QO‘QON DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI ILMIY XABARLARI
(2026-yil 10-son)

TABIIY FANLAR

NATURAL SCIENCES

https://doi.org/10.70728/a.series.tab.v08.i10.182

CHO‘L EKSTREMOFIL O‘SIMLIKLARINING EKOLOGIK VA GIDROEKOLOGIK MOSLANISHLARI

(O‘simliklarning ekstremal sharoitlarga moslanish mexanizmlari bo‘yicha ilmiy sharh)

Turdiyev Doston Ergash o‘g‘li
Junior Researcher, Institute of Botany,
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.
E-mail: doston.turdiyev.91@mail.ru

Annotatsiya. Maqolada cho‘l o‘simliklarining ekstremal muhitda yashovchanligini ta’minlovchi ekologik va gidroekologik mexanizmlar tahlil qilindi. Suv manbalari, ildiz tuzilishi, atmosfera namligi, gipsli substratlar, sho‘rlanish va biotik munosabatlarning moslanish jarayonlaridagi o‘rni umumlashtirildi. Suvdan foydalanish strategiyalarining tur xususiyatlari, ontogenez bosqichi, mavsumiy dinamika va tuproq tuzilishiga bog‘liqligi ko‘rsatildi. Tuman, shudring, gipsning kristallanish suvi hamda gidravlik qayta taqsimlanishning ekologik ahamiyati baholandi. O‘simliklar yashovchanligi suvni o‘zlashtirish, uning sarfini cheklash va hujayraviy stressga chidamlilikning o‘zaro bog‘liqligi asosida talqin qilinib, gidrologik imkoniyatlar bilan fiziologik cheklovlarni birgalikda baholash zarurligi asoslandi.

Kalit so‘zlar: Qizilqum, ekstremofil o‘simliklar, cho‘l ekologiyasi, gidroekologiya, suvdan foydalanish strategiyalari, gipsning kristallanish suvi, sho‘rlanishga chidamlilik, gidravlik qayta taqsimlanish.

Abstract. This article reviews and synthesizes the ecological and ecohydrological mechanisms that enable desert plants to survive under extreme environmental conditions. Particular attention is given to the roles of water sources, root system architecture, atmospheric moisture, gypsum-rich substrates, salinity, and biotic interactions in plant adaptation. Water-use strategies are discussed in relation to species-specific traits, ontogenetic stages, seasonal dynamics, and soil structure. The ecological significance of fog, dew, water of crystallization in gypsum, and hydraulic redistribution is also evaluated. Plant survival is interpreted as the result of interconnected mechanisms of water acquisition, water-loss regulation, and cellular-level stress tolerance. The review emphasizes the importance of jointly considering water availability and accessibility alongside physiological constraints when assessing plant adaptation to arid environments.

Keywords: Kyzylkum Desert, extremophile plants, desert ecology, ecohydrology, water-use strategies, gypsum crystallization water, salinity tolerance, hydraulic redistribution.

KIRISH. Cho‘l ekstremofil o‘simliklari suv tanqisligi, sho‘rlanish, harorat keskinligi va kuchli radiatsiya birgalikda ta’sir qiladigan muhitda yashashga moslashgan biologik tizimlar sifatida ekologik tadqiqotlar uchun muhim model hisoblanadi [4, 16]. Bunday muhitda turning saqlanishini faqat qurg‘oqchilikka chidamlilik bilan tushuntirish yetarli emas, chunki tabiiy sharoitda stress omillari bir-birining ta’sirini kuchaytirishi yoki ayrim himoya javoblari orqali qisman yumshatishi mumkin [14, 16]. Shuning uchun o‘simlikning tarqalishi va jamoa tarkibini izohlashda suv rejimi, substrat xususiyatlari va fiziologik mexanizmlarni o‘zaro bog‘langan holda ko‘rib chiqish zarur [13, 20]. Qizilqum hududida tuproq xususiyatlari va relyef bilan bog‘liq jamoaviy farqlanish suv–tuz rejimini ekologik moslanishlar bilan birgalikda o‘rganish zarurligini ko‘rsatadi [2, 3].

O‘simliklarga nisbatan «ekstremofil» atamasi ekologik jihatdan turlicha guruhlarni qamrab oladi, ularning chidamlilik darajasi va mexanizmlari bir xil emas [4, 16]. Kserofitlar, galofitlar, gipsli substrat turlari va suvsizlanishdan keyin tiklanuvchi o‘simliklar suvdan foydalanish strategiyalari bilan farqlanadi [4, 13, 15]. Moslanish fenologik qochish, suv sarfini cheklash yoki hujayra tuzilmalarini himoyalash orqali namoyon bo‘lishi mumkin [4, 26]. Shu sababli chidamlilikni faqat chuqur ildizlilik yoki sukkulentlik bilan baholash yetarli emas [16, 26].

