



SUG‘ORILADIGAN YERLARNING MELIORATIV HOLATINI RAQAMLI MONITORING QILISH: GIS, MASOFADAN ZONDLASH VA SUN’IY INTELLEKT IMKONIYATLARI

Bozorov Ma’ruffjon Abdumalik o‘g‘li

QMKFB Suv kadastrı muhandisi

Tel.: +99893-903-42-82

maruffjonbozorov2@gmail.com

Narzullayev Quvonchbek Dilshod o‘g‘li

Qarshi davlat texnika universiteti talabasi

Tel.: +99894-339-02-11

Beg‘amov Oybek Davron o‘g‘li

Qarshi davlat texnika universiteti magistranti

Tel.: +99890-666-29-70

Annotatsiya. Mazkur maqolada sug‘oriladigan yerlarning meliorativ holatini zamonaviy raqamli texnologiyalar asosida monitoring qilishning ilmiy-amaliy imkoniyatlari tahlil qilinadi. Sug‘orma dehqonchilik hududlarida tuproq sho‘rlanishi, sizot suvlari sathining ko‘tarilishi, kollektor-drenaj tarmoqlarining samaradorligi pasayishi va suv resurslaridan samarasiz foydalanish yerlarning meliorativ holatiga ta’sir ko‘rsatuvchi asosiy omillardan hisoblanadi. An’anaviy dala kuzatuvlari ushbu jarayonlarni aniqlashda muhim ahamiyatga ega bo‘lsa-da, katta hududlarda tezkor va uzluksiz monitoring olib borishda geografik axborot tizimlari (GIS), masofadan zondlash ma’lumotlari va sun’iy intellekt algoritmlaridan kompleks foydalanish yuqori samaradorlikni ta’minlaydi. Maqolada Sentinel va Landsat sun’iy yo‘ldosh ma’lumotlari, spektral indekslar, evapotranspiratsiya ko‘rsatkichlari, sizot suvlari va tuproqning elektr o‘tkazuvchanligi bo‘yicha dala ma’lumotlarini yagona GIS muhitida integratsiyalash imkoniyatlari ko‘rib chiqilgan. Shuningdek, Random Forest, Support Vector Machine va sun’iy neyron



tarmoqlari asosida meliorativ holatni tasniflash, shoʻrlanish xavfini prognozlash hamda muammoli maydonlarni erta aniqlashning istiqbollari yoritilgan. Oʻzbekiston sharoitida “dala kuzatuv – sunʼiy yoʻldosh – GIS – sunʼiy intellekt – boshqaruv qarori” tamoyiliga asoslangan yagona raqamli monitoring tizimini shakllantirish boʻyicha takliflar ishlab chiqilgan.

Аннотация. В статье рассматриваются научно-практические возможности мониторинга мелиоративного состояния орошаемых земель на основе современных цифровых технологий. Засоление почв, повышение уровня грунтовых вод, снижение эффективности коллекторно-дренажных систем и нерациональное использование водных ресурсов являются одними из основных факторов ухудшения мелиоративного состояния земель в условиях орошаемого земледелия. Несмотря на важность традиционных полевых наблюдений, для оперативного и непрерывного мониторинга крупных территорий особое значение приобретает комплексное применение геоинформационных систем (GIS), данных дистанционного зондирования Земли и алгоритмов искусственного интеллекта. Рассмотрены возможности интеграции спутниковых данных Sentinel и Landsat, спектральных индексов, показателей эвапотранспирации, уровня грунтовых вод и данных электропроводности почвы в единой GIS-среде. Особое внимание уделено применению алгоритмов Random Forest, Support Vector Machine и искусственных нейронных сетей для классификации мелиоративного состояния, прогнозирования риска засоления и раннего выявления проблемных территорий. Предложен концептуальный подход к формированию в условиях Узбекистана единой цифровой системы мониторинга по принципу «полевые наблюдения – спутниковые данные – GIS – искусственный интеллект – управленческое решение».

Ключевые слова: орошаемые земли, мелиоративное состояние, засоление почв, GIS, дистанционное зондирование, Sentinel-2, Landsat,



грунтовые воды, искусственный интеллект, Random Forest, цифровой мониторинг.

