TUPROQSHUNOSLIKDA MATEMATIK MODELLASHTIRISH USULLARINI QO‘LLASH SOHALARI

Shomirzaev Mirzabek
mirzabekshomirzayev998@gmail.com
Mamajonova Malika
mamajonovamalika1302@gmail.com
Panjiyev Elbek
elbekpanjiyev031@gmail.com
Abdurahmonov Abbos
abbdurahmonovabbos693@gmail.com
G‘ofurov Begzod
Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universteti talabalari

Annotatsiya. Ushbu maqolada tuproqshunoslik fanida matematik modellashtirish usullaridan foydalanishning ilmiy-amaliy ahamiyati yoritilgan. Tuproq murakkab tabiiy tizim bo‘lib, uning tarkibi, unumdorligi, namlik rejimi, sho‘rlanish darajasi, eroziyaga chidamliligi va ekologik holatini baholashda an’anaviy kuzatuv usullarining o‘zi yetarli bo‘lmaydi. Shu sababli zamonaviy tuproqshunoslikda **statistik tahlil**, regressiya modellari, geostatistika, raqamli tuproq xaritalash, masofadan zondlash, **sun’iy intellekt**, suv-havo rejimi va eroziya jarayonlarini modellashtirish keng qo‘llanilmoqda. Maqolada matematik modellashtirishning tuproq unumdorligini baholash, degradatsiya xavfini aniqlash, **meliorativ holatni** prognoz qilish, **organik uglerod** zaxirasini hisoblash, qishloq xo‘jaligi ekinlari uchun mos yerlarni tanlash va aniq dehqonchilik tizimlarini rivojlantirishdagi o‘rni tahlil qilingan. Shuningdek, model natijalarining aniqligi dala

ma’lumotlari sifati, laboratoriya tahlillari, fazoviy ma’lumotlar va algoritm tanloviga bevosita bog‘liqligi asoslab berilgan.

Kalit so‘zlar: tuproqshunoslik, matematik modellashtirish, geostatistika, raqamli tuproq xaritalash, tuproq unumdorligi, eroziya, sho‘rlanish, aniq dehqonchilik.

Аннотация. В статье рассматривается научно-практическое значение применения методов математического моделирования в почвоведении. Почва представляет собой сложную природную систему, поэтому традиционных методов наблюдения недостаточно для оценки ее состава, плодородия, водного режима, степени засоления, устойчивости к эрозии и экологического состояния. В современном почвоведении широко применяются статистический анализ, регрессионные модели, геостатистика, цифровое картографирование почв, дистанционное зондирование, искусственный интеллект, моделирование водно-воздушного режима и эрозионных процессов. В статье анализируется роль математического моделирования в оценке плодородия почв, выявлении риска деградации, прогнозировании мелиоративного состояния, расчете запасов органического углерода, выборе пригодных земель для сельскохозяйственных культур и развитии систем точного земледелия.

Ключевые слова: почвоведение, математическое моделирование, геостатистика, цифровое картографирование почв, плодородие почв, эрозия, засоление, точное земледелие.

Annotation. This article examines the scientific and practical importance of applying mathematical modelling methods in soil science. Soil is a complex natural system, and traditional observation methods alone are insufficient for assessing its composition, fertility, moisture regime, salinity level, erosion resistance and ecological condition. Modern soil science increasingly applies statistical analysis, regression models, geostatistics, digital soil mapping, remote sensing, artificial

intelligence, modelling of water-air regimes and erosion processes. The article analyzes the role of mathematical modelling in assessing soil fertility, identifying degradation risks, forecasting reclamation conditions, calculating soil organic carbon stocks, selecting suitable lands for crops and developing precision agriculture systems.

Keywords: soil science, mathematical modelling, geostatistics, digital soil mapping, soil fertility, erosion, salinity, precision agriculture.

Kirish

Tuproq insoniyat hayoti, oziq-ovqat xavfsizligi, ekologik barqarorlik va qishloq xo‘jaligi ishlab chiqarishining asosiy tabiiy resurslaridan biridir. Tuproqning fizik, kimyoviy va biologik xossalari doimiy ravishda iqlim, relyef, ona jins, o‘simlik qoplami, yer osti suvlari, antropogen ta’sir va agrotexnik tadbirlar bilan o‘zaro bog‘liq holda o‘zgarib boradi. Shu bois tuproqshunoslikda faqat kuzatuv va tavsiflash bilan cheklanib qolish yetarli emas. Tuproq jarayonlarini chuqur tushunish, ularning kelajakdagi holatini bashorat qilish va boshqaruv qarorlarini ilmiy asoslash uchun matematik modellashtirish zarur hisoblanadi.

