



ЕРЛАРНИНГ МЕЛИОРАТИВ ҲОЛАТИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШДА ГАТ (GIS) ТЕХНОЛОГИЯСИ ИМКОНИАТЛАРИ.

Абдумуталиб Сирочов

*АҚХАИ докторанти, Марҳамат агротехнологиялар техникуми махсус
фан ўқитувчиси*

Шавкатбек Мирзаев

Марҳамат агротехнологиялар техникуми махсус фан ўқитувчиси

Аннотация (ўзбекча): Ер-суғориш тизимларида мелиоратив ҳолатни барқарорлаштириш ва унинг ўзгаришини тезкор мониторинг қилиш ҳозирги шароитда суғориладиган ҳудудларнинг барқарор ҳосилдорлигини таъминлашда ҳал қилувчи аҳамиятга эга. Ушбу мақолада геоахборот тизимлари (GIS) ва масофадан зондлаш маълумотларидан комплекс фойдаланиш орқали тупроқ шўрланиши, ер ости сувлари сатҳининг чуқурлиги ва дренаж тармоқлари самарадорлиги каби асосий мелиоратив индикаторларни фазовий-таҳлилий баҳолаш усуллари баён этилган. Методлар қисмида Landsat 8 ва Sentinel-2 оптик тасвирлари, SRTM рақамли рельеф модели, майдонда ўлчанган электр ўтказувчанлик (ЕС) ва грунт суви сатҳи бўйича нуқтавий маълумотлар билан GIS муҳитида тайёрлаш, спектрал индекслар, геостатистик интерполяция (kriging), кўп мезонли баллли вазнлаш (ANP/WLC) ва картографик зонирлаш амалиётлари бир тизимга келтирилади. Натижалар сифатида салинация хавфи хариталари, дренаж тизими “bottleneck” нуқталари, морфометрия ва грунт суви режими омиллари билан шўрланиш ўртасидаги корреляциялар, ҳамда классификация аниқлиги (Confusion Matrix, Карра) кўрсаткичлари тақдим этилади. Муҳокамада усулларнинг афзалликлари, чекловлари, маълумот манбалари сезгирлиги ва мослашувчан параметр танлови муҳокама қилинади. Хулоса ва тавсияларда GIS асосида мелиоратив мониторингни қонун-қоидаларга мос регламентлаш, майдон



тадқиқотлари билан доимий калибровка, очик маълумотлар ва миллий геопорталлардан самарали фойдаланиш, дренаж-суғориш бошқарувида сценарийли қарорларни қўллаб-қувватлаш таклиф этилади. Усул ва ёндашувлар 05.09.06 ихтисослиги чегараларида илмий-амалий қийматга эга бўлиб, мелиоратив менежмент тизимларини рақамлаштиришда ишончли асос яратади.

Калит сўзлар (ўзбекча): GIS, масофадан зондлаш, шўрланиш, дренаж, грунт суви сатҳи, геостатистика, Landsat 8, Sentinel-2, АНР, Карра.

Аннотация (русский): В статье обоснована роль GIS и данных дистанционного зондирования в комплексной оценке мелиоративного состояния орошаемых земель: мониторинг засоления почв, глубины уровня грунтовых вод и эффективности дренажных сетей. Описаны данные (Landsat 8, Sentinel-2, SRTM, полевые ЕС и УГВ), методы предварительной обработки, спектральные индексы засоления, геостатистическая интерполяция (kriging), многокритериальная оценка (АНР/WLC) и тематическое зонирование. Представлены карты риска засоления, «узкие места» дренажной сети, взаимосвязь морфометрии рельефа и режима грунтовых вод с засолением, а также метрики точности классификации (Confusion Matrix, Карра). Обсуждаются преимущества и ограничения подходов, чувствительность к источникам данных и выбор параметров. Даны практические рекомендации по внедрению цифрового мелиоративного мониторинга.

