



UDK: 581.5:528.8(575.1)

ORCID: 0000-0001-7598-7725

**QIZILQUM (O‘ZBEKISTON) HUDUDIDA BIOKLIMATIK
O‘ZGARISHLAR VA VEGETATSIYA DINAMIKASINING MASOFAVIY
BAHOLASH ASOSIDAGI EKOLOGIK TAHLILI**

<https://doi.org/10.70728/a.series.v08.i02.016>

Qilichev Shohjahon Shomurod o‘g‘li.

O‘zRFA Botanika instituti kichik ilmiy xodimi

E-mail: shohjahonqilichev76@mail.ru

Sharipova Vasila Qo‘ysinovna.

O‘zRFA Botanika instituti katta ilmiy xodimi

E-mail: vasila_82@mail.ru

Turdiyev Doston Ergash o‘g‘li.

O‘zRFA Botanika instituti kichik ilmiy xodimi

E-mail: doston.turdiyev.91@mail.ru

Saitjanova Umida Shuxratovna

O‘zRFA Botanika instituti kichik ilmiy xodimi

E-mail: spring_girl93@mail.ru

Bozorova Dilyayra O‘tkirovna

O‘zRFA Botanika instituti kichik ilmiy xodimi

E-mail: bozorovadilyayra9@gmail.com

Maltsev Ivan Ivanovich

O‘zRFA Botanika instituti katta ilmiy xodimi

Annotatsiya.Maqolada Qizilqum cho‘lining O‘zbekiston hududidagi ekologik holati va vegetatsiya dinamikasi 2000–2024 yillar davomida bioklimatik ko‘rsatkichlar va qurg‘oqchilik indeklari asosida tahlil qilindi. Tadqiqotda MODIS (MOD13Q1) ma‘lumotlari hamda WorldClim v2.1 bazasidan olingan BIO1–BIO19 o‘zgaruvchilari R Studio dasturida qayta ishlanib, hududning iqlimiy xususiyatlari va vegetatsiya holati baholandi.

Kalit so‘zlar: NDVI, VCI, qurg‘oqchilik indeksi (AI), bioklimatik o‘zgaruvchilar, vegetatsiya dinamikasi, ekologik monitoring.

Аннотация. В статье анализируется экологическое состояние и динамика растительности пустыни Кызылкум в Узбекистане за 2000–2024 годы на основе биоклиматических показателей и индексов засухи. В исследовании данные MODIS (MOD13Q1) и переменные BIO1–BIO19 из базы данных WorldClim v2.1 были обработаны в R Studio для оценки климатических характеристик и состояния растительности региона.

Ключевые слова: NDVI, VCI, индекс засухи (AI), биоклиматические переменные, динамика растительности, экологический мониторинг.

Annotation. The article analyzes the ecological state and vegetation dynamics of the Kyzylkum desert in Uzbekistan for 2000–2024 based on bioclimatic indicators and drought indices. In the study, MODIS (MOD13Q1) data and BIO1–BIO19 variables from the WorldClim v2.1 database were processed in R Studio to assess the climatic characteristics and vegetation status of the region.

Keywords: NDVI, VCI, drought index (AI), bioclimatic variables, vegetation dynamics, ecological monitoring.

KIRISH. Global iqlim o‘zgarishlarining jadallashishi ekologik muammolarni yanada kuchaytirmoqda. Ekologik jihatdan zaif va iqtisodiy rivojlanish darajasi past bo‘lgan hududlarda barqaror ekologik siyosatni shakllantirish xalqaro hamjamiyat oldidagi muhim vazifalardan biri hisoblanadi [1]. Cho‘llanish jarayoni nafaqat tabiiy ekotizimlarning degradatsiyasiga, balki mahalliy aholining ijtimoiy-iqtisodiy ahvoliga ham bevosita salbiy ta‘sir ko‘rsatadi.

Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, haroratning ortishi va yog‘inlarning notekis taqsimlanishi ekotizimlardagi o‘simlik jamoalarining holatiga sezilarli darajada ta‘sir etadi [2]. Iqlim o‘zgarishining dinamik xususiyati butun dunyo bo‘ylab turli xil ekologik xavflarning yuzaga kelishiga sabab bo‘lmoqda [3]. Ayniqsa, so‘nggi yillarda kuzatilayotgan o‘simlik qoplaminig qisqarish tendensiyalari va ularning iqlim omillari bilan bog‘liqligi to‘g‘risidagi ilmiy ma‘lumotlar ushbu yo‘nalishdagi tadqiqotlarni kengaytirish zaruratini tug‘dirmoqda [4,5].

