

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIIY TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

FARG'ONA DAVLAT UNIVERSITETI

**FarDU.
ILMIY
XABARLAR**

1995-yildan nashr etiladi
Yilda 6 marta chiqadi

6-2025
TABIIY FANLAR

**НАУЧНЫЙ
ВЕСТНИК.
ФерГУ**

Издаётся с 1995 года
Выходит 6 раз в год

zavodi ta'sirida o'zgarishi	260
M.Sh.Xidirov	
Geographical approaches to improving the territorial structure of service sectors in Kashkadarya region	265
D.X.Jo'raqulova, X.J., Jurakulov B.B. Malikov, Sh.A. Ravshanov	
Janubiy-g'arbiy O'zbekistonda antropogen landshaftlar shakllanishida g'orlarning tutgan o'rni (Surxondaryo havzasi misolida)	271
N.D.Qosimov	
Sangzor havzasining turizm salohiyatini oshirish imkoniyatlari va tabiiy resurslar tahlili	276
X.A.Abduxakimova, A.A.Nematov	
Janubiy Farg'ona och tusli bo'z tuproqlarining agrokimyoviy xossalari va unumdorligi	280
S.A.Ibroximova, D.M.Xoldarov, B.M.Qo'chqorov	
Sug'oriladigan och tusli bo'z tuproqlarning agrokimyoviy xossalari	287

GEOGRAFIYA

Y.I.Axmadaliyev, O.I.Abduganiev	
Biologik xilma-xillik bo'yicha kunming-monreal global dasturini (GBF) O'zbekistonda amalga oshirishning geoeologik asoslari	293
N.A.Esanov	
Shaharchalarning joylashgan o'rni iqtisodiy-geografik rivojlanish omili (Termiz tumani misolida)	307
M.T.G'oziyeva	
Zominsuv havzasining rekreatsiya resurslardan oqilona foydalangan holda turizmni rivojlantirish yo'llari	313
M.T.G'oziyeva	
Zomin suv havzasida turizmni rivojlantirishiga ta'sir etuvchi tabiiy geografik omillar	317
Sh.M.Sharipov, N.R.Samatova	
Toshkent viloyatida jar eroziyasi xavfi: DEM va GIS tahlili	322
B.A.Dadajonov, A.A.Abdubannopov	
Aqlli ko'chat ekish mashinasi – yashil kelajak uchun innovatsiya	331
O.I.Abduganiev, D.B.Kosimov, Z.I. Mamirova	
Landshaftlardagi bog'lanishni modellashtirish asosida ekologik tarmoqlarni shakllantirish	337
L.M.Saydaliyeva	
Sakral landhsftlarning hosil bo'lishi va funksiyalari	346
A.A.Xamidov	
Farg'ona vodiysi tabiat komplekslarining xx-asrda tadqiq qilinishi natijalari	354
B.A.Dadajonov, A.A.Abdubannopov	
Agroai drone – sun'iy intellektli aqlli qishloq xo'jaligi monitoring platformasi	357
U.T.Egamberdiyeva, A.B.Bozorboyev	
Xovos tumani aholisining joylanishi va demografik rivojlanish xususiyatlari	361
H.N.Naimov	
Shimoliy Farg'ona tog'oldi hududi landshaft-ekologik sharoitining hozirgi holati va uni baholash	367
J.A.Ismatov	
O'zbekiston monoshaharlari aholisi sonining dinamikasi	372
O.I.Abduganiev, T.D.Komilova	
MSPA-Mcr modeli asosida ekologik karkasni shakllantirish va optimallashtirish mezonlari	379
R.Y.Xoliqov, O.A.Qo'chqorov, S.B.Saydullayeva	
Landshaftlarning ekologik holatining o'zgarishi va ularni baholash:(Farg'ona vodiysi yirik shaharlar misolida)	395
B.R.Rapiqov	
Norin-Sirdaryo havzasidagi suv omborlaridan foydalanish samaradorligini oshirish imkoniyatlari	399

EKOLOGIYA



UO'K: 551.435:528.9:004.7(575.1)

TOSHKENT VILOYATIDA JAR EROZIYASI XAVFI: DEM VA GIS TAHLILI

РИСК ЭРОЗИИ ПОЧВ В ТАШКЕНТСКОЙ ОБЛАСТИ: DEM И GIS-АНАЛИЗ

SOIL EROSION RISK IN TASHKENT REGION: DEM AND GIS ANALYSIS

Sharipov Shavkat Muhamajonovich¹ ¹Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti,
Geografiya va GIS fakulteti dekani, professor.Samatova Nafisa Rustamovna² ²Jizzax davlat pedagogika universiteti doktoranti.

Annotatsiya

Maqolada Toshkent viloyatida jar eroziyasi xavfi GIS asosida baholanib, Weighted Overlay modeli natijalari Google Earth Pro'dan olingan jarlar inventari bilan solishtiriladi. DEMdan olingan qiyalik, oqim to'planishi va ekspozitsiya 40–40–20 % vaznlar bilan indeksga birlashtirilib, hudud past, o'rta va yuqori xavf zonalariga ajratiladi. Model "yuqori xavf" sinfi real jarliklarning 78–82 % qismini qamrab olib, eroziyaga qarshi choralarni rejalashtirish uchun ishonchli asos bo'ladi.

Аннотация

В статье оценивается опасность овражной эрозии в Ташкентской области с применением ГИС и проводится сравнение модели Weighted Overlay с инвентарной картой оврагов по данным Google Earth Pro. Уклон, накопление стока и экспозиция склонов, полученные из ЦМР, объединены с весами 40–40–20 %, что позволяет выделить зоны низкой, средней и высокой опасности. Класс «высокая опасность» охватывает около 78–82 % картированных оврагов и служит надежной основой для планирования противоэрозионных мероприятий.

Abstract

The article evaluates gully erosion hazard in the Tashkent region using GIS and compares a Weighted Overlay model with a gully inventory derived from Google Earth Pro. Slope, flow accumulation and aspect extracted from a DEM are combined with 40–40–20% weights to map low, medium and high hazard zones. The high-hazard class captures about 78–82% of mapped gullies, providing a reliable basis for planning erosion control measures.

Kalit so'zlar: jar eroziyasi, GIS, DEM, Weighted Overlay, qiyalik, oqim to'planishi, yonbag'ir ekspozitsiyasi, Toshkent viloyati.