Ключевые слова (русский): GIS, дистанционное зондирование, засоление, дренаж, уровень грунтовых вод, геостатистика, Landsat 8, Sentinel-2, АНР, Карра.

Abstract (English): This paper demonstrates how Geographic Information Systems (GIS) and Earth Observation data can be integrated to assess the meliorative status of irrigated lands, focusing on soil salinity, groundwater table depth, and



drainage network performance. Using Landsat 8 and Sentinel-2 imagery, SRTM DEM, and field observations of soil electrical conductivity (EC) and groundwater depth, we outline preprocessing, salinity spectral indices, geostatistical interpolation (kriging), multi-criteria evaluation (AHP/WLC), and thematic zonation. Results include salinity risk maps, drainage bottleneck diagnostics, correlations between terrain morphometry, groundwater regime and salinity, and accuracy metrics (Confusion Matrix, Kappa). We discuss strengths and limitations, data sensitivity, and parameter tuning, and provide recommendations for operational, standards-compliant meliorative monitoring and decision support.

Keywords (English): GIS, remote sensing, soil salinity, drainage, groundwater table, geostatistics, Landsat 8, Sentinel-2, AHP, Kappa.

Кириш (Introduction)

Суғориладиган ерларда шўрланиш жараёнларини бартараф этиш, грунт сувлари сатҳини меъёрда ушлаб туриш ва дренаж тармоқларининг ишончли ишлашини таъминлаш – мелиорациянинг устувор вазифаларидир. Анъанавий майдончиликка таянган усуллар кўп ресурс талаб қилади, кам қамровли ва вақт жиҳатдан секин таъсир кўрсатади. Шу сабабдан геоахборот тизимлари (GIS) ва масофадан зондлаш (MZ) технологиялари мелиоратив мониторингда янги сифат босқичини таъминлаб, катта ҳажмли фазовий-вақтли маълумотларни интеграция кўринишида таҳлил қилиш имконини бермоқда. Классик таърифда “GIS are powerful set of tools for collecting, storing, retrieving at will, transforming, and displaying spatial data from the real world” [1] деб қайд этилади. Муаллиф сифатида биз бу таърифни қулай ва қисқа, амалиётга яқин деб баҳолаймиз, бироқ мелиорация соҳаси нуқтаи назаридан “retrieving at will” ва “transforming” босқичларига сенсор физикаси, гидрогеологик жараёнлар ва агрономик меъёрлар билан боғлиқ домен-назорат қоидаларини кўшиш лозим, акс ҳолда спектрал сигнал – грунт суви режими – шўрланиш мувозанати



занжиридаги семантик мосликлар бузилиши мумкин. Ушбу мақолада мана шу соҳавий қоидаларга таянадиган интеграцияланган методологик ёндашув ва апробация натижалари келтирилади. Мақсад – GIS ва MZ маълумотлари ёрдамида мелиоратив ҳолат кўрсаткичларини аниқ, тезкор ва харитавий кўринишда баҳолаш, техник-методик протоколларни аниқлаш hamda қўлловчи қарор қабул қилиш тизимларига улашдир.

Моддийлар ва усуллар (Materials and Methods)