Suvning tuproqda mavjudligi uning barcha o‘simliklar uchun bir xil darajada ochiqligini bildirmaydi, chunki ildiz tarqalishi, mexanik to‘siqlar va tuproq teksturasi undan foydalanish imkoniyatini cheklaydi [9, 17]. Gidroekologik tahlilda tuproq profili va uning fazoviy geterogenligi biologik kuzatuv bilan birga qayd etilishi kerak [7, 21]. Cho‘l sharoitida suv sathi bilan aloqa o‘simlik yoshi va ildiz tizimining rivojlanishiga qarab ham almashadi [20, 30]. Gipsli substratlardagi o‘simliklar suv manbalari haqidagi odatiy tasavvurni kengaytiradi, chunki gipsning kristall tuzilishidagi suv ayrim turlar uchun muhim manba bo‘lishi mumkin [22].

Sho‘rlangan muhitda erigan tuzlar suvning osmotik o‘zlashtirilishini qiyinlashtiradi, shu bois tuproqdagi suv miqdori fiziologik foydalanish imkoniyatiga teng emas. Galofitlarda ionlarning nazoratli yutilishi, hujayra bo‘limlariga taqsimlanishi va organik osmolitlar yig‘ilishi muhim mexanizmlardir [15]. Qizilqumda *Climacoptera lanata* va *Tamarix hispida* ning tuz to‘plash hamda ajratish xususiyatlari yoritilgan; bunday farqlarni tuproq va o‘simlik to‘qimalarining ion tarkibini qiyoslash orqali tadqiq etish mumkin [8]. Namlik va sho‘rlanishning qo‘shma gradienti funksional belgilar bilan birga baholanishi kerak [15, 29].

MATERIAL VA METODLAR.

Tadqiqot qiyosiy-ekologik tahlil va funksional guruhlashga asoslandi. O‘simliklar suv manbai, ildizning faol qatlami, fenologiya va sho‘rga chidamlilik mexanizmlari bo‘yicha taqqoslandi. Geobotanik tavsiflar, tuproq profili, suv potensiali va izotop natijalari bir xil ekologik savollar asosida talqin qilindi [2, 9, 15, 26, 30].

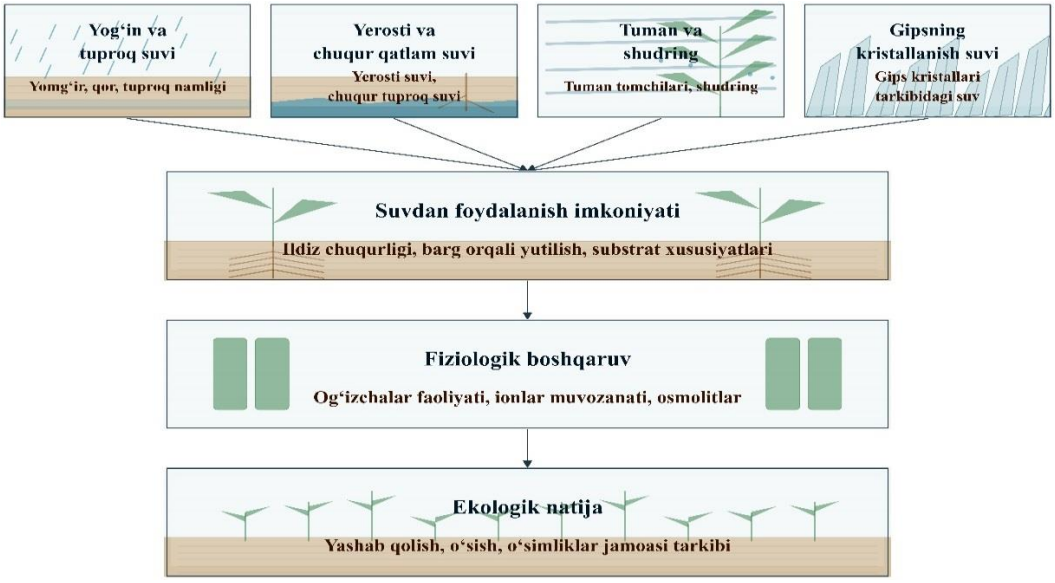
Tahlilda suvning mavjudligi, o‘simlikka kirish yo‘li va fiziologik javob ajratildi. Izotop natijalari mavsum, namuna chuqurligi va ehtimoliy manbalarning farqlanishi bilan birga baholandi [9, 30]. Kuzatuv bog‘lanishlari nazoratli tajribalardan farqlandi; ildiz chuqurligi yoki barg namlanishi suv yutilishining bevosita isboti sifatida qabul qilinmadi [18, 28]. Mahalliy natijalarning qo‘llanish chegarasi substrat, gidrologik sharoit va o‘rganilgan rivojlanish bosqichi bilan belgilandi [3, 11, 19].