Ключевые слова: овражная эрозия, ГИС, ЦМР (DEM), Weighted Overlay, уклон, накопление стока, экспозиция склонов, Ташкентская область.

Keywords: gully erosion, GIS, DEM, Weighted Overlay, slope, flow accumulation, aspect, Tashkent region.

KIRISH

O'zbekistonning ko'plab hududlarida, ayniqsa tog' oldi va sug'oriladigan tekislik zonalarida yer resurslarining buzilish jarayoni yil sayin sezilarli darajada kuchayib bormoqda. Bu jarayonlar ichida jar eroziyasi alohida xavf tug'diradi: u tuproq qoplamini yemirilishiga, qishloq xo'jaligi maydonlarining qisqarishiga, yo'llar, irrigatsiya inshootlari va aholi punktlariga zarar yetishiga sabab bo'ladi. Toshkent viloyati bo'yicha mavjud tahlillar jar eroziyasi bilan buzilgan yerlar maydoni yuzlab kvadrat kilometrlarni tashkil etishini va bu hodisa hududning geomorfologik barqarorligi hamda meliorativ holatiga bevosita ta'sir ko'rsatayotganini ko'rsatadi. Shu sababli viloyat miqyosida jar eroziyasi xavfini mayda masshtabda baholash, xavf zonalarini aniq ajratib ko'rsatish va ularni amaliy rejalashtirishga ulash - ilmiy ham, amaliy jihatdan ham zarur bo'lib qolmoqda.

So'nggi o'n yilliklarda dunyoning turli mintaqalarida jar eroziyasi bo'yicha juda katta empirik material to'plandi va GIS hamda masofadan zondlash (RS) asosidagi modellashtirish usullari standart yondashuvga aylandi[12]. Jar eroziya xavfini baholashda GIS-ga asoslangan bivariant

GEOGRAFIYA

(har safar faqat 2 ta kattalik orasidagi bog'lanishni ko'radigan statistik yondashuv) statistik modellarni muvaffaqiyatli qo'llab, jarlar inventar xaritasi bilan taqqoslab verifikatsiya (Qilgan modeling haqiqatga mos keladimi, yo'qmi – tekshirib ko'rish jarayoni) qilgan. Sitsiliya sharoitida logistik regressiya hamda MARS (Multivariate Adaptive Regression Splines) yondashuvini sinab ko'rgan holda, qiyalik, drenaj tarmog'i zichligi va yer qoplami kabi omillarning jar eroziyadagi rolini qat'iy miqdoriy baholagan[7,8]. Mashinaviy o'qitishga asoslangan ko'plab ishlar - masalan, boosted regression trees, random forest, k-nearest neighbor va ansambl modellarini qo'llagan[4,5,6]. Jar eroziya susceptibility xaritalarida prognoz aniqligini sezilarli oshirish mumkinligini ko'rsatadi[9].

So'nggi yillarda bu yo'nalish yanada kengaydi: Turli relyef va iqlim sharoitlarida jar eroziyasi xavfini turli mashinaviy model va ma'lumotlar kombinatsiyalarida baholab, AUC, ROC, success rate kabi ko'rsatkichlar orqali modellarni solishtirgan[10,13,11,16]. Marokash va boshqa havzalarda ge-oeologik omillarni turlicha kombinatsiyalab, turli machine learning modellarining barqarorligi va barqaror emas tomonlarini tahlil qilgan [3,1] Shu bilan birga bulutli platformalar (masalan, Google Earth Engine) va yuqori aniqlikdagi tasvirlardan foydalangan holda jarlar inventar xaritasini tezkor tuzish, so'ngra bu inventarni model bilan taqqoslash imkoniyatlarini namoyish etadi [14,15].

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODLAR

Adabiyotlarning tahlili shuni ko'rsatadiki, aksariyat tadqiqotlar quyidagi umumiy sxemaga tayanadi:

1. jarlarni dala kuzatuvlari yoki yuqori aniqlikdagi optik tasvirlar (Google Earth, ortofoto) asosida inventarizatsiya qilish;

2. DEMdan olingan topografik ko'rsatkichlar (qiyalik, ekspozitsiya, oqim to'planishi), geologik va tuproq xaritalari, yer qoplami, iqlim va antropogen omillarni umumlashtirgan GIS-model qurish;

Jarlar inventari bilan model natijalarini ROC, success rate, confusion matrix kabi indikatorlar orqali verifikatsiya qilish. Bu yondashuv gulli eroziya xavfi bo'yicha yetarlicha ishonchli natija beradi, ammo ko'plab ishlarda model murakkabligi ortgani sari ma'lumot talabi va hisoblash xarajati ham sezilarli oshib borishi kuzatiladi. Shu sababli ba'zi mualliflar [12,7] nisbatan sodda, lekin yaxshi kalibrlangan statistik yoki vaznlashgan indeks modellarining amaliy afzalliklarini alohida ta'kidlaydi.

Markaziy Osiyo, xususan, O'zbekiston sharoitida jar eroziyasi bo'yicha geomorfologik tavsiflar va hududiy tasniflash ishlari mavjud bo'lsa-da, Toshkent viloyati darajasida DEM asosidagi qo'shma (Weighted Overlay) model dan foydalanib, so'ng bu model natijalarini Google Earth Pro'dan olingan jarlar inventar xaritasi bilan miqdoriy taqqoslagan tadqiqotlar deyarli uchramaydi. Bu esa ikki yo'nalishda bo'shliqni ko'rsatadi: bir tomondan, jar eroziyasi xavfi xaritalarini mahalliy geomorfologik va irrigatsion sharoitlarga moslashtirish zarurati, ikkinchi tomondan esa nisbatan sodda, lekin O'zbekiston sharoitiga moslashtirilgan DEM-ga asoslangan modelni mustaqil jar inventari orqali tekshirib ko'rish ehtiyoji.

Mazkur maqolada aynan shunday yondashuv sinab ko'riladi: Toshkent viloyatida jar eroziyasi xavfi ArcGIS Pro dasturida DEMdan olingan qiyalik, oqim to'planishi va yonbag'ir ekspozitsiyasi qatlamlari asosida Weighted Overlay usuli bilan baholanadi; so'ng model natijalari Google Earth Pro tasvirlaridan yaratilgan jar inventar xaritasi bilan chatishtirib, moslik va aniqlik darajasi miqdoriy jihatdan baholanadi. Shu orqali, bir tomondan, Toshkent viloyati uchun jar eroziyasi xavfi hududiy tuzilishi aniqlashtiriladi, ikkinchi tomondan esa nisbatan sodda, ammo ma'lumot jihatdan yengil bo'lgan DEM-asosli modelning amaliy qiymati va cheklanishlari ko'rsatib beriladi.

