O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA’LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

MIRZO ULUG‘BEK NOMIDAGI O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETINING JIZZAX FILIALI

KOMPYUTER ILMLARI VA MUHANDISLIK TEXNOLOGIYALARI

mavzusidagi Xalqaro ilmiy-texnik anjuman materiallari to‘plami

2026-yil 25-26-sentabr

(2-qism)

JIZZAX-2026

Kompyuter ilmlari va muhandislik texnologiyalari. Xalqaro ilmiy-texnik anjuman materiallari to‘plami – Jizzax: O‘zMU Jizzax filiali, 2026-yil 25-26-sentabr. 315-bet.

Xalqaro miqyosidagi ilmiy-texnik anjuman materiallarida zamonaviy kompyuter ilmlari va muhandislik texnologiyalari sohasidagi innovatsion tadqiqotlar aks etgan.

Globallashuv sharoitida davlatimizni yanada barqaror va jadal sur’atlar bilan rivojlantirish bo‘yicha amalga oshirilayotgan islohotlar samarasini yaxshilash sohasidagi ilmiy-tadqiqot ishlariga alohida e’tibor qaratilgan. Zero iqtisodiyotning, ijtimoiy sohalarni qamrab olgan modernizatsiya jarayonlari, hayotning barcha sohalarini liberallashtirishni talab qilmoqda.

Ushbu ilmiy ma’ruza tezislari to‘plamida mamlakatimiz va xorijlik turli yo‘nalishlarda faoliyat olib borayotgan mutaxassislar, olimlar, professor-o‘qituvchilar, ilmiy tadqiqot institutlari va markazlarining ilmiy xodimlari, tadqiqotchilari, magistr va talabalarning ilmiy-tadqiqot ishlari natijalari mujassamlashgan.

Mas’ul muharrirlar: DSc.prof. Turakulov O.X., t.f.n., dots. Baboyev A.M.

Tahrir hay’ati a’zolari: p.f.d.(DSc), prof. Turakulov O.X., t.f.n., dots. Baboyev A.M., t.f.f.d.(PhD), prof. Abduraxmanov R.A., p.f.f.d.(PhD) Eshankulov B.S., p.f.n., dots. Aliqulov S.T., p.f.n., dots. Alimov N.N., p.f.f.d.(PhD), dots. Alibayev S.X., т.f.f.d.(PhD), dots. Abdumalikov A.A, p.f.f.d.(PhD) Hafizov E.A., f.f.f.d.(PhD) dots., Norbekova B.Sh. p.f.f.d.(PhD) dots. Sindorov L.K., t.f.f.d.(PhD), dots. Nasirov B.U., b.f.f.d. (PhD) O‘ralov A.I., p.f.n., dots. Aliqulov S.T., t.f.f.d.(PhD) Kuvandikov J.T., i.f.n., dots. Tsoy M.P., Sharipova S.F., Jo‘rayev M.M.

Mazkur to‘plamga kiritilgan ma’ruza tezislarining mazmuni, undagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligi hamda tanqidiy fikr-mulohazalar, keltirilgan takliflarga mualliflarning o‘zlari mas’uldirlar.

SENTINEL-2 RAQAMLI TASVIRLARI ASOSIDA SUG‘ORILADIGAN QISHLOQ XO‘JALIGI YERLARINING SHO‘RLANISH DARAJASINI NORAVSHAN BAHOLASH

Abduvakilov Bunyod Abduvakilovich
O‘zbekiston Milliy universiteti Jizzax filiali assistenti
abduvakilovbunyod@gmail.com

Annotatsiya: Mazkur tadqiqot sug‘oriladigan qishloq xo‘jaligi yerlarining sho‘rlanish darajasini raqamli masofadan zondlash ma’lumotlari asosida baholash masalasiga bag‘ishlangan. Tadqiqotning asosiy maqsadi raqamli tasvirlarda mavjud spektral axborot va sho‘rlanish bilan bog‘liq masofaviy zondlash ko‘rsatkichlarini noravshan to‘plamlar nazariyasi asosida qayta ishlash orqali tuproq sho‘rlanish darajasini miqdoriy baholashning matematik modelini ishlab chiqishdan iborat. Taklif etilayotgan yondashuvda sho‘rlanishning tabiiy va o‘tish xususiyatiga ega chegaralarini hisobga olish uchun membership funksiyalaridan foydalanish, turli spektral ko‘rsatkichlarni noravshan baholash va ularni yagona integral sho‘rlanish ko‘rsatkichiga agregatsiyalash masalalari ko‘rib chiqiladi. Model asosida sho‘rlanish darajalarini fazoviy aniqlash va raqamli xaritalash algoritmini shakllantirish nazarda tutiladi. Tadqiqot natijalari sug‘oriladigan qishloq xo‘jaligi yerlarining sho‘rlanish holatini tezkor va fazoviy differensiallangan tarzda baholash, mavjud dala tadqiqotlarini masofadan zondlash ma’lumotlari bilan to‘ldirish hamda sho‘rlanish monitoringini avtomatlashtirish uchun ilmiy-metodik asos yaratishga yo‘naltirilgan.