Abstract. This article examines the scientific and practical potential of modern digital technologies for monitoring the reclamation condition of irrigated lands. Soil salinity, rising groundwater levels, insufficient performance of collector-drainage systems and inefficient use of water resources are among the major factors affecting irrigated agricultural lands. Although conventional field observations remain essential, integrated application of Geographic Information Systems (GIS), remote sensing data and artificial intelligence algorithms offers substantial advantages for rapid and continuous monitoring over large territories. The paper considers the integration of Sentinel and Landsat satellite imagery, spectral indices, evapotranspiration indicators, groundwater observations and soil electrical conductivity measurements within a unified GIS environment. Particular attention is paid to the application of Random Forest, Support Vector Machine and artificial neural network algorithms for classifying reclamation conditions, predicting salinity risks and identifying potentially problematic areas at an early stage. A conceptual digital monitoring framework based on the principle of “field observations – satellite data – GIS – artificial intelligence – management decision” is proposed for irrigated agriculture in Uzbekistan.

Keywords: irrigated lands, land reclamation, soil salinity, GIS, remote sensing, Sentinel-2, Landsat, groundwater, evapotranspiration, artificial intelligence, Random Forest, digital monitoring.

Kirish

Sug'orma dehqonchilik qurg'oqchil va yarim qurg'oqchil mintaqalarda qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishining barqarorligini ta'minlovchi asosiy omillardan biridir. Shu bilan birga, sug'orish jarayonining noto'g'ri tashkil etilishi, ortiqcha suv berilishi, tabiiy va sun'iy drenaj sharoitining qoniqarsizligi hamda sizot suvlari



sathining yer yuzasiga yaqinlashishi ikkilamchi sho‘rlanish va botqoqlanish jarayonlarini tezlashtirishi mumkin. Natijada tuproq unumdorligi pasayadi, ekinlarning suv va oziqa moddalarini o‘zlashtirishi qiyinlashadi va qishloq xo‘jaligi ishlab chiqarishining iqtisodiy samaradorligi kamayadi.

Bu muammo Markaziy Osiyo, jumladan, O‘zbekiston uchun alohida ahamiyatga ega. Orol dengizi havzasida olib borilgan tadqiqotlarda sug‘oriladigan yerlardagi sho‘rlanish jarayonlari sizot suvlari sathi va mineralizatsiyasi, kollektor-drenaj tizimlarining holati, relyef hamda sug‘orish rejimi bilan uzviy bog‘liqligi qayd etilgan. Sirdaryo viloyati misolida o‘tkazilgan tadqiqotlar ham dala va laboratoriya kuzatuvlarini GIS texnologiyalari bilan integratsiyalash sho‘rlanishning makon va vaqt bo‘yicha o‘zgarishini aniqlash imkonini berishini ko‘rsatgan.

An‘anaviy meliorativ monitoring asosan kuzatuv quduqlaridagi sizot suvlari sathi va mineralizatsiyasini o‘lchash, tuproq namunalarini olish, laboratoriya tahlillari, kollektor-drenaj oqimini kuzatish hamda dala tekshiruvlariga asoslanadi. Ushbu usullar yuqori aniqlikdagi nuqtaviy ma’lumot beradi. Biroq minglab gektar maydonning meliorativ holatini qisqa vaqt oralig‘ida baholash uchun faqat nuqtaviy kuzatuvlarga tayanish yetarli emas.

Shu sababli zamonaviy yondashuv an‘anaviy monitoringni bekor qilish emas, balki uni **GIS, masofadan zondlash va sun‘iy intellekt bilan kuchaytirish**dan iborat bo‘lishi lozim.

GIS – meliorativ monitoringning yagona axborot muhiti

Geografik axborot tizimi meliorativ monitoringda turli manbalardan kelayotgan ma’lumotlarni yagona koordinatalangan axborot muhitiga birlashtirish imkonini beradi. Bunda har bir dala konturi, kuzatuv qudug‘i, kollektor va drenaj tarmog‘i, kanal, gidrotexnika inshooti hamda muammoli yer maydoni raqamli xaritada alohida obyekt sifatida aks ettiriladi.