MUHOKAMALAR.

Yog‘in impulslari va suv manbalarining almashishi. Schwinning va Ehleringer [26] ikki qatlamli tuproq–o‘simlik modeli yordamida suv resurslarining vaqt bo‘yicha taqsimlanishi belgilar majmuasini qanday o‘zgartirishini tahlil qilgan. Modelda sayoz qatlam impulslari muhim bo‘lsa, suvni tez o‘zlashtiruvchi sayoz ildiz tizimi va suv holatiga sezgir barg o‘tkazuvchanligi ustunligini ko‘rgan. Chuqur suvning hissasi oshganda esa chuqur ildizlarga ko‘proq resurs ajratish va nisbatan past barg o‘tkazuvchanligi optimal yechimga aylangan.

Dagda-Torres [7] yog‘in impulsiga javobni elektr qarshilik tomografiyasi, barqaror izotoplar va turbulent oqim kovariatsiyasi orqali tuproqqa kirish, qayta taqsimlanish hamda atmosfera bilan almashinuv miqyoslarida o‘rgangan. Karbonatlar bilan sementlangan kaliche qatlamlarining notekisligi profil namlanishini o‘zgartiradi. Qizilqum sharoitida bu bog‘lanishni tekshirish uchun yog‘in va mikroiqlim kuzatuvlarini infiltrometriya hamda qatlamlar bo‘yicha takroriy namlik o‘lchovlari bilan birlashtirish maqsadga muvofiq. Substratga bog‘liq jamoaviy farqlar bunday taqqoslashning ekologik asosini beradi [2, 3].

Ildiz chuqurligi yerosti suvi va gidravlik qayta taqsimlanish. *Haloxylon ammodendron* ning 5, 10, 20 va 40 yoshli plantatsiyalarida suv manbalari yosh hamda mavsum bo‘yicha almashgani aniqlangan [30]. Shimoli-g‘arbiy Qizilqumdagi oq saksovul yaylovlarida qumli substrat va ildiz tizimining ahamiyati qayd etilgan [11]. Ildizning chuqurligini suv yutiladigan faol qatlam bilan tenglashtirmasdan, tuproq namligi, yerosti suvining chuqurligi va minerallashuvini birgalikda baholash zarur [15, 20, 30] (1-rasm). Shu yondashuv individning rivojlanish bosqichi bilan suv ta’minoti o‘rtasidagi bog‘lanishni tekshirish imkonini beradi [11, 30].



1-rasm. Suv manbai va ekologik natija o‘rtasidagi bog‘lanish.

Richards va Caldwell [24] *Artemisia tridentata* ildizlari orqali kechasi nam qatlamdan quruq yuqori tuproqqa suv o‘tishiga mos keluvchi dala dalillarini keltirgan. Bu jarayon gidravlik ko‘tarilish deb ataladi va chuqur ildizlar orqali yutilgan suvning bir qismi quruq qatlamga chiqarilishini bildiradi. Jarayon yangi suv hosil qilmaydi, balki mavjud suvning tuproq qatlamlari o‘rtasida ildiz orqali qayta taqsimlanishini anglatadi.

Tuman, shudring va atmosfera namligining ekologik hissasi. Cáceres va hammualliflar [5] Atakama bo‘ylab harorat, nisbiy namlik va yig‘ilgan tuman suvini o‘lchab, qirg‘oqdan ichkariga tomon suv yig‘ilishining kamayishini aniqlagan. Relyef va havo aylanishi tuman suvining fazoviy taqsimlanishiga ta’sir qilgani uchun bir nuqtadagi kollektor natijasini butun cho‘lning suv kirimi sifatida qabul qilib bo‘lmaydi [5, 21]. Kollektor suvning mavjud bo‘lish imkoniyatini o‘lchaydi, o‘simlikning suv yutish yo‘lini esa qo‘shimcha fiziologik yoki izotop o‘lchovlar bilan aniqlash kerak [5, 28].