MUHOKAMA VA NATIJALAR.

Tadqiqotda uch turdagi asosiy ma'lumotlar ishlatildi:

1. **Raqamli relyef modeli (DEM)** – qiyalik, oqim to'planishi va yonbag'ir ekspozitsiyasini hisoblash uchun.

2. **Google Earth Pro tasvirlari (2024 yil holati)** – real jarliklarni ko'z bilan ajratib, inventar xaritasini tuzish uchun.

3. **Vektor qatlamlar** – viloyat chegarasi, gidrografik tarmoq va yo'l tarmoqlari, keyingi bosqichlarda jarlarning joylashuvini izohlash uchun.

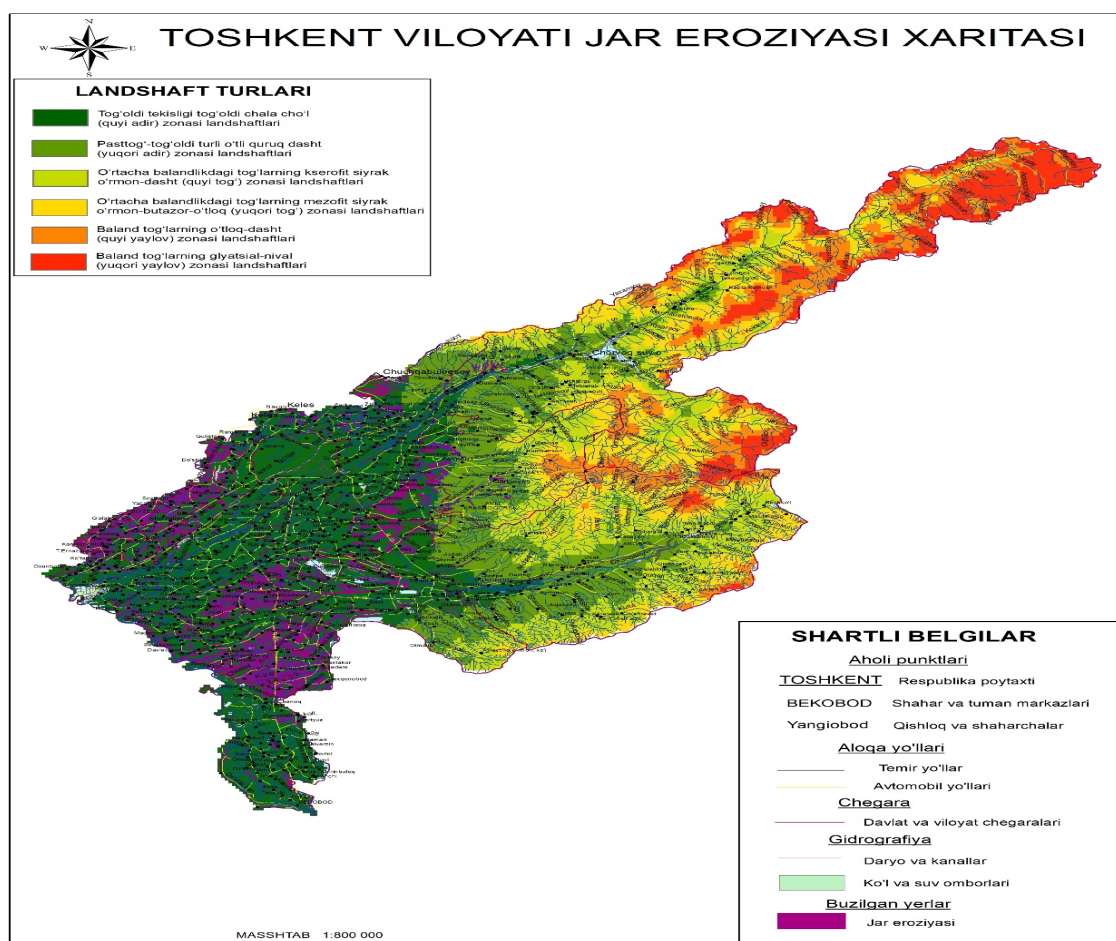
Ma'lumotlar sifati va aniqligi cheklolari oldindan tekshirilib, DEM piksellarining o'lchami jar eroziyasi shakllarini aniqlash uchun yetarli aniqlik berishiga e'tibor qaratildi. Jar modellariga oid ilmiy ishlar ham bu bosqichda yo'l-yo'riq vazifasini bajardi [12,7,4].

Jarlar inventar xaritasini tuzishda **Google Earth Pro** dasturidagi yuqori aniqlikdagi tasvirlar asosiy vosita bo'ldi. Avval Toshkent viloyati chegarasi shapefile formatida ArcGIS dan Google Earth Pro ga KML/KMZ ko'rinishida olib o'tildi. So'ngra har bir jar:

1. daryo yoki soy o'zaniga bog'lanishi,
2. kesimining V-simon shakli,
3. yonbag'ir qiyaligi va chuqurligi,
4. uzunligi hamda tarmoq shakli

asosida aniqlanib, poligon sifatida qo'lda raqamlashtirildi. Bu ishda avtomatik segmentatsiyadan ko'ra qo'lda raqamlashtirish tanlandi, chunki murakkab adir va tog'li hududlarda avtomatik algoritmlar ko'p xatoga yo'l qo'yishi mumkin.

Raqamlashtirish tugagach, KML fayllar ArcGIS Pro muhitiga import qilinib, "Toshkent_viloyati_jarlar.shp" nomli alohida qatlamga aylantirildi. Natijada viloyat bo'yicha real jarliklarning planimetriyasi va joylashuvi aks etgan inventar ma'lumotlar bazasi yaratildi. Keyinchalik aynan shu qatlam modelni tekshirish (verifikatsiya) bosqichida baholash mezonlari sifatida ishlatildi.



DEMDan olingan omillar: qiyalik, oqim to'planishi va ekspozitsiya

Jar eroziyasi ko'plab omillarga bog'liq bo'lsa-da, adabiyotlar sharhi shuni ko'rsatadiki, qiyalik, oqim to'planishi va yonbag'ir ekspozitsiyasi ko'pincha asosiy "geometrik qolip"ni belgilaydi. Shu sababli ushbu tadqiqotda ham birlamchi modelni aynan DEMdan olingan uchta omilga tayanib qurish maqsadga muvofiq deb topildi.