Masalan, GIS bazasiga quyidagi ma’lumotlarni kiritish mumkin: tuproq sho‘rlanish darajasi; sizot suvlarining sathi va mineralizatsiyasi; tuproqning mexanik tarkibi;



kollektor-drenaj tarmoqlarining joylashuvi va texnik holati; sugʻorish tarmoqlari; ekin turlari; yer relyefi; sugʻorish meʼyorlari; hosildorlik va sunʼiy yoʻldoshdan olingan vegetatsiya koʻrsatkichlari.

Bu maʼlumotlar birlashtirilganda oddiy statistik jadvaldan farqli ravishda **makoniy bogʻlanishlar** aniqlanadi. Masalan, sizot suvlari 1,5–2,0 metr chuqurlikda joylashgan hududlarda vegetatsiya indeksining pasayishi yoki kollektor-drenaj tarmogʻidan uzoqlashgan sari shoʻrlanish xavfining oshishi kabi qonuniyatlarni xaritada kuzatish mumkin.

Sirdaryo viloyatida oʻtkazilgan ilmiy tadqiqotda dala va laboratoriya maʼlumotlari asosida GISning IDW (Inverse Distance Weighting) interpolatsiya usulidan foydalanib tuproq shoʻrlanish xaritalari tuzilgan. Tadqiqot natijalari GIS texnologiyalarini anʼanaviy monitoring bilan birlashtirish sugʻoriladigan yerlarning shoʻrlanish dinamikasini baholashda katta imkoniyatga ega ekanini koʻrsatgan.

Demak, GIS faqat xarita yaratish vositasi emas. U meliorativ holatga taʼsir etuvchi omillar oʻrtasidagi bogʻliqlikni tahlil qilish va boshqaruv qarorlarini hududiy jihatdan aniq yoʻnaltirish imkonini beruvchi **raqamli boshqaruv platformasi** hisoblanadi.

Masofadan zondlash: yer holatini kosmosdan kuzatish

Masofadan zondlash texnologiyalarining asosiy ustunligi katta hududlarni muntazam ravishda kuzatish imkoniyatidir. Landsat va Sentinel kabi sunʼiy yoʻldosh tizimlari yordamida olingan multispektral tasvirlarda yer yuzasining turli elektromagnit diapazonlardagi qaytarish xususiyatlari qayd etiladi.

Ayniqsa, **Sentinel-2** maʼlumotlarining yuqori fazoviy aniqligi qishloq xoʻjaligi maydonlarini konturlar boʻyicha kuzatish uchun qulaydir. Landsat arxivi esa uzoq yillik dinamikani tahlil qilish imkonini beradi. Bu ikki maʼlumot manbasini birgalikda qoʻllash orqali meliorativ jarayonlarning ham joriy holati, ham koʻp yillik tendensiyasini oʻrganish mumkin.



Sun'iy yo'ldosh tasvirlaridan bir qator spektral indekslar hisoblanadi. Eng mashhur ko'rsatkichlardan biri **NDVI – Normalized Difference Vegetation Index** bo'lib:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

formula orqali aniqlanadi.

Bu yerda NIR – yaqin infraqizil diapazondagi, RED esa qizil diapazondagi qaytish qiymatidir.

NDVI to'g'ridan-to'g'ri tuproq sho'rlanishini o'lchamaydi. Biroq sho'rlanish va suv rejimidagi buzilishlar o'simlik rivojlanishiga ta'sir qilgani sababli vegetatsiya dinamikasidagi anomal pasayishlar meliorativ muammolar mavjudligini ko'rsatuvchi bilvosita indikator bo'lishi mumkin. Shu sababli NDVI ma'lumotlarini sizot suvlari, tuproq elektr o'tkazuvchanligi va boshqa dala ko'rsatkichlari bilan birgalikda tahlil qilish muhimdir.

Bundan tashqari, turli **Salinity Index (SI)** ko'rsatkichlari tuproq sho'rlanishini masofadan baholashda qo'llanmoqda. Masalan, sug'oriladigan hudud bo'yicha olib borilgan bir tadqiqotda sun'iy yo'ldosh spektral indeksleri bilan dala sharoitida aniqlangan tuproq elektr o'tkazuvchanligi (ECe) o'rtasidagi bog'liqlik o'rganilgan va Salinity Index asosidagi modelda **R²=0,78** darajasidagi natija olingan. Bu masofadan zondlash texnologiyalarining sho'rlanishning fazoviy tarqalishini aniqlashda sezilarli salohiyatga ega ekanligini ko'rsatadi.