Kalit so‘zlar: tuproq sho‘rlanishi, sug‘oriladigan yerlar, raqamli tasvirlar, masofadan zondlash, Sentinel-2, noravshan to‘plamlar, membership funksiya, noravshan baholash, sho‘rlanish indeksi, matematik model.

Sug‘oriladigan qishloq xo‘jaligi yerlarida tuproq sho‘rlanishini o‘z vaqtida aniqlash va uning darajasini fazoviy baholash qishloq xo‘jaligi yerlaridan samarali foydalanish hamda meliorativ holatni monitoring qilishning muhim masalalaridan biridir. Tuproq sho‘rlanishi hudud bo‘yicha bir tekis taqsimlanmaydi va uning qiymati tuproqning fizik-kimyoviy xususiyatlari, namlik rejimi, sug‘orish sharoiti, sizot suvlarining joylashuvi va mineralizatsiyasi kabi omillarga bog‘liq ravishda fazoviy jihatdan o‘zgarib turadi. Shu sababli sho‘rlanish holatini alohida nuqtalarda olingan dala va laboratoriya o‘lchovlari asosida baholash katta hududlar uchun yetarli darajada operativ va uzluksiz monitoringni ta’minlamaydi.

Masofadan zondlash texnologiyalarining rivojlanishi natijasida qishloq xo‘jaligi yerlarining holatini raqamli tasvirlar asosida fazoviy baholash imkoniyati kengaydi. Xususan, sun’iy yo‘ldosh tasvirlarining turli spektral diapazonlaridan foydalanish tuproq va o‘simlik qoplamining sho‘rlanish bilan bog‘liq xususiyatlarini bilvosita aniqlash imkonini beradi. Biroq raqamli tasvirlardan olinadigan spektral ko‘rsatkichlar bilan tuproqning haqiqiy sho‘rlanish darajasi o‘rtasidagi munosabat qat’iy va chiziqli xarakterga ega emas. Mazkur munosabatga tuproq namligi, o‘simlik qoplami, tuproq turi, sirt holati va boshqa omillar ta’sir qilishi mumkin.

Shu nuqtai nazardan, sho‘rlanish darajasini faqat qat’iy chegaraviy qiymatlar asosida “sho‘rlangan” yoki “sho‘rlanmagan” tarzida tasniflash mavjud noaniqliklarni to‘liq ifodalash imkonini bermaydi. Amaliy sharoitda sho‘rlanish darajalari o‘rtasidagi chegaralar ham doimo keskin bo‘lmay, bir holatdan ikkinchi holatga bosqichma-bosqich o‘tishi mumkin. Mazkur xususiyat tuproq sho‘rlanishini baholash masalasida noravshan to‘plamlar nazariyasidan foydalanish zaruratini yuzaga keltiradi.

Ushbu tadqiqotda raqamli tasvirlardan olinadigan spektral ko‘rsatkichlarni

$$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$$

orqali, tuproqning haqiqiy sho‘rlanish holatini esa S orqali belgilaymiz. Bunda X_i — sho‘rlanish bilan bog‘liq bo‘lgan spektral yoki hosilaviy ko‘rsatkichlar, S esa tuproq sho‘rlanishining miqdoriy yoki kategorik ifodasidir. Tadqiqotning asosiy masalasi quyidagi umumiy akslantirishni qurishdan iborat:

$$F: (X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \to S$$

Bunda F funksiyasi raqamli asvirlardan olinadigan ko‘rsatkichlar asosida tuproq sho‘rlanish darajasini baholovchi matematik modelni ifodalaydi.