ArcGIS Pro dasturida:

1. **Slope** vositasi yordamida qiyalik burchagi kartasi,

GEOGRAFIYA

2. Flow Accumulation vositasi yordamida yuzaki oqimning drenaj tarmoqlarida yig'ilishi xaritasi,

3. Aspect vositasi yordamida yonbag'irlarning yo'nalishi xaritasi hisoblab chiqildi. Har bir raster qatlam 1 dan 5 gacha bo'lgan ball shkalasida qayta tasniflandi: 1 ball – jar hosil bo'lish ehtimoli eng past sharoitga, 5 ball – eng yuqori xavfli sharoitga mos ravishda belgilandi. Masalan, tekis ($<2^\circ$) qiyaliklar 1 ball, o'rtacha qiyaliklar 3 ball, juda tik ($>30^\circ$) qiyaliklar 5 ball bilan baholandi; oqim to'planishi rasterida suv to'planishi kam bo'lgan maydonlar past ball, kuchli drenaj yo'llari yuqori ball oldi; ekspozitsiyada esa jarayonni kuchaytirishi mumkin bo'lgan nisbatan nam va energiya rejimi qulay yonbag'irlar yuqori ballga ega bo'ldi.

Bu bosqichda murakkab, ko'p omilli mashinaviy o'qitish modellaridan ko'ra, nisbatan sodda, lekin tushunarli va izchil bo'lgan ko'rsatkichli (index) yondashuv tanlandi. Bu, bir tomondan, ma'lumotlar bo'yicha talablarga kamroq bog'liq, ikkinchi tomondan, mahalliy mutaxassislar uchun ham natijalarni talqin qilishni yengillashtiradi.

DEMDan olingan uchta omil – qiyalik (Slope), oqim to'planishi (Flow Accumulation) va yonbag'ir ekspozitsiyasi (Aspect) – bir xil o'lchamli raster ko'rinishida tayyorlandi va Weighted Overlay vositasi orqali bitta integrallashgan "jar eroziyasi xavfi indeksi"ga birlashtirildi. Ilmiy manbalar va hudud bo'yicha tajribaga tayanib, omillarga quyidagi vaznlar berildi:

qiyalik – 40 %,

oqim to'planishi – 40 %,

ekspozitsiya – 20 %.

Bu yerda qiyalik va oqim jar hosil bo'lishida asosiy omil, ekspozitsiya esa jarayonni kuchaytiruvchi yoki susaytiruvchi ikkilamchi omil sifatida qaraldi. Har bir piksel uchun indeks quyidagicha hisoblandi:

$$I_{\text{jar}} = 0,4 \cdot \text{Slope_ball} + 0,4 \cdot \text{FlowAcc_ball} + 0,2 \cdot \text{Aspect_ball}$$

Olingan indeks xaritasi keyinchalik talqin qilishni osonlashtirish uchun uchta sinfga ajratildi: past, o'rta va yuqori xavf. Bu sinflar bo'yicha maydon ulushi, balandlik zonalari va real jarliklar bilan moslik alohida tahlil qilindi.

Jar eroziyasi faolligi ko'pincha mutlaq balandlik bilan bog'liq bo'lganligi uchun DEM asosida Toshkent viloyatida bir nechta balandlik diapazonlari ajratildi (masalan, <400 m, 400–800 m, 800–1200 m, 1200–1800 m va >1800 m). Har bir balandlik zonasi alohida poligon qatlamga aylantirildi va jar eroziyasi xavfi indeks xaritasi bilan Intersect amaliyoti orqali chatishtirildi.

Natijada har bir balandlik diapazonida past, o'rta va yuqori xavf sinflarining maydon ulushi hisoblab chiqildi. Shu tariqa yuqori xavf zonalari aynan qaysi balandliklarda zichlashgani, qayerda xavf pasayishi aniqlanib, bu ma'lumotlar keyinchalik natijalarni talqin qilish va landshaft yondashuvini kuchaytirishda qo'llanildi.

Model tuzilganidan keyin uning qanchalik ishonchli ekani mustaqil ma'lumotlar asosida tekshirildi. Buning uchun Google Earth Pro'dan olingan jarlar inventar xaritasi asosiy mezon sifatida olindi.

Verifikatsiya bosqichlari quyidagicha bo'ldi:

"Toshkent viloyati jarlar.shp" qatlamidagi har bir jar atrofida 60 metr radiusli bufer zonalar yaratildi. Bu masofa DEM aniqligi va jarlarning o'rtacha kengligini hisobga olib tanlandi.

Bufer qatlam jar eroziyasi xavfi indeks xaritasi bilan ustma-ust tushirilib, Tabulate Intersection vositasi yordamida har bir xavf sinfi doirasida jar buferlarining ulushi hisoblab chiqildi.

Olingan natijalar asosida ikki asosiy ko'rsatkich baholandi:

