikda, shimoliy-sharqiy shamol yo'nalishi tarafdin qazildi.

0–5 sm. Yuza texnogen-akkumulyativ qatlam. Bu qatlam sarg'ish dala rangiga ega bo'lib, yengil qumoqli strukturasiz va bo'sh holatda. Yuzada sement sanoatiga xos yupqa kul-chang qatlami kuzatiladi. deflyatsiyaga moyillikni oshiradi.

5–20 sm. Gumusli-o'tish qatlami. Och kulrang-sarg'ish rangli, o'rta qumoqli, kam namlangan qatlam. Mayda kesakchali struktura qisman shakllangan, zichligi past. Ildizlar ko'pligi biogen akkumulyatsiya va gumus kamligini anglatadi. Mayda toshchalar delyuvial materiallar ishtirokini bildiradi. Texnogen zarrachalar asosan yuzada to'planib, pastga migratsiyasi cheklangan.

20–60 sm. Illyuvial-karbonatli qatlam. Och kulrang, o'rta qumoqli, o'rtacha namlangan va strukturasiz qatlam. Karbonat akkumulyatsiyasi oq kristallar va konkretsiyalari ko'rinishida namoyon. Qizg'ish dog'lar temir birikmalarining oksidlanishini ko'rsatadi. Agregatlar namlanish-qurish sikllari ta'sirida buzilgan. Biogen qoldiqlar organik moddalarning qisman saqlanganini anglatadi.

60–80 sm. Zichlangan illyuvial-litogen qatlam. Och kulrang, og'ir mexanik tarkibli, qattiq va kuchli zichlashgan qatlam. Bu agrofizik cheklovchi qatlam hisoblanadi. Kam miqdordagi zang dog'lari uchraydi.

80–185 sm. Karbonatli ona jins qatlami. Och sarg'ish-kulrang rangli, og'ir qumoqli yoki qumloq-qumoqli, strukturasiz yoki yirik kesakchali va zich qatlam. Karbonatlar oq dog'lar tomirsimon to'planmalar shaklida keng tarqalgan.

3-kesma. F.Reymova 20.03.2025. "Karakalpak sement" zavodi himoya zonasidan 1,5 km uzoqlikda, shimoliy-sharqiy tomon shamol yo'nalishi asosan esadigan tarafdin qazildi.

0–5 sm. Yuza gumus-biogen qatlam (A). Sur tusli sarg'ish dala rangiga ega, yengil qumoqli, quruq va kam strukturali qatlam. Zichligi bo'sh bo'lib, pastga tomon ortib boradi. Ildizlar va hasharat inlarining juda ko'pligi biogen faollik yuqoriligini ko'rsatadi. Biroq quruqlik va yengil mexanik tarkib gumus to'planishini cheklaydi. Pastki qismida toshsimon bo'laklanish litogen materiallar yaqinligini anglatadi.

5–20 sm. Zichlangan gumus-o'tish qatlami (AB). Sur tusli och qo'ng'ir rangli, o'rta qumoqli, kam namlangan va strukturasiz qatlam. Kuchli zichlashganligi agregatlarning mexanik bosim yoki litogen omillar ta'sirida buzilganini ko'rsatadi. Ildizlar va fauna izlari kam, havo-suv rejimi cheklangan. Kam miqdordagi kristallar karbonat to'planishi boshlanayotganini bildiradi.

20–60 sm. Illyuvial strukturali qatlam (B). Sur tusli qo'ng'ir, o'rta qumoqli, namligi past va mayda agregatli strukturaga ega qatlam. Mayda struktura illyuvial jarayonlar ta'sirida agregatlar qayta shakllanganini ko'rsatadi. Sanoat ta'siri rang va mineral zarrachalar aralashuvida namoyon bo'ladi.

60–80 sm. O'tish litogen qatlami (BC). Och kulrang, o'rta qumoqli, o'rtacha nam va o'rta kesakchali strukturali qatlam. Zichligi o'rtacha, Bu yerda pedogen va litogen jarayonlar o'zaro o'tish holatida. Texnogen ta'sir ancha susaygan.