Ebner va hammualliflarning [12] *Stipagrostis sabulicola* bo‘yicha ishi tuman suvining substratga oqishi, o‘simlik asosida saqlanishi va mikroiqlim yumshashi birga ishlashini namoyish etadi. Tadqiqotda o‘simlik to‘pi ichidagi havo harorati yalang‘och qumga nisbatan 7.5 °C gacha past, namlik esa 11 foizga yuqori bo‘lgani bildirilgan. Shu misol o‘simlik suvni passiv qabul qilish bilan cheklanmay, o‘z atrofi namligi va issiqlik rejimini o‘zgartirishi mumkinligini ko‘rsatadi.

Gipsli substratlar va yashirin suv omborlari. Gipsli tuproqlar qattiq sirt qobig‘i, o‘ziga xos kimyoviy tarkibi va oziqa moddalari kamligi sababli faqat ayrim o‘simliklarning o‘sishiga imkon beradi. Escudero va hammualliflar [13] gipsga ixtisoslashgan keng tarqalgan turlarni, tor arealli gips turlarini va turli tuproqlarda, jumladan, gipsda ham o‘sadigan turlarni ajratib, ularning gipsli tuproqqa bog‘liqligi turlicha ekanini ko‘rsatgan. Demak, turning gipsli hududda uchrashi uning gips tarkibidagi kristallanish suvidan foydalanishga moslashganini o‘z-o‘zidan tasdiqlamaydi [9, 13].

Palacio [22] gipsning kristallanish suvi va erkin tuproq suvi o‘rtasidagi izotop farqlari asosida o‘simliklarning yozda ushbu manbalardan foydalanish ulushini baholagan. Model natijalariga ko‘ra, ildizi yuzada joylashgan o‘simliklar olgan suvning 70–90 foizi kristallanish suviga to‘g‘ri kelgan. Ko‘pchilik ildizi yuzada joylashgan o‘simliklar uchun kristallanish suvi muhim bo‘lgan, chuqur ildizlilar esa asosan 50–100 sm chuqurlikdagi erkin tuproq suvidan foydalangan. Demak, o‘simliklarning qaysi suv manbasidan foydalanishi gipsga ixtisoslashganligidan ko‘ra ildizlarining joylashuvi bilan yaxshiroq izohlangan [9, 22].

Sho‘rlanish funksional belgilar va fiziologik moslanish. Flowers va Colmer [15] galofitlarning tuzga chidamliligini Na^+, K^+ va Cl^- ionlari harakatini boshqarish, ularni hujayraning turli qismlarida saqlash va osmotik muvozanatni ta’minlovchi organik birikmalar hosil qilish bilan izohlaydi. Qizilqum o‘simliklarining tuzni to‘plash va tashqariga chiqarish usullarini aniqlash uchun tuproq eritmasi va o‘simlik to‘qimalaridagi ionlar tarkibini qiyoslash muhim [8]. Namlik va tuz miqdori bir-biridan mustaqil o‘zgartiriladigan tajribalar esa ularning o‘simlikka alohida va birgalikdagi ta’sirini aniqlashga yordam beradi [15].

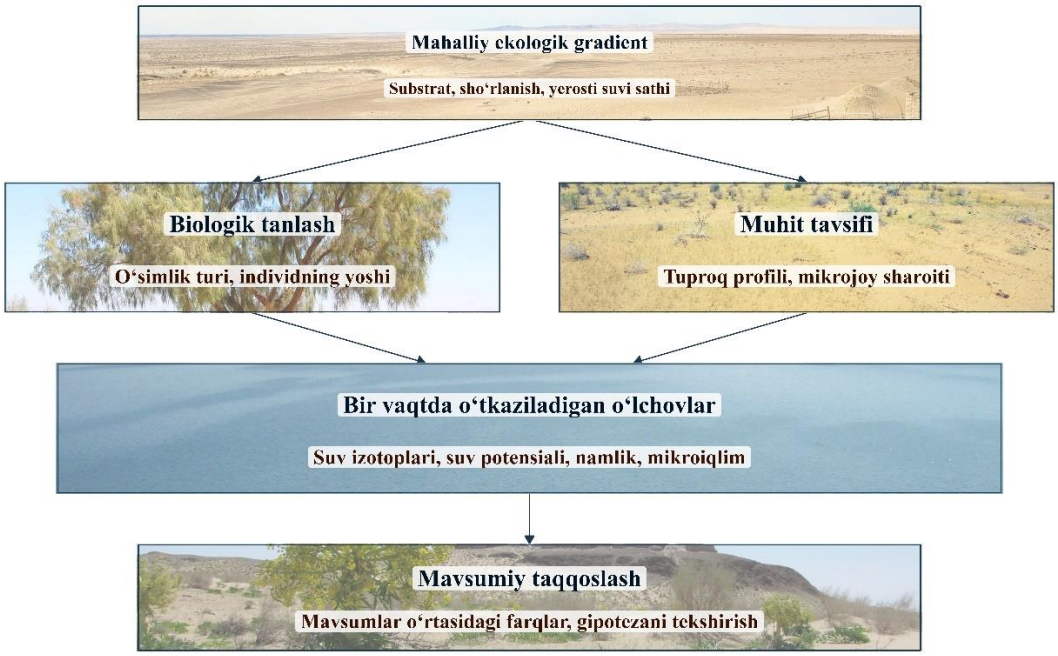
Chidamlilikda suv manbai va undan foydalanishning ro‘li. Cho‘l o‘simliklarining saqlanishi suvni o‘zlashtirish, sarfni boshqarish va hujayraviy zararni cheklashning turli kombinatsiyalariga tayanadi [4, 15, 16, 26]. «Suv manbai → unga kirish → fiziologik boshqaruv → ekologik natija» ketma-ketligi ushbu mexanizmlarni bir tizimda taqqoslash imkonini beradi [4, 9, 26, 30]. Chuqur suvning mavjudligi ildizi unga yetmaydigan niholni himoya qilmaydi. Katta individda esa suvning sho‘rligi va ionlarni boshqarish xarajati cheklov bo‘lishi mumkin [15, 30]. Tahlil davomida «chuqur ildizli tur» kabi umumiy yorliq o‘rniga individ yoshi, ildizning faol qatlami va kuzatuv mavsumini ko‘rsatish ko‘proq tushuntirish kuchiga ega ekani aniqlandi [9, 17, 30] (1-jadval).

