

O'ZGARUVCHAN IQLIM SHAROITIDA SUG'ORILADIGAN YERLARNING NAMLIK REJIMINI MODELLASHTIRISH

Baxtiyor Murodullayev², Haqnazarova Dilobar¹, To'raqulov Jahongir²

¹Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellektni rivojlantirish ilmiy-tadqiqot instituti, Buz-2, 17A, Toshkent, 100125, O'zbekiston, tayanch doktorant,

²Toshkent Xalqaro Ta'lim Universiteti, Imom Buxoriy ko'chasi, Toshkent, 100207, O'zbekiston, dotsent, t.f.f.d.

a) bmurodullayev1114@gmail.com*, b) dilobarhaqnazarova96@gmail.com, c) jahondasturchi@gmail.com

DOI: 10.61587/mmit.tiue.uz.v1i1.388

Annotatsiya. Mazkur tadqiqotda qishloq xo'jaligi yerlarida sug'orish va yog'ingarchilik sharoitida suvning tuproqqa chuqur sizilish (infiltratsiya) jarayoni kompleks ravishda o'rganildi. Tadqiqot davomida tuproq namligining vertikal taqsimlanishi, suvning yuqori va quyi qatlamlarga harakati hamda sug'orish amaliyotining infiltratsiya jarayoniga ta'siri tahlil qilindi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, sug'orish suvi tuproqning ustki qatlamida barqaror infiltratsion kanallarni hosil qilib, suvning singish tezligini oshiradi va namlikning 1 metrdan chuqur qatlamlarga ko'chishini kuchaytiradi. Shuningdek, tuproq namligining yuqori darajada saqlanishi agroekotizimlarning o'zgaruvchan iqlim sharoitlaridagi barqarorligini ta'minlashda muhim omil ekanligi aniqlandi. Tadqiqot asosida infiltratsiya jarayonini ifodalovchi matematik model takomillashtirildi va uning amaliy qo'llanish imkoniyatlari yoritildi.

Kalit so'zlar: sug'orish rejimlari, chuqur sizilish, ildizning suv yutishi, sug'oriladigan yerladagi suv balansi.

MODELING THE MOISTURE REGIME OF IRRIGATED LANDS UNDER CHANGING CLIMATE CONDITIONS

Bakhtiyor Murodullaev^{1,2}, Haknazarova Dilobar¹, Turakulov Jahongir^{1,2}

1 Digital technologies and artificial intelligence development research institute, 17A Buz-2, Tashkent, 100125, Uzbekistan, doctoral student; 2 Tashkent International University of Education, Imam

Bukhari str., Tashkent, 100207, Uzbekistan, associate professor, PhD.

a) bmurodullayev1114@gmail.com*, b) dilobarhaqnazarova96@gmail.com, c) jahondasturchi@gmail.com

Abstract. This study investigates the process of deep water infiltration in agricultural soils under irrigation and rainfall conditions using a comprehensive approach. The research analyzes the vertical distribution of soil moisture, water movement through upper and lower soil layers, and the impact of irrigation practices on infiltration processes. The results indicate that irrigation water forms relatively stable infiltration channels in the upper soil layer, increasing the rate of water penetration and enhancing moisture transfer to depths greater than one meter. Furthermore, maintaining high soil moisture levels was found to play an important role in ensuring agroecosystem stability under changing climatic conditions. Based on the obtained results, the mathematical model describing the infiltration process was improved, and its practical application potential was discussed.

Keywords: irrigation regimes, deep percolation, root water uptake, water balance in irrigated lands.

Kirish

Global iqlim o'zgarishi, suv resurslarining cheklanishi va yer degradatsiyasi qishloq xo'jaligida barqaror ishlab chiqarishni murakkablashtirmoqda. O'zbekiston sharoitida qishloq xo'jaligi asosan sug'orishga tayanadi, biroq suvning noto'g'ri taqsimlanishi tuproq namligi va hosildorlikning o'zgaruvchanligini kuchaytiradi. Sug'orish jarayonida suvning chuqur qatlamlarga singishi, infiltratsiya tezligi va yuqori qatlamlardagi barqaror namlikni aniqlash suv resurslaridan samarali foydalanish, suv yo'qotishlarini kamaytirish va agroekotizim

barqarorligini ta'minlashda muhimdir. Shu sababli, mazkur tadqiqot O'zbekiston sharoitida sug'orish va yog'ingarchilik ta'sirida tuproq namligi dinamikasini o'rganish va matematik modellarni takomillashtirishga qaratilgan.