Mazkur akslantirishni shakllantirishda har bir kirish ko‘rsatkichining sho‘rlanish holatiga tegishlilik darajasini aniqlash uchun membership funksiyasidan foydalanish ko‘zda tutiladi:

$$\mu_i(X_i): X_i \to [0,1],$$

bu yerda $\mu_i(X_i) - X_i$ ko‘rsatkichining tegishli noravshan to‘plamga tegishlilik darajasi. Natijada turli spektral ko‘rsatkichlarning fizik o‘lchov birliklari va qiymat diapazonlaridan qat’iy nazar, ularni yagona noravshan baholash fazosida ifodalash imkoniyati hosil bo‘ladi.

Shundan kelib chiqib, masalaning keyingi muhim qismi turli spektral ko‘rsatkichlarning noravshan baholarini yagona sho‘rlanish bahosiga birlashtirishdan iborat:

$$\mu_S = G\big(\mu_1(X_1), \mu_2(X_2), \dots, \mu_n(X_n)\big),$$

bu yerda $G -$ noravshan baholarni agregatsiyalash mexanizmi μ_S esa tuproq sho‘rlanish holatining integral tegishlilik darjasini ifodalaydi.

Bunda quyidagi ilmiy masalalarni hal qilish talab etiladi: raqamli tasvirlardan sho‘rlanishni tavsiflash uchun informativ spektral ko‘rsatkichlarni tanlash; tanlangan ko‘rsatkichlarning noravshan to‘plamlarini shakllantirish; membership funksiyalarining turi va parametrlarini aniqlash; turli ko‘rsatkichlarning ta’sirini yagona noravshan bahoga birlashtirish; hosil bo‘lgan bahoni tuproqning amaldagi sho‘rlanish holati bilan bog‘lash hamda ishlab chiqilgan modelning baholash aniqligini aniqlash.

Shuningdek, noravshan model parametrlarini aniqlashda dala va laboratoriya o‘lchovlaridan, xususan, tuproqning elektr o‘tkazuvchanligi (EC) kabi instrumental ko‘rsatkichlardan foydalanish masalasi qo‘yiladi. Bunday yondashuv raqamli tasvirlardan olinadigan bilvosita axborotni tuproqning real fizik-kimyoviy holatini ifodalovchi ma’lumotlar bilan bog‘lash imkonini beradi.

Shunday qilib, mazkur tadqiqot doirasida qo‘yiladigan asosiy ilmiy masala — raqamli tasvirlardan olinadigan ko‘p o‘lchovli spektral axborot va tuproqning

instrumental sho‘rlanish ko‘rsatkichlari o‘rtasidagi noaniq munosabatni hisobga oluvchi noravshan matematik modelni shakllantirishdan iborat. Model sho‘rlanishning qat’iy chegaralarga ega bo‘lmagan xususiyatini aks ettirishi, turli spektral ko‘rsatkichlarni yagona baholash mexanizmida birlashtirishi va natijada sug‘oriladigan qishloq xo‘jaligi yerlarining sho‘rlanish darajasini fazoviy baholash imkonini berishi lozim.

Tuproq sho‘rlanishini masofadan zondlash ma’lumotlari asosida aniqlash bo‘yicha tadqiqotlar bir necha o‘n yillar davomida olib borilmoqda. Dastlabki tadqiqotlarda asosan sun’iy yo‘ldosh tasvirlarining spektral xususiyatlari bilan tuproq sho‘rlanishi o‘rtasidagi bog‘liqlikdan foydalanilgan bo‘lsa, keyingi ishlarda geografik axborot tizimlari, noravshan mantiq, statistik modellashtirish va mashinaviy o‘qitish usullari keng qo‘llanila boshlandi.

Sho‘rlangan tuproqlarni masofadan zondlash asosida tasniflashda noravshan to‘plamlar nazariyasidan foydalanishning dastlabki muhim namunalaridan biri Metternicht tomonidan taklif etilgan. Tadqiqotda JERS-1 SAR ma’lumotlari asosida sho‘rlangan tuproqlarni xaritalashda noravshan tasniflash usuli qo‘llanilgan. Mazkur yondashuvning asosiy afzalligi sho‘rlangan va sho‘rlanmagan tuproqlar o‘rtasidagi chegaralarni qat’iy emas, balki uzluksiz o‘zgaruvchi chegaralar sifatida ifodalash imkoniyati bilan bog‘liq. Natijalar noravshan tasniflash masofadan zondlash ma’lumotlaridan foydalanishda klassik qat’iy tasniflashga nisbatan qo‘shimcha axborot berishi mumkinligini ko‘rsatgan.