Matematik modellashtirish tuproq tizimida sodir bo‘ladigan jarayonlarni formulalar, algoritmlar, statistik bog‘lanishlar va raqamli xaritalar orqali ifodalash imkonini beradi. Masalan, tuproq namligining harakati, sho‘rlanishning kuchayishi, eroziya tezligi, gumus miqdorining o‘zgarishi, o‘g‘it samaradorligi yoki hosildorlik bilan tuproq xossalari o‘rtasidagi bog‘liqlik matematik model asosida baholanishi mumkin [1]. FAO tomonidan tayyorlangan global tuproq resurslari hisobotida tuproq degradatsiyasi, eroziya, organik moddaning kamayishi, sho‘rlanish va ifloslanish kabi muammolar ekotizim xizmatlariga xavf tug‘diruvchi asosiy omillar sifatida ko‘rsatilgan [2].

Bugungi kunda raqamli tuproq xaritalash tuproqshunoslikdagi eng muhim yo‘nalishlardan biriga aylangan. McBratney, Mendonça Santos va Minasny

tomonidan ishlab chiqilgan raqamli tuproq xaritalash yondashuvi tuproq xossalarini GIS, relyef modeli, masofadan zondlash va statistik algoritmlar yordamida fazoviy baholashga asoslanadi [3]. Ularning ishida umumlashtirilgan chiziqli modellar, regressiya daraxtlari, neyron tarmoqlar va fuzzy tizimlar kabi usullar tuproq va muhit omillari o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniqlashda qo‘llanishi mumkinligi ko‘rsatilgan.

Shu nuqtai nazardan, tuproqshunoslikda matematik modellashtirish nafaqat nazariy tadqiqot vositasi, balki amaliy boshqaruv mexanizmi hamdir. U qaysi hududda sho‘rlanish xavfi yuqori ekanini, qaysi maydonda organik modda kamayib borayotganini, qaysi tuproqda eroziya xavfi kuchli ekanini va qaysi yer qishloq xo‘jaligi ekinlari uchun nisbatan qulayligini oldindan aniqlashga yordam beradi.

Asosiy qism

Tuproqshunoslikda matematik modellashtirishning birinchi muhim qo‘llanish sohasi tuproq xossalarini statistik baholashdir. Tuproq namunalari odatda ma’lum nuqtalardan olinadi, ammo butun hudud bo‘yicha tuproq holatini bilish talab qilinadi. Bunday vaziyatda o‘rtacha qiymat, dispersiya, korrelyatsiya, regressiya, variatsiya koeffitsiyenti kabi statistik ko‘rsatkichlar yordamida tuproq tarkibidagi gumus, azot, fosfor, kaliy, pH, karbonatlar, mexanik tarkib va namlik miqdori tahlil qilinadi [4]. Masalan, gumus miqdori bilan hosildorlik o‘rtasidagi bog‘liqlik regressiya tenglamasi orqali aniqlansa, qaysi omil hosilga kuchliroq ta’sir qilayotganini matematik asosda baholash mumkin.

Ikkinchi muhim yo‘nalish geostatistik modellashtirishdir. Tuproq xossalari hudud bo‘yicha tasodifiy emas, balki ma’lum fazoviy qonuniyatlar asosida tarqaladi. Geostatistikada variogramma, kovariatsiya, kriging, interpolatsiya kabi usullar qo‘llanadi. Masalan, 20–30 ta tuproq namunasi asosida butun fermer xo‘jaligi yoki tuman hududidagi sho‘rlanish xaritasini tuzish mumkin. Kriging usuli faqat qiymatni taxmin qilmaydi, balki taxmin xatoligini ham ko‘rsatadi. Bu esa tuproq monitoringi uchun juda muhimdir [5].