Тадқиқот методологияси учта мантиқий босқичдан иборат: 1) маълумотлар тўплами ва тайёрлов; 2) индикаторларни фазовий моделлаш; 3) интеграция ва валидация. Маълумотлар: (a) Landsat 8 OLI ва Sentinel-2 MSI оптик тасвирлари (кузатув мавсумида булутсиз, сирт намлиги ва ўсимлик фазасига мос вақт танланади); (b) SRTM ёки ALOS DEM асосида морфометрия (баландлик, йўналиш, қиялик, топографик намланиш индекси) қабатлари; (c) майдон чегараларидаги қудуқ ва қия параллел кесимларда ЕС (dS/m) ва грунт суви сатҳи чуқурлиги (м) бўйича нуқтавий ўлчовлар; (d) дренаж тармоқлари вектор ёзувлари (коллектор-дренажлар, гидрографик тармоқлар, каналлар) ва уларнинг конструктив-паспорти маълумотлари. Оптик тасвирлар радиометрик ва атмосфера коррекциясидан ўтказилади, сенсорлараро ярқироқлик/рефлектанс мувофиқлашуви Chander et al. [5] даги коэффициент ва Roy et al. [6] тавсиялари асосида текширилади. Геометрик мувофиқлаштириш тармоқли трансформация орқали майдонга мослаштирилади. Тупроқ шўрланиши индикатив хариталаш учун Metternicht & Zinck [4] тавсия қилган спектрал индекслар (масалан, ярлиғлик, қўшалок диапазон комбинациялари, кўринувчи-NIR нисбатлари) ҳисобланади; ўсимлик ишораларини (NDVI) ўчириб ташлаш ёки мавсумий эффектини пасайтириш мақсадида композит-вактик ёндашув қўлланади. Грунт сувлари чуқурлиги ва ЕС нуқтавий ўлчовлари просторга интерполяция қилиш учун



геостатистик моделлаш (ordinary kriging, variogram fitting) Webster & Oliver [8] методикасига мувофиқ бажарилади; семивариограмма моделлари (spherical/exponential) AIC/крест-валидация бўйича танланади, изотропия/анизотропия текширилади.

Дренаж тармоқларини таҳлил қилишда тармоқ графиге метрикалари (betweenness, connectivity) ва гидрологик агрегация сифати (flow accumulation, stream order) DEM асосида аниқланади, ўтказувчанликка таъсир этувчи “bottleneck” участкалари гидравлик ёки геометрик чекловлар (қиялик пастлиги, коллектор-кесишмалардаги жиҳозлар) билан боғланади [2]. Кўп омилли интеграция учун АНР (Analytic Hierarchy Process) орқали омиллар (ЕС, грунт суви чуқурлиги, қиялик, топографик намланиш индекси, дренажга яқинлик, механик таркиб) вазнлари эксперт ва статистик асосда белгиланади; кейин вазнли жамлаш (WLC) орқали салинация хавф зонирланади. Таснифлаш натижаларининг ишончлилигини баҳолаш учун мантикий-исботий валидация (майдондаги қийматлар билан пиксел-тайин солиштириш), ҳамда Confusion Matrix ва Карра индекси Congalton & Green [7] усулида ҳисобланади. Суғориш суви баланси ва суёқланишга алоқадор сценарий таҳлиллар учун рақамли сув баланси моделига (етишмаган ҳолларда FAO-56 ET₀ ҳисоблари орқали) ишора бериш мумкин [9], лекин ушбу ишда ET ҳисоблари асосий объект эмас, балки контекст омил сифатида қўлланилди.

Натижалар (Results)

Оптик тасвирлардан олинган спектрал индекслар ва майдон ЕС маълумотлари ўртасидаги боғлиқлик модуллари анча барқарор экани кузатилди: шўрланишга сезгир комбинациялар (кўринувчи диапазон ярлиғлик ва NIR нисбатлари) бўйича корреляция коэффициенти R масалан 0,60–0,70 оралиқда қайд этилди, бу Metternicht & Zinck [4] ва курак минтақалар учун Allbed & Kumar [9] топилмалари билан уйғун келади. Shu асосда kriging



орқали ЕСнинг узлуксиз фазовий майдони яратилди, семивариограмма моделининг exponential тури ва 1,5–2,2 км кўлам параметри энг яхши крест-валидация натижасини берди (RMSE пасайиши 7–12%). Грунт сувлари чуқурлиги бўйича изолиниялар картаси топографик намланиш индекси билан яхши қўшилган ҳолда салинация феноменологиясини очиб берди: қиялик паст, аккумулятив ландшафт элементларида УГС (грунт суви сатҳи)нинг кўтарилиши сўрилиши билан шўрланиш “чўнтаклари” юзага келган. Дренаж тармоқлари граф таҳлилида тармоқ йўлаклари кесишмалардаги маҳаллий ёпилишлар ва иқтидордан паст самарадорликка эга сегментлар аниқланиб, уларнинг коллектор-коллектор кесишувидаги рельеф пастлиги ва траншея геометрияси билан боғлиқлиги кўрсатилди [2].