1-jadval. Cho‘l o‘simliklarining suvdan foydalanishi va stressga chidamliligi bo‘yicha ochiq ilmiy savollar hamda ularni o‘rganish usullari.

Aniqlashtirilishi zarur bo‘lgan ilmiy savol	Mavjud tadqiqotlarda olingan dalillar	Tavsiya etiladigan tadqiqot usullari
Tuman va shudring suvi o‘simlikka barg yoki ildiz orqali kiradimi?	Atmosfera namligi ta’sirida barglarning suv potensiali yaxshilanishi kuzatilgan [28].	Belgilangan suv yordamida uning harakatini kuzatish hamda barg va ildiz orqali suv o‘zlashtirishni alohida tekshiradigan tajribalar o‘tkazish [18].
Gipsning kristallanish suvidan foydalanish mavsum va geologik sharoitga qanday bog‘liq?	Suv manbalarining izotop tarkibi va ulardan foydalanishda mavsumiy farqlar aniqlangan [9; 22].	Turli geologik sharoitlarda, yilning turli fasllarida o‘simlik va ehtimoliy suv manbalaridan takroriy namunalar olish.
Tuproq namligi va sho‘rlanish o‘simliklarga alohida qanday ta’sir ko‘rsatadi?	O‘simliklarning funksional belgilari o‘rtasidagi bog‘lanishlar namlik va sho‘rlanish gradientlari bilan aloqador [29].	Tuproq namligi va tuz miqdorini bir-biridan mustaqil o‘zgartirish orqali ularning alohida va birgalikdagi ta’sirini baholash.
Aniqlangan genlar o‘simlikning stressga chidamliligini amalda ta’minlaydimi?	Moslanishda ishtirok etishi mumkin bo‘lgan genlarda tabiiy tanlanish belgilari aniqlangan [14].	Genlarning vazifasini tajribada tekshirish va natijalarni tabiiy sharoitdagi suv ta’minoti hamda o‘simlikning fiziologik holati bilan bog‘lash [4].
Ekotizimlarni tiklashda o‘simlik yoshi va mahalliy suv sharoitini qanday hisobga olish kerak?	Turli yoshdagi o‘simliklarning foydalanadigan suv manbalari farqlanishi ko‘rsatilgan [30].	Yerosti suvi sathi va o‘simliklar zichligi turlicha bo‘lgan maydonlarda yashab qolish, o‘sish va tabiiy yangilanishni uzoq muddat kuzatish.
Qisqa muddatli natijalarni uzoq muddat va keng hududlarga qay darajada tatbiq etish mumkin?	Qisqa va uzoq muddatdagi ekologik javoblar bir-biridan farqlanishi qayd etilgan [10].	Ko‘p yillik kuzatuvlar olib borish va tahlilda hudud bo‘ylab tuproq, namlik hamda o‘simlik qoplamining notekisligini hisobga olish [21].