Uchinchi yo‘nalish raqamli tuproq xaritalash hisoblanadi. Raqamli tuproq xaritalashda tuproq namunalari, aerokosmik suratlar, relyefning raqamli modeli, iqlim ko‘rsatkichlari, yer qoplami va geologik ma’lumotlar birlashtiriladi. Natijada tuproq tiplari, unumdorlik darajasi, organik uglerod zaxirasi yoki sho‘rlanish holati xarita ko‘rinishida ifodalanadi. Digital Soil Mapping konsepsiyasida tuproq ma’lumotlari dala va laboratoriya kuzatuvlari bilan birga miqdoriy fazoviy modellar asosida yaratiladi [3]. Bu usul klassik tuproq xaritalashga qaraganda tezroq, moslashuvchanroq va takroriy monitoring uchun qulayroqdir.

To‘rtinchi qo‘llanish sohasi tuproq eroziyasini modellashtirishdir. Tuproq eroziyasi qishloq xo‘jaligi yerlari unumdorligini pasaytiruvchi eng xavfli jarayonlardan biridir. Eroziya jarayonlarini baholashda USLE va RUSLE kabi modellar keng qo‘llanadi. RUSLE modeli yog‘in eroziya kuchi, tuproqning yuvilishga moyilligi, relyef uzunligi va qiyaligi, o‘simlik qoplami hamda himoya tadbirlari omillarini hisobga oladi [6]. RUSLE uzoq muddatli o‘rtacha yillik tuproq yo‘qotilishini bashorat qilishga xizmat qiluvchi model sifatida tavsiflanadi. Bu model yordamida eroziya xavfi yuqori bo‘lgan yerlarda terassalash, kontur bo‘ylab haydash, o‘rmonzorlashtirish yoki qoplovchi ekinlardan foydalanish kabi chora-tadbirlar rejalashtiriladi.

Beshinchi yo‘nalish tuproq namligi va suv harakatini modellashtirishdir. Tuproqdagi suv harakati kapillyarlik, infiltratsiya, filtratsiya, bug‘lanish va transpiratsiya jarayonlari bilan bog‘liq. Suv rejimini matematik ifodalash sug‘orish me’yorlarini aniqlash, suv tanqisligi sharoitida resurslarni tejash, sho‘rlanishning oldini olish va ekinlarning suvga bo‘lgan talabini hisoblashda muhimdir [7]. Masalan, tuproqning mexanik tarkibi, dala nam sig‘imi va filtratsiya koeffitsiyenti ma’lum bo‘lsa, suvning ildiz qatlamida qancha vaqt saqlanishini oldindan baholash mumkin.

Oltinchi qo‘llanish sohasi sho‘rlanish va meliorativ holatni prognoz qilishdir. Ayniqsa, sug‘oriladigan dehqonchilik hududlarida yer osti suvlari sathi ko‘tarilishi va

mineralizatsiyaning ortishi natijasida ikkilamchi sho‘rlanish kuchayadi. Matematik modellar orqali tuzlarning tuproq profilida harakatlanishi, yuvilish tezligi, drenaj samaradorligi va sug‘orish suvining ta’siri baholanadi. Bunday modellar noto‘g‘ri sug‘orish natijasida qaysi hududlarda sho‘rlanish xavfi ortishini oldindan ko‘rsatadi [8].

Yettinchi yo‘nalish tuproq unumdorligini baholash va hosildorlikni prognoz qilishdir. Tuproq unumdorligi ko‘p omilli tushuncha bo‘lib, unga gumus, oziqa elementlari, mexanik tarkib, pH, namlik, mikrobiologik faollik va agrotexnik tadbirlar ta’sir qiladi. Matematik model bu omillarni bir tizimga keltirib, hosildorlikka ta’sir darajasini aniqlaydi. Masalan, ko‘p omilli regressiya modeli quyidagi umumiy ko‘rinishda tuzilishi mumkin:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + ... + b_nX_n$$

Bu yerda Y — hosildorlik, X_1, X_2, X_3 — tuproq omillari, b_1, b_2, b_3 — ularning ta’sir koeffitsiyentlari. Bunday model yordamida qaysi omil hosildorlikni cheklayotganini aniqlash mumkin. Agar model natijasida fosfor yetishmasligi eng kuchli cheklovchi omil bo‘lsa, o‘g‘itlash tizimi aynan shu omilga qarab optimallashtiriladi [4].