O'rganilganlik darajasi

[1] ishda olimlar tuproqdagi namlikning tarqalishini tavsiflovchi mashhur Richards tenglamasiga analitik yechim ishlab chiqqan. An'anaviy yechimlar ko'pincha raqamli usullarga asoslangan bo'lsa-da, ular amaliy qo'llanishda cheklolarga ega bo'lishi mumkin. Shu sababli, olimlar homotopiya tahlili usuli (HAM) yordamida analitik yechim taklif qilgan. Ishda bir nechta sodda holatlar tahlil qilinib, HAM usulining Richards tenglamasiga qo'llanilishi ko'rsatilgan. Olingan natijalar mavjud yechimlar bilan solishtirilib, taklif qilingan usulning aniqligi tasdiqlangan.

[2] ishda olimlar ikki o'lchovli, o'zgaruvchan namlikdagi oqim muammolarini yechishga mo'ljallangan sodda va samarali raqamli algoritm ishlab chiqqan. Algoritm zamonaviy o'zgaruvchan namlik oqimi modellarini o'z ichiga oladi va umumiy fizikaga asoslangan tenglamani markazlashgan faza farqlari va to'liq vaqt bo'yicha implisit usul yordamida, o'zgartirilgan Pikard iteratsiya sxemasi orqali yechilgan. Algoritm quruq hududlarda massaning muvozanat xatolaridan qochadi va sonli jihatdan barqarordir. Hosil bo'lgan chiziqli tenglamalar tizimi prekonditsiyalangan konjugat gradient usuli bilan samarali tarzda yechilgan. Algoritm yetarlicha tafsilotlar bilan taqdim etilgan bo'lib, boshqalar tomonidan osongina qo'llanilishi mumkin, shuningdek, to'rtta nashr qilingan eksperimental ma'lumotlar to'plami yordamida tekshirilgan.

[3] ishda olimlar Richards tenglamasining ikki o'lchovli shakliga asoslangan tuproqdagi suv harakati modelini ishlab chiqqan, u asosan furrow sug'orish sharoitida qo'llanilgan. Model ikki turdagi tuproq va qisqa yopiq furrowlar uchun sinovdan o'tkazilgan bo'lib, vaqt o'tishi bilan namlik oldi (wetting front) pozitsiyasini aniqlash orqali ildiz zonasida saqlanayotgan suv miqdorini va perkolatsiya yo'qotishlarini hisoblash imkonini bergan. Modelda implisit usul qo'llanilib, natijaviy tenglamalar Gauss-Seidel usuli bilan yechilgan. Shu bilan birga, tuproqning boshlang'ich shartlari va furrowdagi suv darajasi bilan belgilanadigan chegaraviy shartlar hisobga olingan. Model turli kesimlarda infiltratsiyani simulyatsiya qilish imkonini berib, sug'orishning birxilligi va samaradorligi haqida batafsil ma'lumot taqdim etilgan.

[4] ishda olimlar to'rtinchi darajali suyuqliklarning doimiy oqimi masalasini o'rganganlar, bu mavzu no-Nyuton suyuqlik mexanikasiga tegishli bo'lib, hali keng tadqiq etilmagan. Ishda to'rtinchi darajali suyuqliklarning no-chiziqli reologik ta'sirlarini hisobga olgan gidrodinamik tenglamani yechish uchun mos formulatsiya ishlab chiqilgan. Homotopiya tahlili usuli (HAM) yordamida poroz plita yuzasidan oqayotgan suyuqlikning oqimi tahlil qilinib, aniq analitik yechim berilgan. Natijalar suyuqlik tezligi taqsimotidagi no-chiziqli ta'sirlarni ko'rsatib, muhokama qilingan va mavjud adabiyotdagi natijalar bilan solishtirilgan.