1. Recall – real jarliklar ichida model "yuqori xavfli" deb to'g'ri ajratgan qismi;

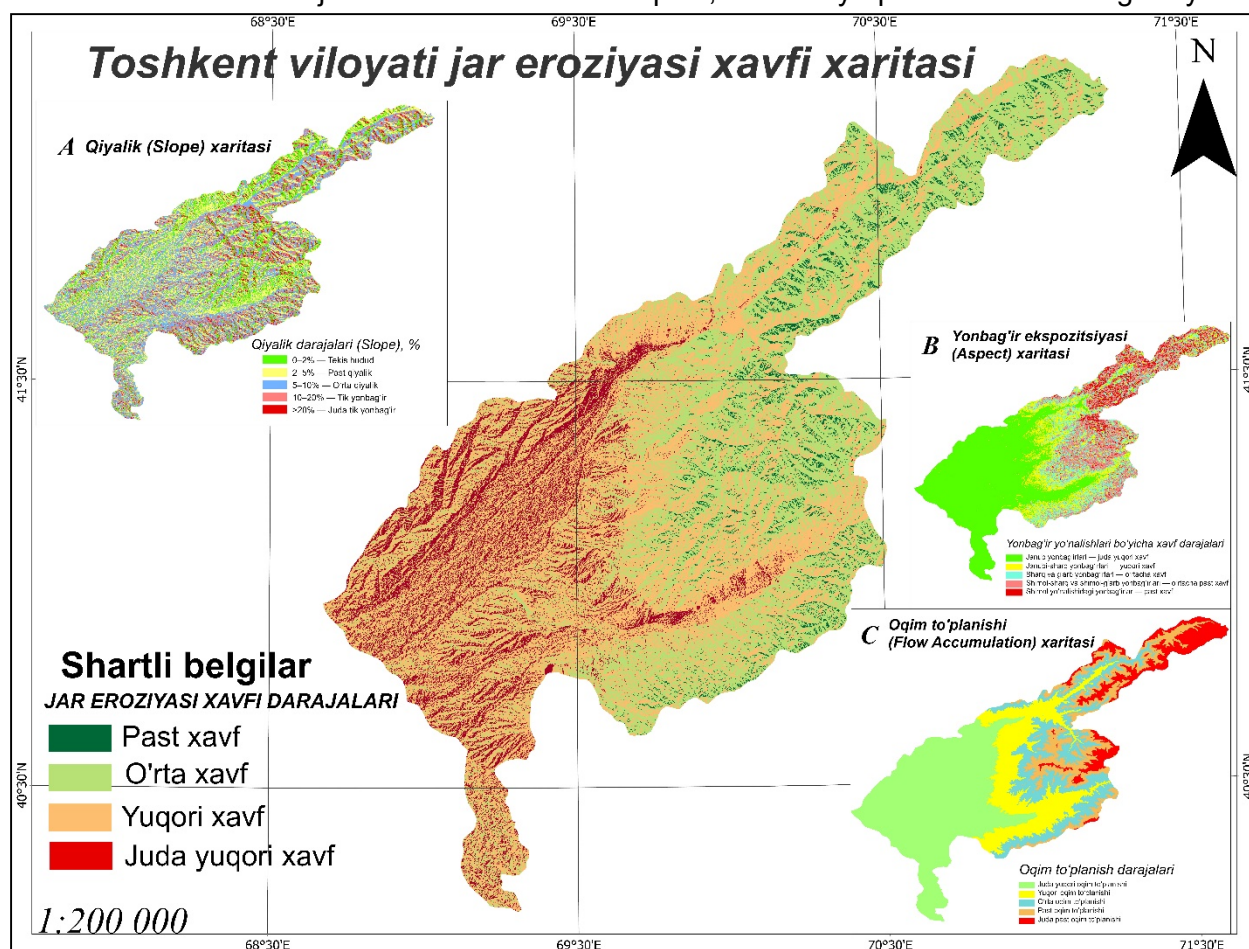
2. Precision – model "yuqori xavf" deb belgilagan hududlarning qanchalik qismi haqiqatan jarlar atrofida joylashgani.

Hisob-kitoblar shuni ko'rsatdiki, "yuqori xavf" sinfiga kiruvchi hududlarning taxminan 80 % ga yaqini real jarliklar bilan mos tushadi. Bu natijalar modelning ishonchliliigi va Natijalar hamda Muhokama bo'limlarida keltirilgan xulosalar uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

DEM asosida qurilgan Weighted Overlay modeli natijasida Toshkent viloyati hududi jar eroziyasi xavfi bo'yicha uchta asosiy sinfga ajratildi. Tasniflash natijalariga ko'ra, yuqori xavf zonalari viloyat maydonining taxminan 21 % qismini, o'rta xavf zonalari 38 %, past xavf zonalari esa 41

% qismini egallaydi. Model xaritasini ko'zdan kechirish shuni ko'rsatdiki, yuqori va o'rta xavfli hududlar, asosan, tog' oldi adirlari, tog' etaklari va daryo vodiylari yonbag'irlari bo'ylab yoyilgan; bunda ayniqsa Chirchiq, Ohangaron va Sirdaryo havzalarining yonbag'ir qismi ajralib turadi. Tekis va sust shkalali relyefli qismlarda esa jar eroziyasi xavfi past sinflar bilan ifodalanadi. Daryo vodiylarining I, II va III qayir terrasalari bo'yicha model natijalari eroziya xavfi deyarli yo'qligini yoki juda kichik ekanini ko'rsatadi. Bunday hududlarda qiyaliklar juda past, drenaj tarmoqlarining kesib o'tishi kam, oqim bo'ylab energiya zichligi ham past bo'lgani uchun jar shakllanishi uchun zarur sharoit shakllanmaydi. Aksincha, tog' oldi adirlarida qiyalikning keskinlashuvi, yonbag'irlar uzunligining ortishi va oqim yo'llarining to'planishi natijasida jar eroziyasi uchun "faol" zonalar paydo bo'ladi. Shu tarzda, yuqori xavf zonalar viloyatning geomorfologik jihatdan beqaror zonalarini aniq ajratib beradi.

Jar eroziyasi xavfining mutlaq balandlik bilan bog'liqligini baholash uchun DEM asosida bir nechta balandlik zonalar ajratildi va har bir zonada past, o'rta va yuqori xavf sinflarining maydon



ulushi hisoblab chiqildi. Natijalar shuni ko'rsatdiki:

1. past balandlikdagi tekis va past tog'oldi qismlarida (quyi terrasa va vodiylar bo'yi zonalar) jar eroziyasi xavfi, asosan, past sinflar bilan ifodalanadi;

2. balandlik ortib, tog' oldi adir va o'rta balandlikdagi zonalarga o'tilgan sari o'rta va yuqori xavf sinflari keskin ko'payadi;

3. eng baland tog'li qismlarda esa xavf yana ma'lum darajada pasayadi, chunki bu yerda relyef juda keskin bo'lishiga qaramay, o'simlik qoplami zichligi va iqlim rejimi jar eroziyasini bir oz "bosib turadi".

Boshqacha aytganda, jar eroziyasi xavfining eng yuqori darajasi o'rta balandlikdagi tog' oldi zonalarida, qiyalik burchagi o'rtacha-yuqori bo'lgan, drenaj tarmog'i yaxshi rivojlangan hududlarda kuzatiladi. Balandlik zonalar bo'yicha bu taqsimot keyingi bo'limda natijalarni talqin qilishda muhim tayanch bo'lib xizmat qiladi.

GEOGRAFIYA

Weighted Overlay modeli faqat nazariy sxema emas, uning qanchalik “ishlayotganini” ko‘rish uchun model natijalari Google Earth Pro asosida yaratilgan jarlar inventar qatlamiga bog‘lab tekshirildi. Buning uchun “Toshkent viloyati jarlar.shp” qatlamidagi jarliklar atrofida 60 metr radiusli bufer zonalar hosil qilindi va bu buferlar jar eroziyasi xavfi xaritasi bilan ustma-ust tushirildi.