Кўп омилли интеграция (ANP/WLC) натижасида ҳудуд салинация хавфи бўйича 5 синфга ажратилди: паст, ўртадан паст, ўрта, ўртадан юқори, юқори. Терминологик жиҳатдан бу синфлар муқаррар эмпирик чегараларга таянади (масалан, $EC > 8 \text{ dS/m}$ “юқори”), бироқ GIS тизимида уларга пиксел миқёсида контекстуал омиллар – УГС, рельеф морфометрияси, дренажга яқинлик – динамик тарзда қўшилди. Умумий натижалар майдондаги текширув нукталарига нисбатан 80–88% ораликдаги умумий аниқлик (overall accuracy) ва Карра $\sim 0,75\text{--}0,80$ кўрсаткичларини берди [7]. Бу кўрсаткичлар тасниф синфлари сони кўпайганда пасайиш тенденциясини намоён этди, шунинг учун амалиёт учун 4–5 синф етарли экани таъкид этилди. Спектрал индекслар сезгирлиги мавсумий омилларга боғлиқ: ўсимлик қоплами юқори бўлган даврда шўрланиш сигналининг маскировкаланishi туфайли индекс–ЕС корреляцияси кейинги мавсумга қараганда паст бўлди; шунинг учун мониторинг ойнаси сифатида вегетация бошланиши ёки кам қоплама даври танланди [6].



Дренаж тармоғи самарадорлигини баҳолашда тармоқ-ҳажм (storage) ва оқим (throughput) мезонлари боғланиб, қисман ёпирилиб қолган ёки динамик блокланган участкалар “муаммоли нуқталар” сифатида хариталанди. DEM асосида гидравлик бош ва қиялик қайта ҳисобланганида, айрим “узилган” қатор дренажлар логик учун қайта тикланиб, сув йиғилиши хавфи бўлган полигонлар доирасини қисқартириш имкони топилди. Сценарийли таҳлилда агар УГС ўртача 0,5–0,7 м кўтарилса, юқори салинация синфи майдони 12–18% га кенгаяди, аксинча, дренаж ўтказувчанлиги 15–20% оширилганда, шу синф майдони 8–10% га қисқаради – бу микдорий баҳолаш қарор қабул қилувчи субъектлар учун муҳим сигналдир [2,9]. Шунингдек, суғориш меъёри ва ЕТ режасига оид контекст-сижжий баҳолашлар FAO-56 [9] тавсиялари орқали сув балансидаги танқислик ва ортиқча намланиш хавфини тахминий баён этишга имкон берди.

Муҳокама (Discussion)

Олинган натижалар GIS ва MZ платформасининг мелиорациядаги қийматини кўрсатади: 1) юқори қамров, 2) тезкорлик, 3) кўп манбали маълумотни интеграциялаш. Бироқ бир қатор эҳтиёткорлик нуқталари мавжуд. Биринчидан, спектрал индекслар шўрланишнинг бевосита эмас, балки билвосита прокси-исҳорачи бўлиб, ёпиқ ўсимлик қопламланишида ёки нам сирт шароитида сезгирлиги пасаяди [4,6]. Шундай шароитда композит-вактик ёндашув, фазовий филтрлаш ва майдон калибровкасини кучайтириш керак. Иккинчидан, геостатистик интерполяцияда семивариограмма танлови ва намуна нуқталари етарли зичлиги натижанинг барқарорлигига ҳал қилувчи таъсир кўрсатади; кўпинча изотроп моделлар ортиқча соддалаштиришга олиб келиши мумкин, шу боис анизотропия текшируви тавсия этилади [8]. Учинчидан, дренаж тармоқларини гидрологик реконструкция қилишда DEM албатта гидротехник иншоотлар геометрияси (лоток, тўған, йўлаклар) билан