Sakkizinchi yo‘nalish pedotransfer funksiyalarni qo‘llashdir. Ba’zi tuproq xossalarini to‘g‘ridan-to‘g‘ri o‘lchash qimmat yoki murakkab bo‘ladi. Masalan, gidravlik o‘tkazuvchanlik, dala nam sig‘imi yoki suv ushlash xususiyatini har bir maydonda aniqlash katta vaqt talab qiladi. Pedotransfer funksiyalar esa oddiyroq o‘lchanadigan ko‘rsatkichlar — mexanik tarkib, zichlik, organik modda miqdori asosida murakkab xossalarni taxmin qilish imkonini beradi [9]. Bu usul laboratoriya xarajatlarini kamaytiradi, lekin uning aniqligi hududiy kalibrlashga bog‘liq.

To‘qqizinchi qo‘llanish sohasi tuproq organik uglerodini modellashtirishdir. Tuproq organik uglerodi iqlim o‘zgarishi, tuproq unumdorligi va ekologik barqarorlik bilan bevosita bog‘liq. FAOning tuproq organik uglerodi bo‘yicha global simpoziumi

materiallarida tuproq organik uglerodini saqlash va ko‘paytirish iqlim o‘zgarishini yumshatish hamda barqaror rivojlanish bilan bog‘liq muhim masala sifatida ko‘rsatilgan [10]. Matematik modellar organik moddaning parchalanishi, o‘simlik qoldiqlarining tuproqqa qaytishi, haydash chuqurligi, harorat va namlikning uglerod zaxirasiga ta’sirini hisoblashga yordam beradi.

O‘ninchi yo‘nalish aniq dehqonchilik tizimlarida matematik modellashtirishdan foydalanishdir. Aniq dehqonchilikda har bir maydon bir xil emas, balki ichki farqlarga ega tizim sifatida qaraladi. GPS, dron, sun’iy yo‘ldosh tasvirlari, sensorlar va tuproq tahlillari asosida maydon zonalarga ajratiladi. Har bir zona uchun alohida o‘g‘itlash, sug‘orish va ishlov berish me’yori belgilanadi. Bu resurslarni tejaydi, hosildorlikni oshiradi va ekologik yuklamani kamaytiradi [11].

Quyidagi jadvalda tuproqshunoslikda matematik modellashtirish usullarining asosiy qo‘llanish sohalari umumlashtiriladi:

Qo‘llanish sohasi	Asosiy model yoki usul	Amaliy natija
Tuproq xossalarini baholash	Statistik tahlil, regressiya	Gumus, pH, oziqa elementlari va hosildorlik bog‘liqligini aniqlash
Fazoviy xaritalash	Kriging, variogramma, GIS	Sho‘rlanish, unumdorlik va namlik xaritalarini tuzish
Eroziya xavfini aniqlash	USLE, RUSLE	Tuproq yuvilishi xavfi yuqori hududlarni belgilash
Suv rejimini baholash	Infiltratsiya va filtratsiya modellari	Sug‘orish me’yorlarini optimallashtirish
Sho‘rlanishni prognoz qilish	Tuz balansi modeli	Meliorativ tadbirlarni rejalashtirish
Organik uglerodni	Uglerod aylanishi	Tuproq ekologik barqarorligini

Qo‘llanish sohasi	Asosiy model yoki usul	Amaliy natija
hisoblash	modellari	baholash
Aniq dehqonchilik	Masofadan zondlash, AI, sensor modellar	Resurslardan tejamkor foydalanish

Matematik modellashtirishning ustunligi shundaki, u katta hajmdagi ma’lumotlarni tizimlashtiradi, yashirin bog‘liqliklarni aniqlaydi va kelajakdagi holatni oldindan baholaydi. Ammo bu yondashuvning zaif tomonlari ham mavjud. Birinchidan, model sifati kiritilayotgan ma’lumotlar aniqligiga bog‘liq. Dala namunalari noto‘g‘ri olingan bo‘lsa yoki laboratoriya tahlillarida xatolik bo‘lsa, eng zamonaviy model ham ishonchli natija bermaydi. Ikkinchidan, boshqa hududda ishlab chiqilgan modelni mahalliy sharoitga moslashtirmasdan qo‘llash noto‘g‘ri xulosalarga olib kelishi mumkin. Uchinchidan, tuproq jarayonlari faqat matematik tenglamalar bilan to‘liq ifodalanmaydi, chunki unda biologik, iqlimiy va antropogen omillar birgalikda ta’sir qiladi.