Biroq bunday ko'rsatkichlarni O'zbekistonning barcha hududlariga bir xil koeffitsiyentlar bilan to'g'ridan-to'g'ri tatbiq qilish ilmiy jihatdan to'g'ri emas. Chunki spektral qaytish tuproq turi, namlik, o'simlik qoplami, sho'r tarkibi va tasvir olingan mavsumga bog'liq. Shuning uchun har bir hudud uchun dala o'lchovlari asosida mahalliy kalibrlash zarur.

1-jadval.

№	Monitoring ko'rsatkichi	Ma'lumot manbai / texnologiya	Asosiy parametr	Meliorativ monitoringdagi ahamiyati
---	-------------------------	-------------------------------	-----------------	-------------------------------------



1.	Tuproq sho'rlanishi	Dala va laboratoriya tahlillari	ECe, dS/m	Tuproqdagi eruvchan tuzlar miqdorini aniqlash va sho'rlanish darajasini baholash
2.	Sizot suvlari sathi	Kuzatuv quduqlari, piezometrlar	Chuqurlik, m	Sizot suvlarining kritik sathga yaqinlashishini aniqlash
3.	Sizot suvlari mineralizatsiyasi	Laboratoriya tahlili	g/l	Ikkilamchi sho'rlanish xavfini baholash
4.	Vegetatsiya holati	Sentinel-2, Landsat	NDVI	Ekinlarning rivojlanishi va stress holatini fazoviy baholash
5.	Tuproq sho'rlanishining spektral belgilari	Sentinel-2, Landsat	SI va boshqa sho'rlanish indeksleri	Sho'rlanish ehtimoli yuqori bo'lgan maydonlarni masofadan aniqlash
6.	Tuproq va o'simlik namligi	Sentinel-2 va boshqa masofadan zondlash ma'lumotlari	NDMI va boshqa namlik indeksleri	Suv tanqisligi yoki ortiqcha namlanish belgilarini aniqlash
7.	Evapotranspiratsiya	FAO WaPOR va masofadan zondlash	ETa, mm/kun yoki mm/mavsum	Ekinlarning haqiqiy suv sarfini va sug'orish



				samaradorligini baholash
8.	Yer yuzasi harorati	Landsat termal ma'lumotlari	LST, °C	Suv stressi va namlik tanqisligi mavjud maydonlarni aniqlash
9.	Kollektor-drenaj tarmog'i holati	GIS, dala kuzatuvlari	Joylashuvi, zichligi, texnik holati	Drenaj samaradorligi va meliorativ muammolar o'rtasidagi fazoviy bog'liqlikni aniqlash
10.	Yer relyefi	DEM, GIS	Balandlik, nishablik	Suv to'planishi va sho'rlanish xavfi yuqori hududlarni aniqlash
11.	Ko'p yillik meliorativ dinamika	Landsat arxivi, GIS	Vaqt qatori	Sho'rlanish, vegetatsiya va namlikning yillar bo'yicha o'zgarishini baholash
12.	Meliorativ xavf darajasi	Random Forest, SVM, XGBoost, ANN	Xavf sinfi yoki ehtimollik, %	Muammoli maydonlarni avtomatik tasniflash va ustuvor hududlarni belgilash

Sug'oriladigan yerlarning meliorativ holatini raqamli monitoring qilishda qo'llaniladigan asosiy ko'rsatkichlar va texnologiyalar.



Izoh: ECe — tuproq toʻyingan eritmasining elektr oʻtkazuvchanligi; NDVI — Normalized Difference Vegetation Index; NDMI — Normalized Difference Moisture Index; SI — Salinity Index; ETa — haqiqiy evapotranspiratsiya; LST — Land Surface Temperature; DEM — Digital Elevation Model; GIS — Geographic Information System; SVM — Support Vector Machine; ANN — Artificial Neural Network.