Hisob-kitoblar natijasi shuni ko‘rsatdiki:

1. model bo‘yicha “yuqori xavf” deb baholangan hududlarning qariyb 78–82 % qismi real jarlar joylashgan bufer zonalariga to‘g‘ri keladi;

2. qolgan kichik qismi esa, asosan, potensial jar shakllanishi mumkin bo‘lgan, lekin hozircha to‘liq rivojlanmagan daralar va qiyaliklarni qamrab oladi.

Shu asosda, sodda qilib aytganda, model “yuqori xavf” deb ajratgan piksel va poligonlarning katta qismi chindan ham jar eroziyasiga duchor qilingan yoki yaqin atrofida joylashgan hududlar ekanini ko‘rish mumkin. Bu natija modelning Recall va Precision ko‘rsatkichlari bo‘yicha ham ijobiy baholanishiga zamin yaratadi: real jarliklarning sezilarli ulushi model tomonidan to‘g‘ri “tutib olingan”, model belgilagan xavf zonalarining katta qismi esa haqiqiy jar maydonlari bilan bog‘liq.

Shuningdek, real jarliklarning ma‘lum bir qismi model bo‘yicha o‘rta yoki past xavf sinflarida qolib ketgani ham qayd etildi. Bu nomutanosibliklar DEM piksellarining o‘lchami, Google Earth tasvirlarining aniqligi, raqamlashtirishdagi sub‘ektivlik va model tarkibida geologik–litologik, tuproq yoki sof antropogen omillarning to‘liq hisobga olinmagani bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Ularning tahlili keyingi bo‘limda muhokama qilinadi.

Hududiy tahlil natijalari jar eroziyasi xavfi faqat tabiiy relef va drenaj omillari bilan emas, balki sug‘orish tizimlarining qanday ishlashi bilan ham chambarchas bog‘liqligini ko‘rsatdi. Toshkent viloyatining bir qator tumanlarida - xususan, Bekobod, Bo‘ka, Piskent, Oqqo‘rg‘on, Ohangaron, Yuqori va Quyi Chirchiq, Parkent, Chinoz, Yangiyo‘l, Zangiota, Toshkent, Qibray, Bo‘stonliq hududlarida - jar eroziyasi keng maydonlarni egallab, relyefning morfodinamik barqarorligini sezilarli darajada pasaytirgan.

Bu tumanlardagi ko‘plab landshaftlarda sug‘orishning noto‘g‘ri agrotexnikasi, ortiqcha yoki nosoz sug‘orish tarmoqlari, dalalararo yo‘llar va kollektor-drenaj inshootlarining qiyalik bo‘yicha asossiz joylashuvi natijasida irrigatsion eroziya kuchaygan. Shu bilan birga, tabiiy jar eroziyasi bilan irrigatsion eroziya, suffoziya va sho‘rlanish jarayonlari ko‘pincha bir hududda “ustma-ust kelib”, suv–tuproq rejimining izdan chiqishiga sabab bo‘lmoqda. GIS asosidagi tahlillar irrigatsion eroziya eng faol kechayotgan landshaftlarda jar eroziyasi xavfining ham yuqori bo‘lishini ko‘rsatdi; bu esa modelda hisobga olingan relyef omillari bilan daladagi antropogen yuklama o‘rtasida kuchli sinergiya mavjudligini bildiradi.

Natijada, nafaqat tog‘ oldi adirlari, balki sug‘oriladigan tekisliklarning ayrim segmentlarida ham jar eroziyasi xavfi mahalliy sharoitga qarab yuqori darajada bo‘lib chiqmoqda. Bu holat tadqiqot natijalarini faqat geomorfologik emas, balki meliorativ va agrotexnik boshqaruv nuqtai nazaridan ham talqin qilish zarurligini ko‘rsatadi.

Olingan natijalar Toshkent viloyati sharoitida jar eroziyasi, avvalo, relef va drenaj omillarining kombinatsiyasiga bog‘liqligini aniq ko‘rsatdi: yuqori va o‘rta xavf zonalarining tog‘ oldi adirlariga “yopishib” chiqishi, past xavf sinflarining esa vodiy terrasalari va tekisliklarda to‘planishi – ko‘plab xalqaro tadqiqotlarda qayd etilgan umumiy qonuniyatlarga mos keladi. Eron hududidagi ishlari ham qiyalik burchagi, drenaj tarmog‘i va masofa omillari kuchli bo‘lgan zonalarda jar eroziya xavfi keskin ortishini ko‘rsatgan[12]; Sitsiliya bo‘yicha natijalari ham o‘rta va baland qiyalikli yonbag‘irlar, daryo yaqin zonalarini asosiy xavf o‘choqlari sifatida qayd etadi[8]. Shu ma’noda, Toshkent viloyati uchun qurilgan Weighted Overlay modeli global tajribadagi asosiy geomorfologik tendensiyalarni tasdiqlaydi, lekin ularni mahalliy landshaft kontekstida aniqlashtirib beradi.

Model bo‘yicha yuqori xavf zonalarini viloyat maydonining 21 % atrofini egallab, real jarliklar bilan 78–82 % gacha mos tushgani ham adabiyotlarda keltiriladigan ko‘rsatkichlardan kam emas. Jar eroziyasi bo‘yicha ko‘pchilik ishlarda (masalan, logistik regressiya, MARS, Random Forest yoki ansambl modellar qo‘llangan tadqiqotlar) success rate va AUC qiymatlari odatda 0,7–0,9 oralig‘ida bo‘lib, real jarlar 60–80 % gacha yuqori va juda yuqori xavf zonalariga to‘g‘ri kelgani qayd etiladi. Bizning holatda ham nisbatan sodda indeks modeli bilan shunga yaqin moslikka erishilgani DEMga tayanadigan, tushunarli va “yengil” yondashuv O‘zbekiston sharoitida ham yetarlicha samarali bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatadi.

Shu bilan birga, ayrim jarliklarning o'rta yoki past xavf sinflarida qolib ketgani – modelga kiritilmagan omillar rolini eslatib turadi. Xalqaro tadqiqotlarda geologik–litologik qatlamlarning zaif zonalari, tuproqning mexanik tarkibi, yog'in rejimi, antropogen yuklama (dala yo'llari, sug'orish tarmoqlari) ko'pincha alohida qatlam sifatida kiritiladi va aniqlikni oshiradi. Bizning ishda esa ataylab faqat DEMdan olingan uchta “qolip” omil bilan cheklanildi; natijada model yaxshi umumiy manzarani beradi, lekin lokal, mayda masshtabli jar o'choqlarini ba'zan past baholashi mumkin.