[5] ishda olimlar tuproqning namlik taqsimotini vertikal infiltratsiya jarayonida aniqlash uchun Richards tenglamasining modifikatsiyalangan shaklini taklif qilganlar. Yuqori qatlamlarda (10 sm) tuproq xususiyatlari, pastki qatlamlarda (50 sm) esa gravitatsiyaga bog'liq omillar namlik taqsimotiga asosiy ta'sir ko'rsatgan. Modifikatsiyalangan tenglama turli nazorat omillarini hisobga olgan holda namlikni ma'lum vaqt va chuqurlikda baholash imkonini beradi. Simulyatsiyalar o'lchovlar va original Richards tenglamasi bilan solishtirilganda, modifikatsiyalangan tenglama infiltratsiya jarayonida tuproq namligini fazoviy jihatdan aniqroq baholash imkonini ko'rsatgan, garchi u ba'zi egri chiziq joylari va yomg'ir davrlarida cheklolarga ega bo'lsa-da. Natijalar modifikatsiyalangan Richards tenglamasi vertikal infiltratsiya jarayonida tuproq namligini prognozlashda samarali usul ekanligini ko'rsatgan.

[6] ishda olimlar nisbatan sayoz suv sathiga ega, o'zgaruvchan to'yingan tuproqlarda suv namligi oqimini simulyatsiya qilish uchun Richards tenglamasining ikki qatlamli

yaqinlashuvini ishlab chiqqanlar. Modellashda pde (qisman differentsial tenglama) ikkita bog'langan ode (oddiy differentsial tenglamalar) ga aylantirilib, vertikal o'rtacha tuproq namligi va oqim dinamikasi yuqori va pastki chegara sharoitlari ostida iterativ Xuen usuli bilan yechilgan. Raqamli model turli tuproq teksturalari va atmosfera sharoitlarida sinovdan o'tkazilib, HYDRUS-1D natijalari bilan taqqoslangan.

Tadqiq etilayotgan hududning axborot ta'minoti

Tadqiqot O'zbekistonning janubiy qismida joylashgan Qashqadaryo viloyati hududida olib borildi. Hududning iqlim tipi quruq subtropik iqlim. Yoz oylari nihoyatda issiq va uzoq davom etadi, qish esa qisqa va o'zgaruvchan. Yillik o'rtacha harorat 15–16 °C atrofida bo'lib, yozda havo harorati +45...+50 °C gacha ko'tarilishi kuzatiladi. Yillik o'rtacha yog'ingarchilik miqdori 200–250 mmni tashkil etadi. Yog'ingarchilikning 70-80% qismi asosan qish va bahor oylariga to'g'ri keladi. Potensial bug'lanish darajasi esa 1500–2000 mm bo'lib, bu o'ta yuqori namlik taqchilligini keltirib chiqaradi. Hududda asosan "kuzgi bug'doy va yozgi makkajo'xori" navbatlab ekish tizimi qo'llaniladi. Suv resurslari tanqisligi sababli sug'orish ishlari asosan mashina sug'orish (nasos stansiyalari orqali) va qisman egatlab sug'orish usullarida amalga oshiriladi. Kuzgi bug'doy oktyabr oyida ekilib, iyun oyining birinchi o'n kunligida o'rib olinadi. Bug'doydan bo'shagan maydonlarga darhol takroriy ekin sifatida makkajo'xori ekiladi va sentyabr oxirida yig'iladi. Qarshi cho'li hududida sizot suvlari sathi o'rtacha 3–5 metrni tashkil etadi.

Tadqiqotda, bug'doy ekilgandan so'ng o'tkazilgan birinchi sug'orish jarayonida tuproq namligining infiltratsiyasi va uning turli sug'orish me'yorlarida tiklanish darajasi tahlil qilindi. Qashqadaryo tuproqlari asosan bo'z tuproqlar bo'lgani uchun namlikning singishi va bug'lanishi tezroq kechadi. Tajriba maydonida yomg'irning tuproq namligiga ta'sir jarayoni va sug'orish suvining ta'siri qaraldi.