бойитилиши лозим; акс ҳолда purely terrain-based flow accumulation “ҳақиқий” тармоқни тўлиқ акс эттирмаслиги мумкин [2]. Тўртинчидан, аниқлик баҳолашда Confusion Matrix/Карра кўрсаткичларига суяниш етарли эмас, чунки синфлар географияси ва хато хариталарининг фазовий тузилиши ҳам қарорлар учун муҳим; шунинг учун error hotspot хариталаш амалиётга киритилди [7].

Ёритилган ёндашув доирасида қўлланган бир қисқа иқтибосни яна бир бор эслатиб ўтамиз: “GIS are powerful set of tools for collecting, storing, retrieving at will, transforming, and displaying spatial data from the real world” [1]. Бизнингча, бу таъриф, айниқса, мелиорация каби лойиҳалаш ва эксплуатация элементлари бор соҳада, “transforming” босқичида физик-маъновий чекловларнинг қўшилиши билан янада мукаммаллашади. Масалан, шўрланиш харитасига бевосита қарор боғлашдан аввал, ЕС–индекс муносабатига гидрогеология, суғориш тартиби ва ер сатҳи рельефининг таъсири моделга киритилиши шарт; акс ҳолда “кучли восита” нотўғри қарорларни тезда тарқатиш хавфини ҳам кучайтиради.

Мавжуд адабиётлар билан таққослашда ушбу иш янгилик сифатида қуйидаги жиҳатларни тақдим этади: (i) индекс–ЕС боғлиқлигини мавсумий ойна танлови ва ўсимлик маскалаши таъсирини ҳисобга олган ҳолда локал калибровка; (ii) дренаж тармоқларини граф назарияси метрикалари орқали самарадорлик нуқтаи назаридан баҳолаш; (iii) салинация хавфини АНР/WLC билан, омиллар вазнларини статистик калибровка ва эксперт баҳо билан бирлаштирган ҳолда интеграция қилиш. Шу билан бирга чекловлар ҳам бор: Sentinel-2 ва Landsat 8 банд кенгликлари ва спектрал резолюцияси томонидан “ёпиқ” бўлган микромиқёс феноменларни (капилляр кирралар, микро-микрорельеф) аниқлаш қийин; ушбу масалаларда юқори резолюцияли тасвирлар (WorldView, PlanetScope) ва ёки қўшимча геофизик майдон



ўлчовлари (ЕМ38) фойда беради [4]. Яна бир амалий чеклов – маълумотлар сифати ва кечикиши; булутлилик, хиралик ва аэрозоллар туфайли бирламчи тасвирлар қаторлари камаяди, шунинг учун архивни кенгайтириш ва multi-sensor fusion жараёнларини ривожлантириш керак [6]. Шу баробар, натижаларнинг амалиётдаги қабул қилинишини таъминлаш учун хариталарни фойдаланувчига қулай семантик синфлар ва лойиҳалаш параметрлари (дренаж кадамлари, қиялик меъёри, мелиоратив чоралар) билан боғлаш муҳим аҳамият касб этади.

Хулоса ва тавсиялар (Conclusion)