Adabiyotlar fonida qaralganda, Toshkent viloyati uchun qo'llangan Weighted Overlay modeli ikki jihatdan e'tiborga loyiq. Birinchidan, u ma'lumotlar bo'yicha nisbatan kam talabi tufayli O'zbekiston kabi ma'lumotlar bazasi hanuz to'liq shakllanmagan hududlarda ham aniq ishlaydi. Ko'plab mashinaviy o'qitish modellarida (Random Forest, Gradient Boosting, ansambl yondashuvlari) yuqori aniqlik evaziga katta hajmdagi sifatli o'quv ma'lumotlar, zich inventar xaritalar, batafsil geologiya va tuproq qatlamlari talab qilinadi. Amaliyotda bunday ma'lumotlar hamma viloyatlar bo'yicha bir xilda mavjud emas.

Ikkinchidan, Weighted Overlay natijalarini talqin qilish juda oson: mutaxassis ham, amaliyotchi muhandis ham qiyalik va oqimning yuqori bo'lgan zonasi nega “qizil” rangga tushganini tushunadi. Bu – murakkab “qora quti” modelga qaraganda boshqaruv qarorlarini qabul qilishda ishonchni oshiradi. Masalan, tog' oldi adirlarida qiyalik va drenaj birgalikda yuqori ball olgani uchun model bu hududlarni xavfli deb belgilaydi; bu esa landshaft yondashuviga tayangan dala kuzatuvlari bilan hamohang.

Biroq bunday soddalashtirilgan modelning zaif tomoni ham bor. U yog'in intensivligi, geologik qatlamlarning buziluvchanligi, tuproq strukturasi, yerdan foydalanish dinamikasi kabi “ikkinchi darajali”, lekin ko'p hollarda hal qiluvchi bo'lib qoladigan omillarni faqat bilvosita, qiyalik va oqim orqali “ushlab oladi”. Shu sababli model o'zini yaxshi ko'rsatganiga qaramay, ayrim kichik jarliklar past xavf sinfida qolgan; ba'zi potensial xavfli zonalarda esa hozircha jar shaklida namoyon bo'lmagan bo'lishi mumkin. Kelgusida ma'lumotlar bazasi kengaygani sari ushbu indeks modeliga tuproq, litologiya, yer qoplamini va antropogen qatlamlarni izchil qo'shish maqsadga muvofiq bo'ladi.

Natijalar jar eroziyasi faqat tabiiy relefga emas, balki sug'orish va yer resurslaridan foydalanish uslubiga ham qattiq bog'liqligini ko'rsatdi. Toshkent viloyatining bir qator tumanlarida (Bekobod, Bo'ka, Piskent, Oqqo'rg'on, Ohangaron va boshqalar) irrigatsion eroziya, suffoziya va sho'rlanish jarayonlari jar eroziyasi bilan bir maydonda “to'qnashib”, murakkab degradatsiya markazlarini shakllantirib yubormoqda. Bu manzara xalqaro adabiyotda ta'riflangan “tabiiy–antropogen sinergiya” holatiga juda o'xshaydi: yerning noto'g'ri haydalishi, dalalararo yo'llar va ariqlarning nishablikka nisbatan asossiz joylashtirilishi, irrigatsiya me'yoriga rioya qilinmasligi jaramosfera – ya'ni, jarlar tarmog'i bilan qoplangan landshaftlar paydo bo'lishini tezlashtiradi.

Model shu jihatdan ham foydalidirki, u tog' oldi adirlari bilan cheklanib qolmay, sug'oriladigan tekisliklarda ham potensial xavfli zonalarini ajratib ko'rsatadi. Qiyalik rasteri tekislikda ham butunlay “no” emas; irrigatsion suv oqimi yo'nalishi, yer qoplamini va tuproq zichligidagi farqlar bilan birga qaralganda, ayrim tekis zonalarda chiziqli eroziya boshlanishi ehtimoli paydo bo'ladi. Agar bu hududlar sug'orish rejimi va agrotexnika bilan nazorat qilinmasa, biroz vaqtdan so'ng mayda va yirik jarlar paydo bo'lishi mumkin. Shuning uchun modele faqat “tog'lar va jarlar xaritasi” sifatida emas, balki meliorativ boshqaruv uchun ham ogohlantiruvchi vosita sifatida qarash maqsadga muvofiq.

Mazkur tadqiqotning ilmiy tomoni shundaki, Toshkent viloyati miqyosida jar eroziyasi xavfi birinchi marta DEMga asoslangan soddaga, lekin miqdoriy kalibrlangan Weighted Overlay modeli yordamida baholanib, natijalar mustaqil jar inventar xaritasi bilan tizimli ravishda taqqoslandi. Google Earth Pro tasvirlaridan foydalangan holda jarliklarni raqamlashtirish va bu inventarni ArcGIS Pro modeli bilan ustma-ust qo'yib, moslik foizlarini hisoblash – xalqaro tajribadagi “inventory–susceptibility” juftligi yondashuvini mahalliy sharoitga moslashtirishga imkon berdi. Yer usti tasvirlari va DEM asosidagi modelni bir-biriga “tikib qo'yish” natijasida geomorfologik qonuniyatlar nafaqat sifat jihatdan, balki aniq foiz va ulushlar orqali ham ifodalandi.

Amaliy jihatdan qaralganda, jar eroziyasi xavfi xaritasi:

1. jarlar eng tez o'sishi mumkin bo'lgan tog' oldi zonalarini ustuvor ravishda meliorativ chora-tadbirlar rejalariga kiritish;

GEOGRAFIYA

2. yo'l, kollektor-drenaj va boshqa infratuzilma loyihalarini rejalashtirishda "yuqori xavf" zonalaridan imkon qadar chetlab o'tish yoki maxsus himoya inshootlarini ko'zda tutish;

3. buzilgan yerlarni tiklash loyihalarida o'simlik qoplami va tuproqni mustahkamlash bo'yicha tadbirlarni joylashtirishda landshaft yondashuvini kuchaytirish uchun asosiy kartografik baza bo'lib xizmat qilishi mumkin. Model sodda bo'lgani uchun uni boshqa viloyatlar uchun ham qisqa vaqt ichida moslashtirish va jar eroziyasi xavfi bo'yicha respublika miqyosidagi integrallashgan baholash tizimini yaratish mumkin.