1-rasm. Tajriba uchun qarayotgan hudud fazodan olingan tasviri.

Tadqiq etilayotgan suvli qatlamda yer osti suv qatlam sathi parametrlarining ko'rsatkichlarini gorizonta suv qatlamini suv o'tkazmaydigan qatlamga nisbatan olamiz.

Masalaning qo'yilishi

3 metr chuqurlikdagi tuproq suv dinamikasi modeli 2 ta hudud uchun ishlab chiqilgan. Qashqadaryo vodiysi hududida vadoz zonaning xususiyatlari tufayli yog'ingarchilik va sug'orish suvlarining tuproqqa kirishi tez sodir bo'ladi, shuning uchun yuqori chegara atmosfera chegarasi sifatida qabul qilinadi va sirt oqimi hisobga olinmaydi. Ushbu mintaqadagi yerosti suvlari sathi nisbatan chuqur bo'lgani sababli, uning 3 metr tuproq qatlamiga ta'siri e'tiborsiz qoldiriladi; shuning uchun pastki chegara erkin drenaj chegarasi sifatida belgilanadi [7].

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K(h) \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) - K(h) \right) - S(h) \quad (1)$$

bu yerda: θ - tuproqning hajmiy suv miqdori; h - napor; $K(h)$ - to'yingmagan gidravlik o'tkazuvchanlik; t - vaqt; z - vertikal fazoviy kordinata. Tuproqning gidravlik xususiyatlarini (2) - (4) tenglama bilan tavsiflash mumkin deb faraz qilib, (1) tenglamani yechish uchun van Genuchten [8] parametrik funksiyalari tanlangan:

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha h|^n)^m} & h < 0 \\ \theta_s & h \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$K(h) = K_s S_e^l \left[1 - \left(1 - S_e^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^m \quad (3)$$

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (4)$$

bu yerda: θ_r va θ_s mos ravishda qoldiq va to'yingan suv miqdorini bildiradi; α - havo kirish bosimi; n - g'ovaklik o'lchami taqsimoti va > 1 ga teng; m esa $1 - \frac{1}{n}$ ga teng; l - 0,5 ga teng deb qabul qilingan go'vaklik parametri; K_s - to'yingan gidravlik o'tkazuvchanlik; S_e - samarali suv miqdori hisoblanadi. Bu model bug'lanish transpiratsiyasini (ET_o) hisoblash uchun FAO Penman usulidan foydalanadi [9]:

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (5)$$

bu yerda: ET_o - mos yozuvlari bug'lanish transpiratsiyasi; Δ - bug' bosimi egri chizig'ining qiyaligi; R_n - ekin yuzasidagi sof bug'lanish; G - tuproq issiqlik oqimi zichligi; γ - psixrometrik doimiy; T - o'rtacha havo harorati; u_2 - 2 m balandlikdagi shamol tezligi; e_s - to'yingan bug' bosimi; e_a - haqiqiy bug' bosimi.

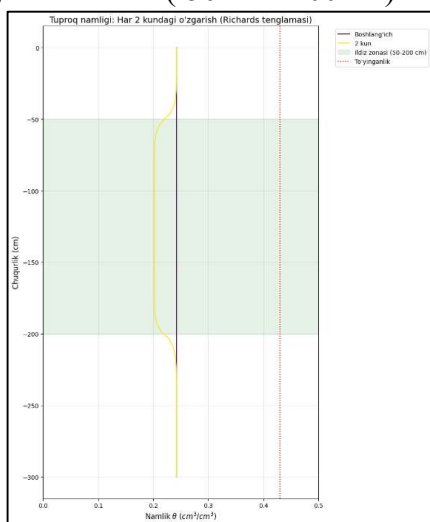
Standart sharoitlarda hosilning bug'lanishi (ET_c) quyidagicha hisoblab chiqildi:

$$ET_c = ET_o K_c$$

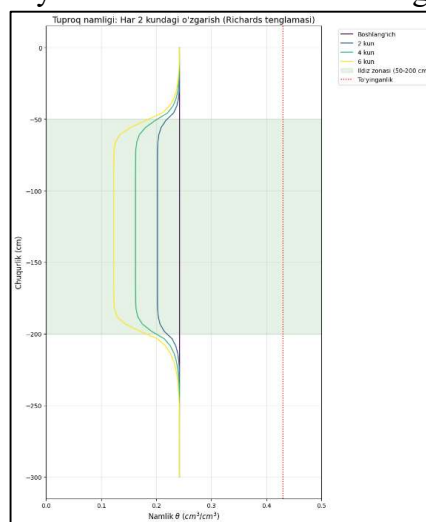
bu yerda K_c - FAO-56 tomonidan tavsiya etilgan kuzgi bug'doy va yozgi makkajo'xori ekin koeffitsientlaridan foydalangan holda hosil koeffitsienti [9]. Feddes modeli ildiz suvini yutish tezligini simulyatsiya qilish uchun ishlatilgan [10].

Natijalar tahlili

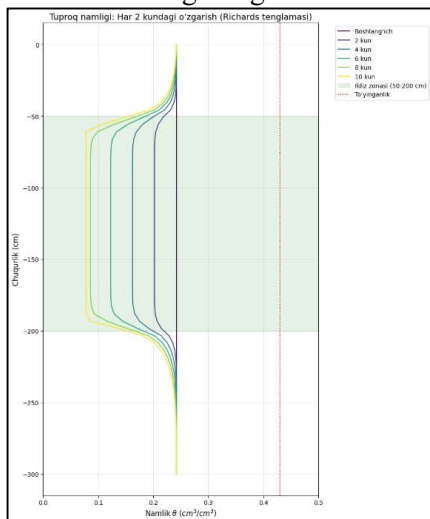
Tuproq namligi o'zgarishini aniqlash maqsadida amalga oshirilgan simulyatsiya 30 kunlik davrni qamrab oldi. Dastlabki holatda tuproq butun chuqurlik bo'yicha nisbatan quruq bo'lib, gidravlik bosim taxminan -100 sm edi. Shu paytda yuqori qatlamlar past namlikka ega bo'lib, ildiz zonasi (-50 dan -200 sm) o'simliklar uchun yetarli suv bilan ta'minlanmagan edi.



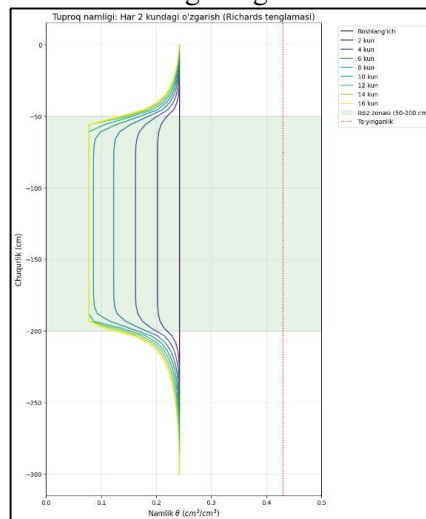
2-rasm. Tuproq namligining vaqt bo'yicha 2 kundagi o'zgarishi



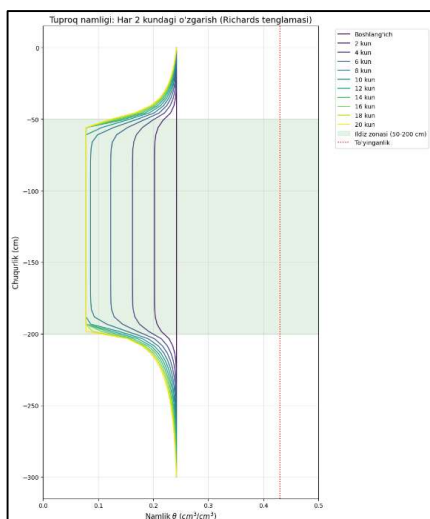
3-rasm. Tuproq namligining vaqt bo'yicha 6 kundagi o'zgarishi