Evapotranspiratsiyani raqamli monitoring qilish

Sugʻoriladigan yerlarning meliorativ holatini baholash faqat shoʻrlanishni aniqlash bilan cheklanmaydi. Dalaga berilgan suvning qancha qismi oʻsimlik va tuproq orqali atmosferaga qaytayotgani, yaʼni haqiqiy evapotranspiratsiya (ETa) ham suv boshqaruvida muhim koʻrsatkichdir.

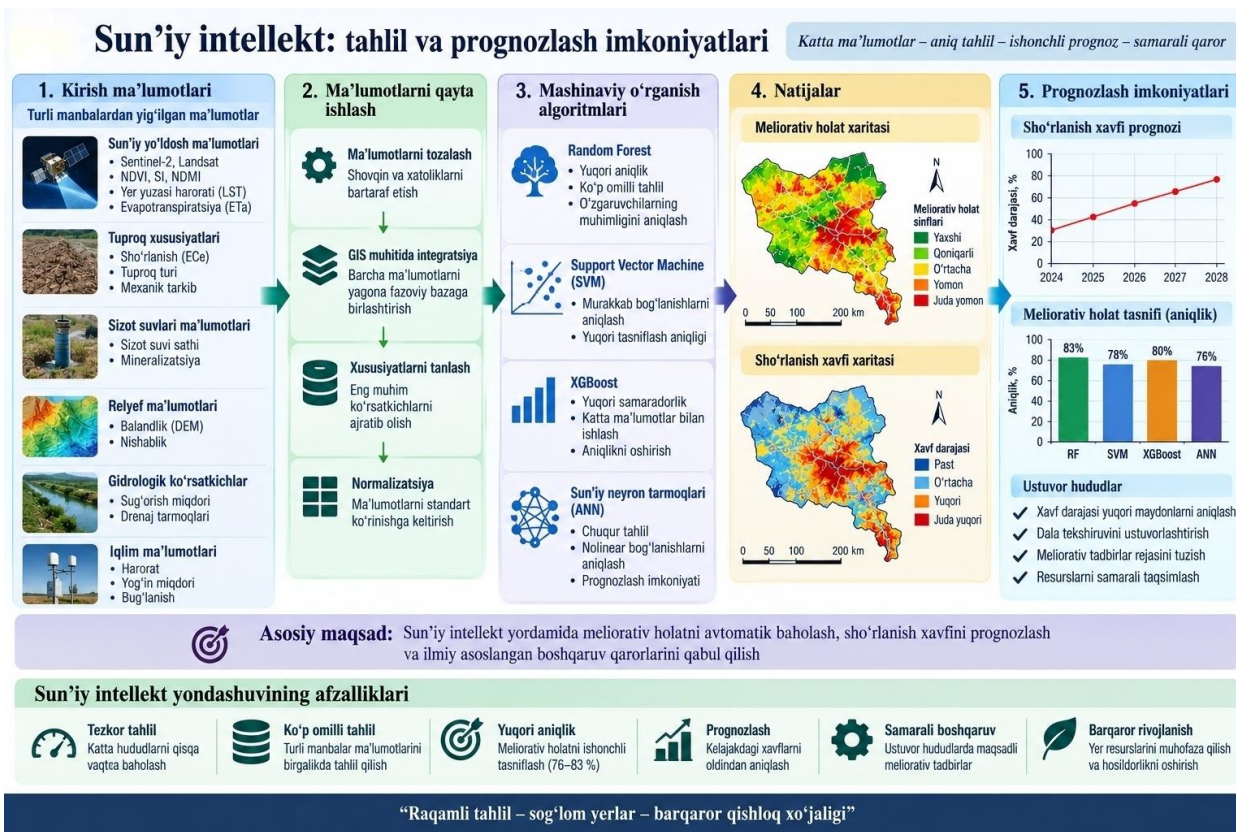
FAO tomonidan ishlab chiqilgan **WaPOR** tizimi sunʼiy yoʻldosh maʼlumotlari asosida qishloq xoʻjaligi suv mahsuldorligini monitoring qilish imkonini beradi. WaPOR orqali haqiqiy evapotranspiratsiya, biomassa, yer va suv mahsuldorligi kabi koʻrsatkichlarni fazoviy tahlil qilish mumkin. FAO maʼlumotlariga koʻra, WaPORning global darajadagi maʼlumotlari 300 metr, milliy va havza darajasidagi ayrim mahsulotlari 100 metr, irrigatsiya tizimi va kichik havza miqyosidagi ayrim mahsulotlari esa 20 metr fazoviy aniqlikda taqdim etiladi.