Keyingi tadqiqotlarda Metternicht noravshan mantiqni masofadan zondlash va GIS texnologiyalari bilan birlashtirib, tuproq sho‘rlanishining vaqt va makon bo‘yicha o‘zgarishini baholash masalasini ko‘rib chiqqan. Bunda turli ma’lumot manbalarini birlashtirish va ekspert bilimlarini noravshan qoidalar ko‘rinishida ifodalash imkoniyati yaratilgan. Masalan, ma’lum spektral ko‘rsatkichning yuqori qiymati va o‘simlik qoplamining kamayishi birgalikda sho‘rlanish ehtimolining ortishini ifodalovchi qoida sifatida qaralishi mumkin. Ushbu yondashuv noravshan modelning faqat tasniflash vositasi emas, balki turli omillarni birlashtiruvchi qaror qabul qilish mexanizmi sifatidagi imkoniyatlarini ko‘rsatadi.

Metternichtning keyingi ishlarida Landsat TM ma’lumotlari asosida tuproqning tuz ta’siridagi sinflarini xaritalashda qat’iy va noravshan sinf chegaralari taqqoslangan. Tadqiqot natijalari tuproq xususiyatlari uzluksiz o‘zgaradigan hududlarda qat’iy sinf chegaralaridan foydalanish ayrim holatlarda axborotning yo‘qolishiga olib kelishi mumkinligini ko‘rsatgan. Noravshan yondashuv esa obyektning bir vaqtning o‘zida turli sinflarga ma’lum darajada tegishli bo‘lishini ifodalash imkonini beradi. Bu xususiyat tuproq sho‘rlanishini baholash masalasida ayniqsa muhimdir, chunki sho‘rlanish darajalari o‘rtasidagi fizik chegaralar ko‘pincha keskin emas.

Noravshan yondashuvlarning yana bir muhim yo‘nalishi mahalliy ekspert bilimlarini texnik ma’lumotlar bilan birlashtirishdan iborat. Giordano va Liersch tomonidan ishlab chiqilgan fuzzy GIS tizimida tuproq sho‘rlanishini monitoring qilishda mahalliy bilimlar va texnik ma’lumotlarni yagona tizimda integratsiyalash masalasi ko‘rib chiqilgan. Ushbu tadqiqot O‘rta Amudaryo havzasi sharoitida amalga

oshirilgani sababli sug‘oriladigan qishloq xo‘jaligi yerlarining sho‘rlanishini baholash bo‘yicha O‘zbekiston va Markaziy Osiyo sharoiti uchun alohida metodologik ahamiyatga ega. Mazkur ish noravshan modellashtirishda faqat masofadan zondlash ma’lumotlarini emas, balki ekspert bilimlari va hududiy ma’lumotlarni ham hisobga olish mumkinligini ko‘rsatadi.

Biroq mavjud noravshan yondashuvlarning muhim muammolaridan biri membership funksiyalarining parametrlarini aniqlash bilan bog‘liq. Agar noravshan to‘plamlarning chegaralari ekspert tomonidan belgilansa, model parametrlarining subyektivligi yuzaga kelishi mumkin. Masalan, “past”, “o‘rta” va “yuqori” sho‘rlanish tushunchalarining qaysi qiymatlardan boshlanishi va tugashi oldindan berilgan chegaralarga bog‘liq bo‘ladi. Bunday parametrlar boshqa hudud yoki boshqa tasvir sharoitiga ko‘chirilganda o‘zining aniqligini yo‘qotishi mumkin.

Mazkur muammo zamonaviy tadqiqotlarda masofadan zondlash ma’lumotlari bilan statistik va mashinaviy o‘qitish usullarining birlashtirilishiga olib keldi. Xususan, Sentinel-2 MSI ma’lumotlari asosida tuproq sho‘rlanishini baholashda Support Vector Machine, Artificial Neural Network va Random Forest kabi usullar qo‘llanilgan. Ushbu tadqiqotlar yuqori fazoviy va spektral aniqlikka ega zamonaviy sun’iy yo‘ldosh ma’lumotlaridan foydalanish sho‘rlanish darajasini miqdoriy baholash imkoniyatlarini kengaytirayotganini ko‘rsatadi.

Shu bilan birga, mashinaviy o‘qitish modellari yuqori bashorat aniqligini ta’minlashi mumkin bo‘lsa-da, ularning natijalarini fizik mazmun va noaniqlik nuqtai nazaridan talqin qilish har doim ham oson emas. Noravshan modellashtirishning muhim afzalligi esa kirish ko‘rsatkichlarining sho‘rlanish holatiga tegishlilik darajasini bevosita ifodalash va modelning qaror qabul qilish mexanizmini lingvistik qoidalar orqali izohlash imkoniyatidir.