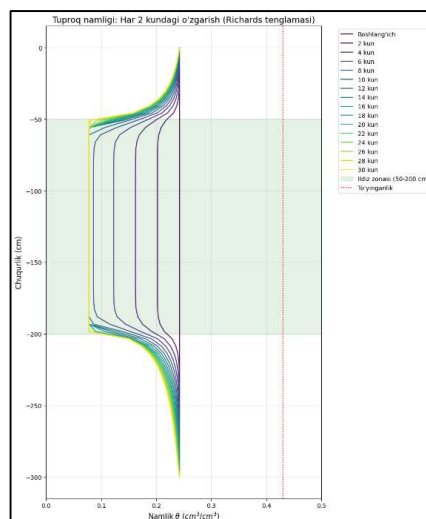
4-rasm. Tuproq namligining vaqt bo'yicha 10 kundagi o'zgarishi



5-rasm. Tuproq namligining vaqt bo'yicha 16 kundagi o'zgarishi



6-rasm. Tuproq namligining vaqt bo'yicha 20 kundagi o'zgarishi



7-rasm. Tuproq namligining vaqt bo'yicha 30 kundagi o'zgarishi

Simulyatsiyaning dastlabki 2 kunida yuqori 50 sm qatlamlarda namlik sezilarli darajada oshdi. Grafiklardan ko'rinib turibdiki, yuqori qatlamlar suv bilan tez to'yingan, ildiz zonasi esa hali to'yinganlikka yetmagan. Shu bosqichda pastki qatlamlarga suvning infiltratsiyasi juda sekin bo'lib, o'simliklar uchun suv stressi mavjud edi.

6-kunga kelib, ildiz zonasidagi namlik o'rtacha $0,25-0,28 \text{ sm}^3/\text{sm}^3$ ga yetdi. Bu suvning yuqori qatlamlardan pastga harakati bilan izohlanadi. Grafiklarda ildiz zonasi yaqinidagi namlikning barqaror oshishi ko'zga tashlanadi. Pastki qatlamlar esa hali ham qisman quruq bo'lib, gravitatsion oqim tufayli asta-sekin namlanmoqda. Shu davrda o'simliklar ildiz zonasi orqali yetarli suv olish imkoniyatiga ega bo'la boshlaydi.

10-kunda ildiz zonasidagi namlik barqaror holatga yaqinlashadi. O'rtacha namlik qiymati $0,28-0,32 \text{ sm}^3/\text{sm}^3$ ga yetib, o'simliklar uchun qulay suv sharoiti yaratiladi. Yuqori qatlamlar to'yinganlikka yaqinlashgan, pastki qatlamlar esa asta-sekin namlanmoqda. Grafiklardan ko'rinib turibdiki, yuqori qatlamlarda suv tez tarqaladi, pastki qatlamlarda esa infiltratsiya davom etadi, bu tuproqning suvni uzoq muddat ushlab turish qobiliyatini aks ettiradi.

16-kundan boshlab ildiz zonasidagi namlik maksimal darajaga yetadi, yuqori qatlamlar deyarli to'yingan, pastki qatlamlar esa asta-sekin suv bilan to'lmoqda. Shu paytda ildiz zonasidagi suv yetishmovchiligi minimal darajaga tushadi, o'simliklar uchun suv stressi deyarli yo'qoladi. Grafiklarda 16-kun chizig'i yuqori va ildiz qatlamlarining suv bilan to'yinganligini aniq ko'rsatadi.

20 va 30-kunlarda yuqori qatlamlar to'yinganlikka yaqin holatda saqlanadi, ildiz zonasi esa barqaror suv bilan ta'minlangan. Pastki qatlamlarning namligi gravitatsion oqim tufayli asta-sekin oshib, chuqurlik bo'yicha suv tarqalishi davom etmoqda. Natijalar shuni ko'rsatadiki, yuqori qatlamlar tez namlanadi, ildiz zonasi esa barqaror namlikka ega bo'lib, o'simliklar uchun qulay sharoit yaratadi, pastki qatlamlar esa sekin namlanadi va tuproqning suv saqlash xususiyatini ta'kidlaydi.