XULOSA

Xulosa qilib aytganda, tadqiqot natijalari Toshkent viloyatida jar eroziyasi xavfi geomorfologik skelet (qiyalik–oqim–ekspozitsiya) bilan bir qatorda irrigatsion va boshqa antropogen omillar ta'sirida shakllanayotganini ko'rsatadi. DEMga asoslangan Weighted Overlay modeli va Google Earth Pro inventar xaritasining yuqori darajadagi mosligi esa, bunday soddalashtirilgan yondashuv ham ilmiy izlanishlar, ham hududiy rejalashtirish amaliyotida ishonchli vosita bo'la olishini tasdiqlaydi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Aboutaib F., Arabameri A., Hssaisoune M., Rachid R., Boudad L., Pradhan B., Avand M., Tiefenbacher J.P. Evaluating the effectiveness and robustness of machine learning models with varied geo-environmental factors for determining vulnerability to water flow-induced gully erosion // *Frontiers in Environmental Science*. – 2023. – Vol. 11. – Art. 1207027. – DOI: 10.3389/fenvs.2023.1207027.
2. Amiri M., Pourghasemi H.R., Ghanbarian G.A., Afzali S.F. Assessment of the importance of gully erosion effective factors using Boruta algorithm and its spatial modelling and mapping using three machine learning algorithms // *Geoderma*. – 2019. – Vol. 340. – P. 55–69. – DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.12.042.
3. Aouragh M.H., El Jazouli A., Barakat A., El Baghdadi M., Khellouk R., Ettaqy A., Teodoro A.C. Remote sensing and GIS-based machine learning models for spatial gully erosion prediction: A case study of Rdat watershed in Sebou basin, Morocco // *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. – 2023. – Vol. 30. – Art. 100939. – DOI: 10.1016/j.rsase.2023.100939.
4. Arabameri A., Pradhan B., Lombardo L. Comparative assessment using boosted regression trees, binary logistic regression, frequency ratio and numerical risk factor for gully erosion susceptibility modelling // *Catena*. – 2019. – Vol. 183. – Art. 104223. – DOI: 10.1016/j.catena.2019.104223.
5. Arabameri A., Cerda A., Pradhan B., Tiefenbacher J.P., Lombardo L., Bui D.T. A methodological comparison of head-cut based gully erosion susceptibility models: Combined use of statistical and artificial intelligence // *Geomorphology*. – 2020. – Vol. 359. – Art. 107136. – DOI: 10.1016/j.geomorph.2020.107136.
6. Avand M., Janizadeh S., Naghibi S.A., Pourghasemi H.R., Khosrobeigi Bozchaloei S., Blaschke T. A comparative assessment of Random Forest and k-Nearest Neighbor classifiers for gully erosion susceptibility mapping // *Water*. – 2019. – Vol. 11, No. 10. – Art. 2076. – DOI: 10.3390/w11102076.
7. Conoscenti C., Di Maggio C., Rotigliano E. Gully erosion susceptibility assessment by means of GIS-based logistic regression: A case of Sicily (Italy) // *Geomorphology*. – 2014. – Vol. 204. – P. 399–411. – DOI: 10.1016/j.geomorph.2013.08.021.
8. Conoscenti C., Agnesi V., Cama M., Caraballo-Arias N.A., Rotigliano E. Assessment of gully erosion susceptibility using multivariate adaptive regression splines and accounting for terrain connectivity // *Land Degradation & Development*. – 2018. – Vol. 29, No. 3. – P. 724–736. – DOI: 10.1002/ldr.2772.
9. Javidan N., Kaviani A., Pourghasemi H.R., Conoscenti C., Jafarian Z. Gully erosion susceptibility mapping using multivariate adaptive regression splines-replications and sample size scenarios // *Water*. – 2019. – Vol. 11, No. 11. – Art. 2319. – DOI: 10.3390/w11112319.
10. Lei X., Chen W., Avand M., Janizadeh S., Kariminejad N., Shahabi H., Costache R., Shirzadi A., Mosavi A. GIS-based machine learning algorithms for gully erosion susceptibility mapping in a semi-arid region of Iran // *Remote Sensing*. – 2020. – Vol. 12, No. 15. – Art. 2478. – DOI: 10.3390/rs12152478.
11. Liu C., Wang J., Li Z., Zhao G., Gao J., Zhang Q., Li H., Cheng M., Zhang S. Gully erosion susceptibility assessment based on machine learning: A case study of watersheds in Tuquan County in the black soil region of Northeast China // *Catena*. – 2023. – Vol. 222. – Art. 106798. – DOI: 10.1016/j.catena.2022.106798.
12. Rahmati O., Haghighizadeh A., Pourghasemi H.R., Noormohamadi F. Gully erosion susceptibility mapping: The role of GIS-based bivariate statistical models and their comparison // *Natural Hazards*. – 2016. – Vol. 82, No. 2. – P. 1231–1258. – DOI: 10.1007/s11069-016-2239-7.
13. Saha S., Roy J., Arabameri A., Blaschke T., Bui D.T. Machine learning-based gully erosion susceptibility mapping: A case study of Eastern India // *Sensors*. – 2020. – Vol. 20, No. 5. – Art. 1313. – DOI: 10.3390/s20051313.
14. Tien Bui D., Shirzadi A., Shahabi H., Chapi K., Khaledi Darvishan A., Pham B.T., Chen W., Khosravi K., Pradhan B., Panahi M., Lee S. A novel ensemble artificial intelligence approach for gully erosion mapping in a semi-arid watershed (Iran) // *Sensors*. – 2019. – Vol. 19, No. 11. – Art. 2444. – DOI: 10.3390/s19112444.
15. Titti G., Camici S., Brocca L. Cloud-based interactive susceptibility modeling of gully erosion in Google Earth Engine // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. – 2022. – Vol. 115. – Art. 103089. – DOI: 10.1016/j.jag.2022.103089.

16. Yang A., Wang C., Pang G., Long Y., Wang L., Cruse R.M., Yang Q. Gully erosion susceptibility mapping in highly complex terrain using machine learning models // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. – 2021. – Vol. 10, No. 10. – Art. 680. – DOI: 10.3390/ijgi10100680.