O‘zbekiston hududida olib borilgan zamonaviy tadqiqotlarda ham masofadan zondlash ma’lumotlari, tuproqning elektr o‘tkazuvchanligi, GIS va statistik modellashtirish usullaridan foydalanilgan. Xususan, Sirdaryo viloyatida tuproq sho‘rlanishini baholash bo‘yicha tadqiqotlarda Landsat 8 OLI va MODIS ma’lumotlari tuproq va sug‘orish suvi bo‘yicha dala o‘lchovlari bilan integratsiyalangan. Bunday tadqiqotlar masofadan zondlash ma’lumotlari bilan instrumental tuproq o‘lchovlarini bog‘lash zarurligini ko‘rsatadi.

Mavjud tadqiqotlarni umumlashtirish shuni ko‘rsatadiki, tuproq sho‘rlanishini baholash bo‘yicha uchta asosiy metodologik yo‘nalish shakllangan. Birinchi yo‘nalish — masofadan zondlash tasvirlari asosida qat’iy tasniflash va statistik regressiya modellaridan foydalanish. Ikkinchi yo‘nalish — noravshan to‘plamlar va noravshan mantiq yordamida sho‘rlanishning noaniq va uzluksiz chegaralarini modellashtirish. Uchinchi yo‘nalish — zamonaviy masofadan zondlash ma’lumotlarini mashinaviy o‘qitish algoritmlari bilan birlashtirish.

Mazkur yo‘nalishlarning tahlili shuni ko‘rsatadiki, noravshan yondashuvning o‘zi yangi masala emas. Shuning uchun ilmiy yangilikni faqat “tuproq sho‘rlanishini noravshan usulda baholash” g‘oyasiga asoslash yetarli bo‘lmaydi. Ilmiy muammoni membership funksiyalarining parametrlarini ma’lumotlar asosida aniqlash, bir nechta spektral ko‘rsatkichlarning noaniq ta’sirini yagona integral bahoga birlashtirish va

ushbu bahoni dala o‘lchovlari bilan kalibrlash kabi aniq matematik masalalarga yo‘naltirish maqsadga muvofiq.

Shu nuqtai nazardan, mavjud tadqiqotlarda quyidagi masalalar to‘liq yechilmagan yoki yanada rivojlantirishni talab qiladi:

1. Raqamli tasvirlardan olinadigan bir nechta spektral ko‘rsatkichlarning sho‘rlanishga ta’sirini yagona noravshan matematik modelda integratsiyalash.
2. Membership funksiyalarining chegaralari va parametrlarini faqat ekspert bahosiga emas, balki dala va laboratoriya ma’lumotlariga asoslangan holda aniqlash.
3. Sho‘rlanish darajasini faqat alohida sinflarga ajratish bilan cheklanmasdan, 0 dan 1 gacha bo‘lgan uzluksiz integral noravshan baho ko‘rinishida ifodalash.
4. Noravshan model natijalarini tuproqning instrumental ko‘rsatkichlari, xususan, elektr o‘tkazuvchanlik qiymatlari bilan kalibrlash va validatsiya qilish.
5. Ishlab chiqiladigan modelning natijalarini qat’iy tasniflash yoki zamonaviy statistik/mashinaviy o‘qitish modellariga nisbatan eksperimental taqqoslash.

Demak, mavjud ilmiy ishlardan kelib chiqadigan asosiy tadqiqot yo‘nalishi noravshan to‘plamlar nazariyasini shunchaki qo‘llash emas, balki raqamli tasvirlardan olinadigan spektral axborot va dala o‘lchovlari asosida parametrlarini aniqlash mumkin bo‘lgan, izohlanadigan va fazoviy sho‘rlanish bahosini shakllantiruvchi adaptiv noravshan matematik modelni ishlab chiqishdan iborat.

Masalaning matematik qismini quyidagicha ifodalash menimcha mantiqan to‘g‘ri bo‘lardi. Umumiy ko‘rinishni quyidagicha yozsak:

$$S_f = \mu_S$$

Raqamli tasvirdan olinadigan uchta ko‘rsatkich:

$$X_1 = NDVI, X_2 = SI, X_3 = NDSI.$$

Lekin qaysi indekslar yakuniy modelga kirishini eksperimental ravishda aniqlanishi lozim.