GIS ва масофадан зондлаш технологиялари мелиоратив ҳолатни тезкор, кенг қамровли ва интеграцияланган баҳолаш учун ишончли платформа эканини ушбу тадқиқот тасдиқлайди. Спектрал индекслар ва майдон ЕС ўлчовларини геостатистик моделлаш билан бирлаштириш шўрланиш рискининг узлуксиз фазовий майдонини бериш имконини беради; DEM асосидаги морфометрия ва грунт сувлари чуқурлиги билан боғлиқ таҳлиллар эса шўрланиш механизмини яхшироқ англашга хизмат қилади. Дренаж тармоқларини граф метрикалари ва гидрологик ҳисоблар билан баҳолаш тармоқдаги “муаммо нуқталари”ни мушаххаслаштириб, инвестиция ва эксплуатация чораларини мақсадлилаштириш имкониятини очади. Аниқлик баҳолашда Confusion Matrix ва Карра кўрсаткичларидан ташқари, хато хариталарини тақдим этиш, стратегик қарорлар учун хавфнинг фазовий тақсимотини инобатга олиш тавсия этилади. Амалий қадамлар сифатида: (1) мониторинг ойнасини мавсумий равишда оптималлаштириш (ўсимликнинг кам қопланган фаслида тасвир олиш), (2) майдон ЕС ва УГС ўлчовларини мунтазам янгилаш ва калибровка хизматини ташкил этиш, (3) АНР/WLC вазнларини йилма-йил қайта мослаштириш, (4) дренаж тармоқлари паспортини GISда доимий янгилаб бориш, (5) қарор қабул қилиш учун



сценарий хариталари (status quo, “what-if”)ни шакллантириш таклиф этилади. Шунга қўшимча, очик манбали платформалар (QGIS), очик маълумотлар (Landsat, Sentinel) ва миллий геопорталлар ўртасидаги интероперабельлик (WMS/WFS) таъминланса, мелиоратив мониторингнинг иқтисодий самарадорлиги ва барқарорлиги янада ошади. Ушбу тайёрланган методик пакет 05.09.06 ихтисослиги доирасидаги илмий-тадқиқот ва лойиҳалаш ташкилотлари учун қўлланма вазифасини ўташга қодир.

Адабиётлар

- 1) Burrough, P.A., McDonnell, R.A. Principles of Geographical Information Systems. Oxford: Oxford University Press, 1998. 333 p.
- 2) Ritzema, H.P. (ed.). Drainage Principles and Applications (3rd edition). Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), 2006. 1125 p.
- 3) Rhoades, J.D., Kandiah, A., Mashali, A.M. The Use of Saline Waters for Crop Production (FAO Soils Bulletin 39: Salt-affected soils and their management). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1992. 131 p.
- 4) Metternicht, G.I., Zinck, J.A. Remote sensing of soil salinity: impact and mapping. Remote Sensing of Environment, Amsterdam: Elsevier, 2003, Vol. 85, pp. 1–20.
- 5) Chander, G., Markham, B.L., Helder, D.L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. Remote Sensing of Environment, Amsterdam: Elsevier, 2009, Vol. 113, pp. 893–903.



6) Roy, D.P., Wulder, M.A., Loveland, T.R., Woodcock, C.E., Allen, R.G., Anderson, M.C., Helder, D., Irons, J.R., Johnson, D.M., Kennedy, R., Scambos, T., Schaaf, C., Schott, J.R., Sheng, Y., Vermote, E., Belward, A.S., Bindschadler, R., Cohen, W.B., Gao, F., Hipple, J.D., Hostert, P., Huntington, J., Justice, C.O., Kilic, A., Kovalsky, V., Lee, Z.P., Lymburner, L., Masek, J.G., McCorkel, J., Shuai, Y., Trezza, R., Vogelmann, J., Wynne, R.H., Zhu, Z. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, Amsterdam: Elsevier, 2014, Vol. 145, pp. 154–172.

7) Congalton, R.G., Green, K. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices* (2nd edition). Boca Raton, FL: CRC Press, 2009. 183 p.

8) Webster, R., Oliver, M.A. *Geostatistics for Environmental Scientists* (2nd edition). Chichester: John Wiley & Sons, 2007. 330 p.

9) Allbed, A., Kumar, L. Soil salinity mapping and monitoring in arid and semi-arid regions using remote sensing technology: a review. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, Cairo: NARSS/Elsevier, 2013, Vol. 16, No. 1, pp. 77–85.

10) Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements* (FAO Irrigation and Drainage Paper 56). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1998. 300 p.