FAO 2026-yilda Tunisning Jendouba hududida kunlik 10 metrlik evapotranspiratsiya maʼlumotlarining sugʻorish boʻyicha tavsiyalarni yaxshilash imkoniyatlarini ham sinovdan oʻtkazgan. Bu masofadan zondlash texnologiyalarining oddiy xaritalashdan real vaqtga yaqin sugʻorish boshqaruvi tomon rivojlanayotganini koʻrsatadi.

Mazkur yondashuv Oʻzbekiston sharoitida ham istiqbolli. Masalan, bir xil ekin yetishtirilayotgan qoʻshni dalalarda ETa qiymatlari keskin farq qilsa, bu sugʻorish taqsimoti, tuproq namligi, shoʻrlanish yoki ekin rivojlanishidagi muammoni koʻrsatishi mumkin.



Sun'iy intellekt – monitoringdan prognozlashga o'tish



GIS bizga “muammo qayerda?”, masofadan zondlash “hududda qanday o'zgarish yuz bermoqda?” degan savollarga javob berishga yordam bersa, sun'iy intellekt texnologiyalari “kelajakda qayerda muammo yuzaga kelishi mumkin?” degan savolga javob topish imkoniyatini oshiradi.

Sun'iy intellekt modeliga quyidagi ko'rsatkichlarni kiritish mumkin:

$X = \{\text{NDVI, SI, ETa, sizot suvi sathi, mineralizatsiya, ECe, relyef, drenaj masofasi, sug'orish miqdori, tuproq turi}\}.$

Modelning chiqish qiymati esa, masalan:

$$Y = \text{meliorativ holat sinfi}$$

ko'rinishida belgilanadi.

Natijada har bir yer maydoni “yaxshi”, “qoniqarli”, “qoniqarsiz” yoki “kritik xavf ostida” kabi toifalarga ajratilishi mumkin.



Bunda **Random Forest (RF)** algoritmi alohida istiqbolga ega. O‘zbekiston sharoitida olib borilgan tadqiqotda 2008–2011-yillardagi dala kuzatuvlari, Landsat tasvirlari, sizot suvlari, relyef va tuproq parametrlaridan foydalanib Random Forest modeli sinovdan o‘tkazilgan. Faqat bir vaqtli masofadan zondlash ma’lumotlaridan foydalanilganda R^2 0,10–0,18 oralig‘ida bo‘lgan bo‘lsa, ko‘p vaqtli tasvirlarda u 0,29–0,45 gacha, masofadan zondlash ma’lumotlari ekologik parametrlar bilan birlashtirilganda esa **R^2 0,36–0,50** gacha oshgan. Sho‘rlanish sinflarini aniqlashning umumiy aniqligi **76–83 foiz** oralig‘ida qayd etilgan.

Bu natija juda muhim ilmiy xulosani beradi: **sun‘iy yo‘ldosh tasvirining o‘zi yetarli emas; eng yuqori natija kosmik, dala, gidrogeologik va topografik ma’lumotlarni birlashtirish orqali olinadi.**

Random Forest bilan bir qatorda Support Vector Machine (SVM), Gradient Boosting, XGBoost va sun‘iy neyron tarmoqlaridan foydalanish mumkin. Katta hajmdagi tarixiy ma’lumotlar shakllangach, chuqur o‘rganish – Deep Learning usullarini ham qo‘llash istiqbollidir.

O‘zbekiston uchun integratsiyalashgan raqamli monitoring modeli

Sug‘oriladigan yerlarni monitoring qilishning istiqbolli tizimi beshta o‘zaro bog‘langan bosqichdan tashkil topishi mumkin:

1-bosqich–dala monitoringi

Kuzatuv quduqlarida sizot suvlari sathi va mineralizatsiyasi o‘lchanadi, tuproq namunalari olinadi, ECe aniqlanadi, kollektor-drenaj tarmoqlarining texnik holati qayd etiladi.