80–120 sm. Karbonatli akkumulyativ qatlam (Cca₁). Och kulrang-sarg'ish, o'rta-og'ir qumoqli, strukturasiz yoki yirik kesakchali va zich qatlam. Oq dog'lar va konkretsiyalar ko'rinishida karbonatlar to'plangan. CaCO₃ illyuvial yuvilish natijasida shu chuqurlikda akkumulyatsiyalangan.

120–150 sm. Karbonat-gipsli o'tish qatlami (Cca₂). Och sarg'ish, og'ir qumoqli, zich va kesakchali tuzilishga ega. Tomirsimon karbonatlar va ehtimoliy gipssimon kristallar uchraydi. Bu tuzlar kapillyar ko'tarilish va bug'lanish jarayonlari ta'sirida to'plangan.

150–184 sm. Litologik ona jins qatlami (C). Och kulrang-sarg'ish, qumloq-qumoqli, strukturasiz va tabiiy zich qatlam. Karbonatlar diffuz tarqalgan, biogen belgilari uchramaydi.

4-kesma. F.Reymova 20.03.2025. "Karakalpak sement" zavodi himoya zonasidan 2 km uzoqlikda, shimoliy-sharqiy tomon shamol yo'nalishi tarafidan qazildi. Yerni ustki qatlami ko'k mayda toshlar aralash qumdan iborat.

0–5 sm. Yuza gumus-biogen qatlam (A). Och kulrang-sarg'ish rangli, yengil qumoqli, quruq va kam shakllangan mayda agregatli strukturaga ega bo'sh qatlam. Ildizlar va hasharot izlarining juda ko'pligi biogen faollik yuqoriligini ko'rsatadi. Biroq quruq iqlim sharoiti rangning och tusda bo'lishiga sabab bo'lgan.

5–20 sm. Gumusli-o'tish qatlami (AB). Ko'kimtir jigarrang rangli, o'rta qumoqli, quruq va kuchsiz zichlashgan qatlam. Mayda donodor struktura ildizlar va mikroorganizmlar ta'sirida shakllangan. Kam miqdordagi karbonat dog'lari illyuvial jarayon boshlanganini ko'rsatadi. Qatlam genetik o'tish qatlami hisoblanadi.

20–60 sm. Karbonatli illyuvial qatlam (Bca). Och tusli, o'rta qumoqli, zich va kuchsiz strukturali qatlam. Karbonatlar juda ko'p bo'lib, oq dog'lar va konkretsiyalar ko'rinishida to'plangan. Karbonat sementatsiyasi zichlikni oshirgan.

60–80 sm. O'tish karbonatli-litogen qatlam. Och qo'ng'ir, yengil qumoqli, kam nam va strukturasiz qatlam. Zichligi yuqori, karbonatlar miqdori kamaygan. Illyuvial zonadan litogen zonaga o'tish kuzatiladi. Biogen faollik keskin pasaygan.

80–120 sm. Karbonatli akkumulyativ ona jins. Och sarg'ish-kulrang, o'rta-og'ir qumoqli, strukturasiz va zich qatlam. Illyuvial va litogen manbalar hisobiga akkumulyatsiyalangan.

120–160 sm. Karbonat-gipsli o'tish qatlami. Och sarg'ish, og'ir qumoqli, zich kesakchali qatlam. Karbonat tomirlari va ehtimoliy gipssimon kristallar kuzatiladi. Bu quruq iqlim sharoitida bug'lanish ustunligi va kapillyar ko'tarilish natijasida tuzlar to'planishi bilan bog'liq.

160–200 sm. Litologik ona jins qatlami. Och kulrang-sarg'ish, qumloq-qumoqli, strukturasiz va tabiiy zich qatlam. Karbonatlar diffuz tarqalgan, biogen belgilari uchramaydi. Bu qismida pedogenez jarayonlari deyarli namoyon bo'lmaydi, morfologiya asosan litologik yotqiziq xususiyatlari bilan belgilanadi.