Bundan tashqari uchburchak membership funskiyasidan foydalansak:

$$\mu(x; a, b) = \begin{cases} 0, & x \le a, \\ \dfrac{x-a}{b-a}, & a < x \le b, \\ 0, & x \ge b \end{cases}$$

bu yerda $a, b -$ parametrlar. Ilmiy muammo ham aynan shu parametrlarni qanday aniqlashda.

Ushbu tadqiqotda raqamli tasvirlar asosida sug‘oriladigan qishloq xo‘jaligi yerlarining sho‘rlanish darajasini noravshan baholash masalasi ko‘rib chiqildi. Mavjud yondashuvlar tahlili sho‘rlanishni qat’iy chegaralar asosida tasniflash hududiy va tabiiy noaniqliklarni to‘liq aks ettirmasligini ko‘rsatdi.

Tadqiqot doirasida raqamli tasvirlardan olinadigan spektral ko‘rsatkichlarni noravshan fazoga akslantirish va ularni yagona integral sho‘rlanish bahosiga birlashtirishga asoslangan matematik model taklif etildi. Modelda har bir spektral ko‘rsatkich uchun membership funksiyasi kiritilib, ularning parametrlarini dala o‘lchovlari asosida aniqlash masalasi optimallash muammosi sifatida shakllantirildi.

Taklif etilgan yondashuvning asosiy xususiyati spektral ma’lumotlarni tuproqning instrumental sho‘rlanish ko‘rsatkichi, xususan, elektr o‘tkazuvchanlik qiymatlari bilan bog‘lash imkoniyatidir. Bu raqamli tasvirlardan olinadigan bilvosita axborot asosida sho‘rlanishning uzluksiz integral bahosini shakllantirish uchun matematik asos yaratadi.

Kelgusidagi tadqiqotlarda model parametrlarini real dala ma’lumotlari asosida baholash, turli membership funksiyalarini taqqoslash, spektral ko‘rsatkichlarning optimal to‘plamini aniqlash hamda model natijalarini an’anaviy statistik va mashinaviy o‘qitish usullari bilan eksperimental taqqoslash nazarda tutiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

1. Metternicht G.I. Fuzzy classification of JERS-1 SAR data: An evaluation of its performance for soil salinity mapping // Ecological Modelling. — 1998. — Vol. 111, No. 1. — P. 61–74. — DOI: 10.1016/S0304-3800(98)00095-7.
2. Metternicht G.I. Assessing temporal and spatial changes of salinity using fuzzy logic, remote sensing and GIS. Foundations of an expert system // Ecological Modelling. — 2001. — Vol. 144, No. 2. — DOI: 10.1016/S0304-3800(01)00371-4.
3. Metternicht G.I. Categorical fuzziness: A comparison between crisp and fuzzy class boundary modelling for mapping salt-affected soils using Landsat TM data and a classification based on anion ratios // Ecological Modelling. — 2003. — Vol. 168, No. 3. — P. 371–389. — DOI: 10.1016/S0304-3800(03)00147-9.
4. Giordano R., Liersch S. A fuzzy GIS-based system to integrate local and technical knowledge in soil salinity monitoring // Environmental Modelling & Software. — 2012. — Vol. 36. — P. 49–63. — DOI: 10.1016/j.envsoft.2011.09.004.
5. Wang J., Peng J., Li H., Yin C., Liu W., Wang T., Zhang H. Soil Salinity Mapping Using Machine Learning Algorithms with the Sentinel-2 MSI in Arid Areas, China // Remote Sensing. — 2021. — Vol. 13, No. 2. — Article 305. — DOI: 10.3390/rs13020305.
6. Omonov A., Kato T., Khasanov S., Fitriyah A., Li F., Musayev S., Pulatov B., Ismoilov Z. Integrated approach to soil salinity assessment using SEM in Sirdarya province, Uzbekistan // Remote Sensing Applications: Society and Environment. — 2024. — Vol. 35. — Article 101214. — DOI: 10.1016/j.rsase.2024.101214.
7. Metternicht G.I., Zinck J.A. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints // Remote Sensing of Environment. — Ushbu yo‘nalishdagi tadqiqotlarda masofadan zondlash ma’lumotlaridan sho‘rlanishni aniqlashda foydalanishning nazariy va amaliy asoslarini yorituvchi manba.
8. Zadeh L.A. Fuzzy sets // Information and Control. — 1965. — Vol. 8, No. 3. — P. 338–353. — DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.