2-bosqich–masofadan zondlash.

Sentinel-2, Landsat va boshqa sun‘iy yo‘ldosh manbalaridan NDVI, sho‘rlanish indeksleri, namlik ko‘rsatkichlari, yer yuzasi harorati va vegetatsiya dinamikasi olinadi.

3-bosqich – GIS integratsiyasi.



Barcha ma'lumotlar yagona geoma'lumotlar bazasiga joylashtirilib, dala konturlari bo'yicha tahlil qilinadi.

4-bosqich – sun'iy intellekt tahlili.

Tarixiy ma'lumotlar asosida model o'qitilib, meliorativ holat tasniflanadi va sho'rlanish xavfi prognoz qilinadi.

5-bosqich – boshqaruv qarori.

Tizim avtomatik ravishda “xavf xaritasi”ni yaratadi va mutaxassisga qaysi hududda dala tekshiruvini kuchaytirish, kollektorni tozalash, sizot suvini kuzatish yoki sug'orish rejimini qayta ko'rib chiqish zarurligini ko'rsatadi.

Buni quyidagi konseptual zanjir orqali ifodalash mumkin:

DALA MA'LUMOTLARI → SUN'IY YO'LDOSH → GIS → SUN'IY INTELEKT → XAVF XARITASI → MELIORATIV TADBIR → QAYTA MONITORING

Mazkur tizimning eng muhim afzalligi shundaki, monitoring **reaktiv boshqaruvdan proaktiv boshqaruvga** o'tadi. Ya'ni muammo kuchaygandan keyin uni bartaraf etishga mablag' sarflash o'rniga, salbiy jarayonning dastlabki belgilari aniqlanib, oldindan chora ko'riladi.

Raqamli “meliorativ pasport” konsepsiyasi

Kelajakda har bir sug'oriladigan dala konturi uchun raqamli **“meliorativ pasport”** yaratish maqsadga muvofiq.

Uning tarkibida dala konturining koordinatasi va maydoni, ekin turi, tuproq tipi, sho'rlanish darajasi, sizot suvi sathi, sizot suvining mineralizatsiyasi, drenaj bilan ta'minlanganlik, oxirgi meliorativ tadbir, NDVI dinamikasi, ETa, suv ta'minoti hamda sun'iy intellekt tomonidan hisoblangan xavf darajasi aks ettirilishi mumkin. Masalan:

Dala №125 → sho'rlanish xavfi: 82% → ustuvorlik: yuqori

Tizim buning sabablarini ham ko'rsatishi mumkin:

- NDVI uch yil davomida pasaymoqda;



- Sizot suvi sathi kritik chuqurlikka yaqinlashgan;
- Kollektor-drenaj tizimining ta'siri yetarli emas;
- Spektral sho'rlanish ko'rsatkichi oshgan.

Shunda mutaxassis minglab gektar hududni bir xil darajada tekshirish o'rniga, birinchi navbatda xavf darajasi yuqori bo'lgan konturlarga chiqadi.

Bu inson omilini butunlay chiqarib tashlamaydi. Aksincha, mutaxassisning dala tajribasi va sun'iy intellekt hisob-kitoblari bir-birini to'ldiradi.

Raqamli monitoring texnologiyalarining rivojlanishi melioratsiya tizimida yangi imkoniyatlarni ochmoqda. FAOning WaPOR platformasi sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari asosida suv mahsuldorligini ochiq monitoring qilish imkonini bermiqda va platforma ma'lumotlaridan suv boshqaruvi, irrigatsiya rejalashtirish hamda siyosiy qarorlarni qo'llab-quvvatlashda foydalanish mumkin.

Shu bilan birga, masofadan zondlashni "dala o'lchovlarining o'rnini bosuvchi" texnologiya sifatida baholash noto'g'ri bo'ladi. Sun'iy yo'ldosh tuproqning elektr o'tkazuvchanligini laboratoriya usulida o'lchamaydi yoki sizot suvining aniq chuqurligini har bir nuqtada bevosita bermaydi. U yer yuzasidagi spektral va issiqlik o'zgarishlarini qayd etadi. Ushbu ma'lumotlarning meliorativ mazmuni dala kuzatuvlari yordamida kalibrlanadi.