Zavodga eng yaqin hududlarda (200 m–1 km) tuproq profilida texnogen-akkumulyativ va sementatsiyalangan qatlamlar shakllanib, yuzada sement changlari va karbonatli birikmalarning ko'p to'plangan. Sement zavodi atrofida tuproqlarning morfologik belgilarini umumlashtirgan holda -jadval ko'rinishida ham tasvirlash mumkin (1-javdal).

1-javdal

Sement zavodi atrofida tuproqlarning morfologik belgilaridagi umumiy holat va ularning o'zgarishi

Chuqurl ik, sm	Qatlam indeksi	Rangi	Mexanik tarkibi	Strukturasiz	Zichligi	Yangi yaralmalar / qo'shimchalar	Biogen belgilari	Texnogen belgilar
0–10/15	A / At	Och kulrang – to'q kulrang	yengil qumoqli	Kam strukturali	Bo'sh – o'rtacha	Kul-chang pardasi, shag'al	Ildizlar, hasharotlar ko'p	Sement changi
10/15– 30	AB	Kulrang – ko'kimtir – qo'ng'ir	O'rta qumoqli	Mayda donodor / plastinkasmo n	O'rtacha	Mayda toshlar, karbonat izlari	Ildizlar ko'p	Kam
30–60	B / Bca	Och qo'ng'ir – ko'kimtir	og'ir qumoqli	Mayda agregatli / strukturasiz	O'rtacha – kuchli	Karbonat konkretsiyalari	Kam	Deyarli yo'q
60–80	BC BCca	Och kulrang – sarg'ish	O'rta qumoqli	Kesakchali / strukturasiz	O'rtacha – kuchli	Karbonat dog'lari, shag'al	Juda kam	Yo'q
80–130	Cca	Och sarg'ish	og'ir qumoqli	Strukturasiz	Zich	Karbonat dog'lari, tomirlar	Yo'q	Yo'q
130– 200+	C	Sarg'ish – kulrang – qoramtir	qumoqli, shag'alli	Strukturasiz	Tabiiy zich	Shag'al, gips, karbonat	Yo'q	Yo'q

Izoh: Qatlam indekslarining genetik mazmuni: A (At)-Yuza gumus yoki texnogen-akkumulyativ qatlam; AB - gumusli o'tish qatlami, B / Bca - illyuvial, karbonat to'planuvchi qatlam, BC / BCca - illyuvialdan ona jinsga o'tish, Cca - karbonatli ona jins, C - litologik ona jins.

1,5–2 km masofalarda texnogen ta'sir susayib, pedogen va litogen jarayonlarning o'zaro uyg'unlashuvi namoyon bo'ldi, gumusli va illyuvial qatlamlar nisbatan yaxshiroq rivojlandi. 5–12 km uzoqlikdagi tuproqlarda esa texnogen ta'sir deyarli sezilmay, morfologik tuzilish asosan litologik va tabiiy pedogen omillar bilan belgilanishi, karbonat-gipsli va shag'alli ona jins qatlamlari ustunligi aniqlandi., zichligi, karbonat akkumulyatsiyasi va suv-havo rejimiga kuchli ta'sir ko'rsatib, texnogen transformatsiya intensivligi masofa ortishi bilan kamayishi aniqlandi. Sement zavodi ta'siri nuqtai nazaridan morfologik belgilarida quyidagi o'zgarishlar kechgan: yuza qatlam transformatsiyasi - barcha kesmalarda 0–10(15) sm qatlamda kul-chang plyonkasi och kulranglashish, strukturaning buzilishi, zichlashish kabilar. Bu sement aerazolli: CaCO₃, SiO₂, Al₂O₃ zarrachalarining yuzada akkumulyatsiyasi bilan bog'liq. Sementatsiya va litogenlashuv - ayrim kesmalarda 8–20 sm da qattiq toshsimon qatlam, sement kukuni, zich qatlam kabilar. Bu texnogen sementatsiya qatlami bo'lib, suv o'tkazuvchanlikni cheklaydi. Karbonat migratsiyasi kuchayishi - sement changi tarkibidagi CaCO₃ yuqoridan yuviladi, 20–80 sm da to'planadi, konkretsiyalar hosil qiladi. Shuning uchun Bca qatlami tabiiyga nisbatan kuchliroq rivojlangan.