Markaziy Osiyo cho‘llari uchun tadqiqot yo‘nalishlari. Qizilqumda dominant turlarning suv strategiyalarini tekshirishda o‘simlik va tuproq namunalarini olish, profil namligini kuzatish hamda geobotanik tavsiflarni birlashtirish muhimdir [2, 3, 11]. Meteostansiya yog‘in va bug‘lanish talabining meteorologik omillarini, infiltrometr suvning tuproqqa kirishini tavsiflaydi. Ular o‘simlik suv potensiali va zarur hollarda δ^2H–$\delta^{18}O$ tahlili bilan to‘ldirilganda manba va fiziologik javobning bog‘liqligi tekshiriladi [9, 20, 30]. Izotop usulida ehtimoliy manbalar va o‘simlik suvi bir mavsumda namunalanishi, bir-biriga yaqin signallar esa ajratish imkoniyatini cheklashi hisobga olinadi [9, 30].

Gipsli va sho‘r uchastkalarni solishtirishda substratning kimyoviy ta’sirini uning suv saqlash xususiyatidan ajratish alohida savol sifatida qo‘yilishi lozim [9, 13, 15, 22]. Gipsga mansublik va gidrologik nisha turlicha mezonlar bo‘lgani uchun, maydon dizaynida ildiz chuqurligi hamda suv manbalari mustaqil o‘lchanishi maqsadga muvofiq [9]. Biologik qobiq yoki buta soyasining foydasini baholashda esa o‘simlik holati bilan bir qatorda nazorat uchastkasidagi namlik va mikroiqlim solishtirilishi kerak [1, 12, 13].



2-rasm. Mahalliy gidroekologik tadqiqot uchun taklif etiladigan dizayn.

Tavsiya etilgan sxemada (2-rasm) yomg‘irdan keyingi va quruq davrdagi takroriy kuzatuvlar bir xil individlar va belgilangan chuqurliklarda olib borilishi ko‘zda tutiladi [7, 9, 17, 30]. Ushbu dizayn turlarning farqi bilan mikrojoy ta’sirini ajratishga yordam berishi mumkin, ammo namuna soni maydon dispersiyasi va statistik quvvat tahlili asosida alohida belgilanadi [17, 21]. Sxema tayyor dala protokoli yoki bajarilgan tajriba emas, manbalardan kelib chiqqan tadqiqot taklifidir [7, 9, 17, 21, 30].

XULOSA.

Tahlil asosida xulosa qilish mumkinki, cho‘l ekstremofil o‘simliklarining yashab qolishi suv manbalarining mavjudligi, ulardan ildiz yoki barg orqali foydalanish imkoniyati hamda fiziologik boshqaruvning o‘zaro uyg‘unligiga bog‘liq. Bir turning suvdan foydalanish strategiyasi yoshiga, mavsumga va tuproq qatlamlaridagi sharoitga qarab o‘zgaradi. Shu bois o‘simliklarning moslanishini ekologik va gidroekologik sharoitlar bilan birgalikda baholash

zarur. Qizilqum o‘simliklariga oid ma’lumotlar ham ushbu yondashuvning ahamiyatini ko‘rsatadi.

Tuman va shudring o‘simliklarning suv bilan ta’minlanishini yaxshilashi va mikroiqlimni yumshatishi mumkin. Biroq ularning mavjudligi o‘simlikning atmosfera suviga to‘liq qaramligini yoki suvni bevosita barg orqali yutishini isbotlamaydi. Gipsning kristallanish suvi alohida suv manbai, gidravlik qayta taqsimlanish esa suvning tuproq qatlamlari o‘rtasida ildizlar orqali ko‘chish jarayoni sifatida baholanishi lozim.

Cho‘l o‘simliklarining chidamliligini tushuntirishda namlik va sho‘rlanishning alohida hamda birgalikdagi ta’sirini aniqlash muhim. Molekulyar darajadagi natijalarni dala kuzatuvlari bilan tekshirish, mahalliy xulosalarni esa boshqa cho‘l hududlariga tatbiq etishda sharoitlar farqini hisobga olish zarur. Kelgusi tadqiqotlarda barqaror izotoplar tahlilini tuproq qatlamlaridagi namlik, o‘simlik suv potensiali va mikroiqlimning mavsumiy o‘lchovlari bilan uyg‘unlashtirish har bir tur va hududga xos suvdan foydalanish mexanizmlarini aniqlashga yordam beradi.



3-rasm. Qizilqum cho‘lining markaziy qismida, Dzyanzagash ko‘lining shimoliy qismida joylashgan, mavsumiy botqoqlanadigan sho‘rxok hududlar.



4-rasm. Qizilqum cho‘lidagi Ayakagitma botig‘ining sharqiy qismida gipsli substratlar tarqalgan hududning umumiy ko‘rinishi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI.