Xulosa

Mazkur tadqiqot natijalari ko'rsatdiki, sug'orish va tabiiy yog'ingarchilik tuproqning yuqori qatlamlarini tez namlantiradi va barqaror infiltratsion kanallar hosil bo'lishini ta'minlaydi. Simulyatsiya davomida yuqori 50 sm qatlamda namlikning tez oshishi, ildiz zonasida esa namlikning barqaror holatga kelishi kuzatildi, bu esa o'simliklar uchun suv

stressining kamayishini ta'minlaydi. Pastki qatlamlarda (2-3 metr) suvning sekin infiltratsiyasi davom etib, tuproqning suvni uzoq muddat ushlab turish xususiyati namoyon bo'ldi.

Tadqiqot shuni ko'rsatadiki, yuqori qatlamlarning tez to'yinganligi va ildiz zonasidagi barqaror namlik o'simliklar uchun qulay sharoit yaratadi, pastki qatlamlarning asta-sekin namlanishi esa suv resurslarini samarali boshqarish imkonini beradi. Ushbu natijalar tuproq suvini boshqarish, sug'orish rejalarini optimallashtirish va agroekotizim barqarorligini ta'minlashda muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega. Shu bilan birga, takomillashtirilgan matematik model tuproq namligi va infiltratsiya jarayonlarini aniqlik bilan prognoz qilishda ishonchli vosita sifatida xizmat qiladi.

Adabiyotlar ro'yxati

1. Ghotbi A.R., Omidvar M., Barari A. Infiltration in unsaturated soils – An analytical approach // *Computers and Geotechnics*. 2011. Vol. 38, No. 6. Pp. 777–782. DOI: 10.1016/j.compgeo.2011.05.007.
2. Clement T.P., Wise W.R., Molz F.J. A physically based, two-dimensional, finite-difference algorithm for modeling variably saturated flow // *Journal of Hydrology*. 1994. Vol. 161, No. 1–4. Pp. 71–90. DOI: 10.1016/0022-1694(94)90121-X.
3. Tabuada M.A., Rego Z.J.C., Vachaud G., Pereira L.S. Two-dimensional infiltration under furrow irrigation: modelling, its validation and applications // *Agricultural Water Management*. 1995. Vol. 27, No. 2. Pp. 105–123. DOI: 10.1016/0378-3774(95)01136-7.
4. Sajid M., Hayat T., Asghar S. On the analytic solution of the steady flow of a fourth grade fluid // *Physics Letters A*. 2006. Vol. 355, No. 1. Pp. 18–26. DOI: 10.1016/j.physleta.2006.01.092.
5. Zhu H., Liu T., Xue B., Wang G. Modified Richards' Equation to Improve Estimates of Soil Moisture in Two-Layered Soils after Infiltration // *Water*. 2018. Vol. 10. Art. no. 1174. DOI: 10.3390/w10091174.
6. He J., Hantush M.M., Kalin L., Rezaeianzadeh M., Isik S. A two-layer numerical model of soil moisture dynamics: Model development // *Journal of Hydrology*. 2021. Vol. 602. Art. no. 126797. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.126797.
7. Šimůnek J., van Genuchten M.T., Šejna M. Development and applications of the HYDRUS and STANMOD software packages and related codes // *Vadose Zone Journal*. 2008. Vol. 7. Pp. 587–600. DOI: 10.2136/vzj2007.0077.
8. Mualem Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media // *Water Resources Research*. 1976. Vol. 12. Pp. 513–522. DOI: 10.1029/WR012I003P00513.
9. 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: FAO. 1998. 300 p.
11. Feddes R.A., Kowalik P.J., Zaradny H. Simulation of field water use and crop yield. New York: Halsted Press, John Wiley & Sons. 1978. 189 p.