Xulosa. Olib borilgan tadqiqotlar natijasida “Karakalpak sement” sement zavodi atrofidagi tuproqlarda sezilarli texnogen morfogenetik o'zgarishlar yuz berishi aniqlandi. Sement zavodiga yaqin hududlarda yuza gorizontlarda sement changi akkumulyatsiyasi, struktura buzilishi, sun'iy sementatsiya, karbonat to'planishi va zichlashish jarayonlari kuchli namoyon bo'lganligi kuzatildi. 5–12 km masofadagi kesmalarda tuproq profilida texnogen o'zgarishlar deyarli kuzatilmadi va morfologik xususiyatlar asosan litologik omillar bilan belgilangan. WRB xalqaro klassifikatsiyasiga muvofiq tadqiqot hududi tuproqlari asosan Calcisols guruhiga mansub bo'lib, sement zavodiga yaqin hududlarda Technic kvalifikatori belgilari aniqlandi. Umuman, sement sanoati ta'siri tuproq morfogenezi transformatsiyasiga, yuqori gorizontlarda texnogen qatlamlarning shakllanishiga va ekologik holatning yomonlashishiga olib kelishi aniqlandi.

ADABIYOTLAR

1. Kholdorov Sh., Jabbarov Z., Aslanov I., Jobborov B., Rakhmatov Z. Analysing effect of cement manufacturing industry on soils and agricultural plants // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 284. – Article 02005. – DOI: 10.1051/e3sconf/202128402005.
2. Bilen S., Bilen M., Ozgul M., Ozlu E., Simsek U. Response of soil chemical and biological properties to cement dust emissions: Insights for sustainable soil management // Sustainability. – 2025. – Vol. 17, № 4. – P. 1409. – DOI: 10.3390/su17041409.
3. Alavi M. Evaluation of cement dust effects on soil microbial biomass and chlorophyll content of *Triticum aestivum* L. and *Hordeum vulgare* L. // International Journal Capital in Urban Management. – 2017. – Vol. 2, № 2. – P. 113–124.
4. Abdel-Gawwad H.A., Sanad S.A., Mohammed M.S. A clean approach through sustainable utilization of cement kiln dust, hazardous lead-bearing, and sewage sludges in the production of lightweight bricks // Journal of Cleaner Production. – 2020. – Vol. 273. – Article 123129. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123129.
5. Baldovino J.A., Millan-Paramo C., Saba M. Porosity-to-cement index controlling the strength and microstructure of sustainable crushed material-cemented soil blends // Buildings. – 2022. – Vol. 12. – Article 1966. – DOI: 10.3390/buildings12111966.
6. Ghosh D., Banerjee A. Microscale and macroscale characterization of biopolymer-stabilized sulfate-rich expansive soils // Journal of Materials in Civil Engineering. – 2025. – Vol. 37, № 5. – DOI: 10.1061/JMCEE7.MTENG-18188.
7. Amiri H., Daneshvar E., Azadi S., Azadi S. Contamination level and risk assessment of heavy metals in the topsoil around cement factory: A case study // Environmental Engineering Research. – 2022. – Vol. 27, № 5. – Article 210313. – DOI: 10.4491/eer.2021.313.
8. Ezine (NW Turkey) // Environmental Geochemistry and Health. – 2023. – Vol. 45. – P. 5163–5179. – DOI: 10.1007/s10653-023-01578-9.