Shuning uchun O'zbekiston uchun eng samarali model **gibrid monitoring tizimi** hisoblanadi:

An'anaviy meliorativ kuzatuv + masofadan zondlash + GIS + sun'iy intellekt.

Bunday integratsiya bir tomondan dala ma'lumotlarining ishonchliligini, ikkinchi tomondan kosmik monitoringning keng hududlarni qamrab olish imkoniyatini birlashtiradi.

Xulosa

Sug'oriladigan yerlarning meliorativ holatini barqaror saqlash qishloq xo'jaligi mahsuldorligi, suv resurslaridan oqilona foydalanish va yer resurslarini kelajak avlodlar uchun muhofaza qilishning muhim shartidir. Iqlim o'zgarishi va suv



tanqisligi kuchayayotgan sharoitda meliorativ monitoring tizimini raqamlashtirish zarurati yanada ortmoqda.

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, GIS texnologiyalari turli manbalardagi ma'lumotlarni yagona fazoviy tizimga birlashtirish, masofadan zondlash katta maydonlarni muntazam kuzatish, sun'iy intellekt esa ushbu ma'lumotlardan yashirin qonuniyatlarni aniqlash va xavflarni prognoz qilish imkonini beradi.

O'zbekiston sharoitida kelajakdagi meliorativ monitoring tizimining asosini **“Dala kuzatuvi – masofadan zondlash – GIS – sun'iy intellekt – boshqaruv qarori”** tamoyili tashkil etishi maqsadga muvofiq.

Buning uchun:

1. Meliorativ kuzatuv quduqlari va kollektor-drenaj tarmoqlarining yagona GIS bazasini shakllantirish;
2. Sentinel va Landsat ma'lumotlari asosida sug'oriladigan yerlarning mavsumiy monitoringini yo'lga qo'yish;
3. Dala sharoitida aniqlangan sho'rlanish va ece ko'rsatkichlari asosida sun'iy yo'ldosh indekslarini hududlar bo'yicha kalibrlash;
4. Evapotranspiratsiya va vegetatsiya dinamikasini suv taqsimoti ma'lumotlari bilan integratsiyalash;
5. Random Forest va boshqa mashinaviy o'rganish algoritmlari yordamida meliorativ xavf xaritalarini yaratish;
6. Har bir sug'oriladigan kontur uchun raqamli meliorativ pasport tizimini bosqichma-bosqich joriy qilish maqsadga muvofiq.

Natijada meliorativ monitoring oddiy statistik hisobot yuritish vositasidan **real vaqtga yaqin ishlaydigan, muammolarni oldindan aniqlaydigan va boshqaruv qarorlarini ilmiy ma'lumotlar bilan ta'minlaydigan raqamli tizimga** aylanishi mumkin.



Foydalanilgan adabiyotlar

1. Sultanov M., Ibrakhimov M., Akramkhanov A., Bauer C., Conrad C. *Modelling end-of-season soil salinity in irrigated agriculture through multi-temporal optical remote sensing, environmental parameters, and in situ information*. Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science, 2019, Vol. 86, pp. 221–233.
2. Kulmatov R., Khasanov S., Odilov S., Li F. *Assessment of the Space-Time Dynamics of Soil Salinity in Irrigated Areas Under Climate Change: a Case Study in Sirdarya Province, Uzbekistan*. 2021.
3. Asfaw E., Suryabhadgavan K.V., Argaw M. *Soil salinity modeling and mapping using remote sensing and GIS: The case of Wonji sugar cane irrigation farm, Ethiopia*. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, Vol. 17(3), pp. 250–258.
4. FAO. *WaPOR – Remote sensing for water productivity*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
5. FAO. *WaPOR Data – Water Productivity through Open-access of Remotely Sensed Derived Data*.
6. FAO. *Testing daily 10 m WaPOR data for improved irrigation in Jendouba, Tunisia*. 2026.
7. FAO AQUASTAT. *WaPOR Database – Geospatial Information for Water and Agriculture*.
8. Singh A. *Managing the salinization and drainage problems of irrigated areas through remote sensing and GIS techniques*. Ecological Indicators, Vol. 89, 2018, pp. 584–589.