1. Al-Thani R.F., & Yasseen B.T. (2018). Biological soil crusts and extremophiles adjacent to native plants at sabkhas and rawdahs, Qatar: The possible roles. *Frontiers in Environmental Microbiology,* 4 (2), 55–70 p. https://doi.org/10.11648/j.fem.20180402.13

2. Kapustina L.A. (2001). Biodiversity, ecology, and microelement composition of Kyzylkum Desert shrubs (Uzbekistan). In E. D. McArthur & D. J. Fairbanks (Comps.), Shrubland ecosystem genetics and biodiversity (pp. 98–103). USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-21.

3. Voronin P.Yu., Shuyskaya E.V., Toderich K.N., Rajabov T.F., Ronzhina D.A., & Ivanova L.A. (2019). Distribution of C_4 plants of the Chenopodiaceae family according to the salinization profile of the Kyzylkum Desert. Russian Journal of Plant Physiology, 66, 375–383 p. https://doi.org/10.1134/S1021443719030166

4. Bechtold U. (2018). Plant life in extreme environments: How do you improve drought tolerance? *Frontiers in Plant Science,* 9, 543. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00543

5. Cáceres L., Gómez-Silva B., Garró X., Rodríguez V., Monardes V., & McKay C.P. (2007). Relative humidity patterns and fog water precipitation in the Atacama Desert and biological implications. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences,* 112 (G4), G04S14. https://doi.org/10.1029/2006jg000344

6. Cleverly J.R. (1999). *Plant physiology and competition in a Mojave Desert riparian ecosystem: Proximate solutions to ultimate questions.* [Doctoral dissertation, University of Nevada, Las Vegas]. UNLV Retrospective Theses & Dissertations. https://doi.org/10.25669/3lb8-t2l8

7. Dagda-Torres A. (2025). *Hydrological responses to rainfall pulses in desert vadose zones: A multi-scale approach integrating geophysical, isotopic, and eddy-covariance measurements.* [Doctoral dissertation, University of Texas at El Paso]. Open Access Theses & Dissertations. https://scholarworks.utep.edu/open_ etd/4535

8. Rakhimova T., Komilova N., Allaberdiev R., Kamalova M., Kuchkarov N., Sherimbetov V., & Arifxanova D. (2023). Salt balance of promising halophytes *Climacoptera lanata* L. and *Tamarix hispida* L. in the Kyzylkum Desert. Innovaciencia, 11(1), 1–13 p. https://doi.org/10.15649/2346075X.3604

9. Puente L., Ferrio J.P., & Palacio S. (2022). Disentangling water sources in a gypsum plant community. Gypsum crystallization water is a key source of water for shallow-rooted plants. Annals of Botany, 129(1), 87–100 p. https://doi.org/ 10.1093/aob/mcab107

10. Díaz F.P., Latorre C., Carrasco-Puga, G., Wood, J. R., Wilmshurst, J. M., Soto, D. C., Cole, T. L., & Gutiérrez, R. A. (2019). Multiscale climate change impacts on plant diversity in the Atacama Desert. *Global Change Biology,* 25 (5), 1733–1745 p. https://doi.org/10.1111/gcb.14583

11. Sharipova V.K., Rakhimova T., Rakhimova N.K., Shomurodov Kh.F., Adilov B.A., & Sadinov Zh.S. (2025). The current state of white saxaul pastures in Northwestern Kyzylkum related to desertification. Arid Ecosystems, 15 (3), 338–346 p. https://doi.org/10.1134/S2079096125700258

12. Ebner M., Roth-Nebelsick A., Bocherens H., Gschwender F., Baumeister M., Miranda Ebner N., Hohberg K., Gan H. Y., Schneider C., Maggs-Kölling G., Marais E., Lehmitz R., & Miranda T. (2025). The fog harvesting Namib Desert dune grass Stipagrostis sabulicola promotes niche building by modifying substrate and atmosphere conditions. *Journal of Arid Environments,* 227, 105312. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2024.105312

13. Escudero A., Palacio S., Maestre F. T., & Luzuriaga A. L. (2015). Plant life on gypsum: a review of its multiple facets. *Biological Reviews,* 90 (1), 1–18 p. https://doi.org/10.1111/brv.12092

14. Eshel G., Araus V., Undurraga S., Soto D.C., Moraga C., Montecinos A., Moyano T., Maldonado J., Díaz F.P., Varala K., Nelson C.W., Contreras-López O., Pal-Gabor H., Kraiser T., Carrasco-Puga G., Nilo-Poyanco R., Zegar C.M., Orellana A., Montecino M., Gutiérrez R.A. (2021). Plant ecological genomics at the limits of life in the Atacama Desert. *Proceedings of the National Academy of Sciences,* 118 (46), e2101177118. https://doi.org/10.1073/pnas.2101177118