Shu sababli tuproqshunoslikda matematik modellashtirish dala kuzatuvlari, laboratoriya tahlillari, geoinformatsion texnologiyalar va agroekologik tajribalar bilan birgalikda qo‘llangandagina yuqori samara beradi. Model yakuniy haqiqat emas, balki qaror qabul qilishni ilmiy asoslovchi vositadir. Eng to‘g‘ri yondashuv — matematik model natijalarini real dala sharoitida tekshirish, kalibrlash va doimiy ravishda yangilab borishdir.

Xulosa

Tuproqshunoslikda matematik modellashtirish zamonaviy ilmiy tadqiqot va amaliy yer boshqaruvining muhim yo‘nalishlaridan biridir. Tuproqning unumdorligi, namlik rejimi, sho‘rlanishi, eroziyaga moyilligi, organik uglerod zaxirasi va ekologik holatini aniqlashda matematik modellar katta ahamiyatga ega. Ayniqsa, geostatistika, regressiya tahlili, raqamli tuproq xaritalash, masofadan zondlash, RUSLE modeli,

pedotransfer funksiyalar va sun’iy intellektga asoslangan algoritmlar tuproqshunoslikda yangi imkoniyatlar yaratmoqda.

Matematik modellashtirish yordamida tuproq haqidagi tarqoq ma’lumotlar yagona tizimga keltiriladi, hududiy farqlar aniqlanadi, xavfli jarayonlar prognoz qilinadi va qishloq xo‘jaligi tadbirlari ilmiy asosda rejalashtiriladi. Bu usullar sug‘orish me’yorlarini belgilash, o‘g‘itlash tizimini optimallashtirish, eroziya va sho‘rlanishga qarshi kurashish, yerlarning meliorativ holatini yaxshilash va aniq dehqonchilikni rivojlantirish uchun zarurdir.

Shu bilan birga, modellashtirishda ehtiyotkorlik talab etiladi. Model natijasi har doim dala ma’lumotlari, laboratoriya tahlillari va mahalliy tuproq-iqlim sharoiti bilan tekshirilishi kerak. Agar model noto‘g‘ri ma’lumotlarga asoslangan bo‘lsa, u noto‘g‘ri boshqaruv qarorlariga sabab bo‘lishi mumkin. Demak, tuproqshunoslikda matematik modellashtirishni samarali qo‘llash uchun sifatli ma’lumotlar bazasi, zamonaviy GIS texnologiyalari, mahalliy kalibrlash, muntazam monitoring va malakali mutaxassislar zarur.

Umuman olganda, matematik modellashtirish tuproq resurslaridan oqilona foydalanish, ularni muhofaza qilish va qishloq xo‘jaligi samaradorligini oshirishda strategik ahamiyatga ega. Kelajakda ushbu yo‘nalish sun’iy intellekt, katta ma’lumotlar, dron monitoringi va sun’iy yo‘ldosh kuzatuvlari bilan yanada chuqurlashadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

[1] Jenny H. Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology. New York: McGraw-Hill, 1941.

[2] FAO and ITPS. Status of the World’s Soil Resources: Main Report. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015.

[3] McBratney A.B., Mendonça Santos M.L., Minasny B. On digital soil mapping // Geoderma. 2003. Vol. 117. Issues 1–2. P. 3–52.

[4] Webster R., Oliver M.A. Geostatistics for Environmental Scientists. Chichester: John Wiley & Sons, 2007.

[5] Goovaerts P. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. New York: Oxford University Press, 1997.

[6] Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K., Yoder D.C. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation RUSLE. USDA Agriculture Handbook No. 703. Washington, 1997.

[7] Hillel D. Environmental Soil Physics. San Diego: Academic Press, 1998.

[8] Richards L.A. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Agriculture Handbook No. 60. Washington, 1954.

[9] Bouma J. Using soil survey data for quantitative land evaluation // Advances in Soil Science. 1989. Vol. 9. P. 177–213.

[10] FAO. Soil Organic Carbon: The Hidden Potential. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017.

[11] Minasny B., McBratney A.B. Digital soil mapping: A brief history and some lessons // Geoderma. 2016. Vol. 264. P. 301–311.

[12] Lagacherie P., McBratney A.B., Voltz M. Digital Soil Mapping: An Introductory Perspective. Amsterdam: Elsevier, 2006.