15. Flowers T.J., & Colmer T.D. (2008). Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist,* 179 (4), 945–963 p. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008. 02531.x

16. Fradera-Soler M., Barbolini N., Žerdoner Čalasan A., Schubert M., Rydin C., Grace O.M., & Humphreys A.M. (2026). Hot and cold deserts as eco-evolutionary arenas for understanding plant resistance to multiple abiotic stressors. *Biological Reviews*. Advance online publication. https://doi.org/10.1002/brv.70207

17. Gardea M.E. (2022). *Water sourcing strategies of desert vegetation in varying soil textures with vegetation competition: A stable isotope analysis.* [Master’s thesis, University of Texas at El Paso]. Open Access Theses & Dissertations. https://scholarworks.utep.edu/open_etd/3606

18. Gersony J., Manandhar A., Hochberg U., Abdellaoui N., Llanos P., Dumais J., Holbrook N.M., & Rockwell F.E. (2025). Making dew in the Atacama Desert: a paradigmatic case of plant water uptake from an unsaturated atmosphere fails a test. *Annals of Botany,* 135 (5), 841–850 p. https://doi.org/10.1093/aob/mcae221

19. Shomurodov Kh.F., Abduraimov O.S., & Adilov B.A. (2021). Assessment of the state of *Tulipa lehmanniana* Mercklin populations under the conditions of the Kyzylkum Desert. Arid Ecosystems, 11(1), 83–90 p. https://doi.org/10.1134/S2079096121010133

20. Klijn F., & Witte J.-P. M. (1999). Eco-hydrology: Groundwater flow and site factors in plant ecology. *Hydrogeology Journal,* 7, 65–77 p.

21. Mohanty B., & Mishra D. (2026). Scale and spatial heterogeneity in ecohydrology. In B. P. Wilcox H. Asbjornsen I.F. Creed L. Wang & K.R. Smettem (Eds.), *Routledge handbook of terrestrial ecohydrology* (pp. 21–32). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003383918-4

22. Palacio S., Azorín J., Montserrat-Martí G., & Ferrio J.P. (2014). The crystallization water of gypsum rocks is a relevant water source for plants. *Nature Communications,* 5 (1), 4660. https://doi.org/10.1038/ncomms5660

23. Akhmedov A., Umurzakova Z., Muminov M.A., et al. (2025). Assessment of populations of *Lagochilus vvedenskyi* (Lamiaceae) in the Kyzyl-Kum desert of Uzbekistan under drying climate. Plant Science Today, 12(4), 1–8 p. https://doi.org/10.14719/pst.8756

24. Richards J.H., & Caldwell M.M. (1987). Hydraulic lift: Substantial nocturnal water transport between soil layers by Artemisia tridentata roots. *Oecologia,* 73 (4), 486–489 p. https://doi.org/10.1007/bf00379405

25. Sahli R., Rivière C., Neut C., Bero J., Sahuc M.-E., Smaoui A., Beaufay C., Roumy V., Hennebelle T., Rouillé Y., Quetin-Leclercq J., Séron K., Ksouri R., & Sahpaz S. (2017). An ecological approach to discover new bioactive extracts and products: The case of extremophile plants. *Journal of Pharmacy and Pharmacology,* 69 (8), 1041–1055 p. https://doi.org/10.1111/jphp.12728

26. Schwinning S., & Ehleringer J.R. (2001). Water use trade-offs and optimal adaptations to pulse-driven arid ecosystems. *Journal of Ecology,* 89 (3), 464-480. https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2001.00576.x

27. Soderberg K.S. (2010). *The role of fog in the ecohydrology and biogeochemistry of the Namib Desert.* [Doctoral dissertation, University of Virginia].

28. Wang L., Kaseke K.F., Ravi S., Jiao W., Mushi R., Shuuya T., & Maggs-Kölling G. (2019). Convergent vegetation fog and dew water use in the Namib Desert. *Ecohydrology,* 12(7), e2130. https://doi.org/10.1002/eco.2130

29. Yang J., Zhang X., Chen Y., Li H., Xu M., & Hu J. (2026). Desert plant trait networks differ among plant life forms and soil moisture–salinity environments. *Plants,* 15 (17), 2622. https://doi.org/10.3390/plants15172622

30. Zhou H., Zhao W., & Zhang G. (2017). Varying water utilization of Haloxylon ammodendron plantations in a desert-oasis ecotone. *Hydrological Processes,* 31 (4), 825-835. https://doi.org/10.1002/hyp.11060