Markaziy Osiyo mintaqasi iqlim o‘zgarishlariga eng yuqori darajada sezgirlik ko‘rsatadigan geografik hududlardan biri sanaladi [6]. Olib borilgan ilmiy izlanishlar Markaziy Osiyoning qurg‘oqchil hududlarida cho‘llanish jarayonlari jadal kechayotganligini va bu holat ekologik xavfsizlikka jiddiy tahdid solayotganligini ko‘rsatadi [7,8]. Ushbu mintaqada suv resurslarining cheklanganligi, tuproq unumdorligining pasayishi va cho‘llanish kabi omillar o‘zaro bog‘liq holda ekologik vaziyatni murakkablashtirmoqda [9].

Shu sababdan iqlim o‘zgarishi va antropogen omillarning kuchayishi natijasida cho‘l ekotizimlarida sodir bo‘layotgan o‘zgarishlarni monitoring qilish bugungi kunda global ekologik muammolardan biri hisoblanadi. Qizilqum – Markaziy Osiyodagi eng yirik qumli

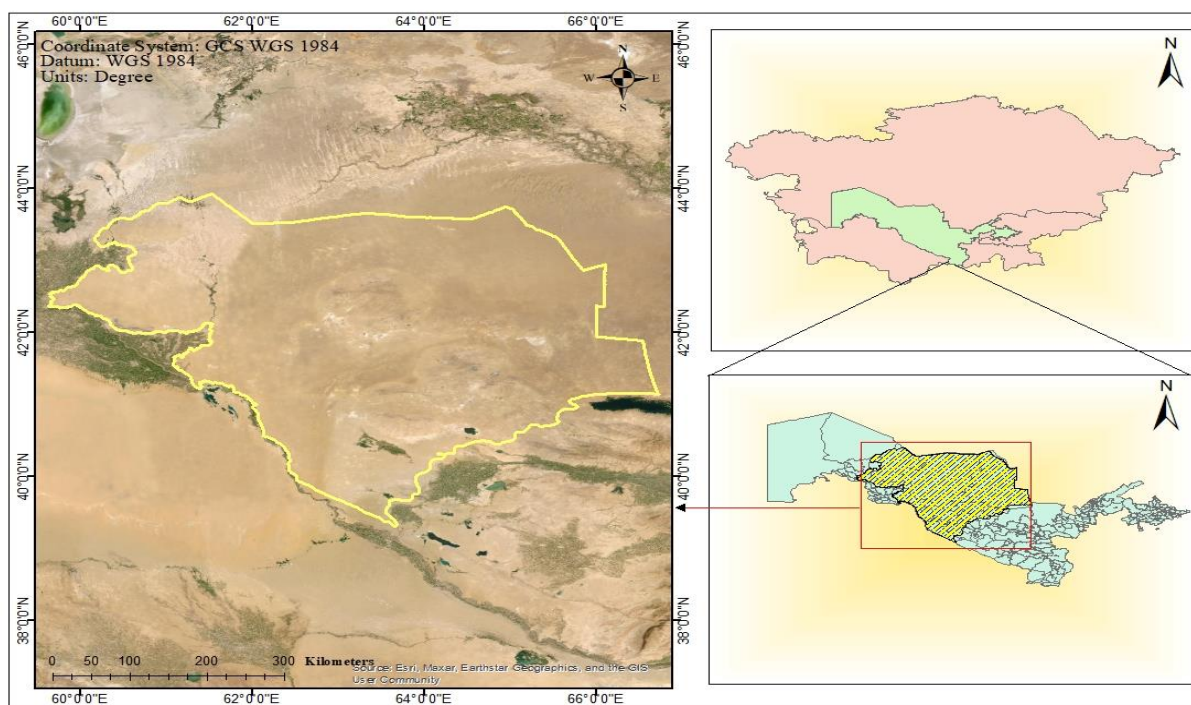
cho‘llardan biri bo‘lib, O‘zbekiston hududining katta qismini egallaydi va respublika yaylov fondining asosiy manbai hisoblanadi [10,11]. Mazkur hududda chorvachilikning rivojlanishi, tabiiy resurslardan foydalanish va iqlim o‘zgarishlari ta’sirida o‘simlik qoplaminig holati, uning tarkibi va mahsuldorligida jiddiy o‘zgarishlar yuz bermoqda. Shu bois Qizilqum cho‘lining ekologik holatini va o‘simlik qoplami dinamikasini muntazam kuzatib borish, baholash va prognoz qilish muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi [12,13,14].

Masofaviy monitoring usullari, xususan, sun‘iy yo‘ldosh ma’lumotlari asosida vegetatsiya indekslarini hisoblash, keng hududlarni qamrab olgan holda tezkor va nisbatan arzon ma’lumot olish imkonini beradi [12].

Shu sababli, ushbu tadqiqot 2000–2024 yillar oralig‘ida masofaviy monitoring ma’lumotlari asosida Qizilqum cho‘lining O‘zbekiston hududidagi qismida ekologik holat va vegetatsiya dinamikasini bioklimatik ko‘rsatkichlar, qurg‘oqchilik indeksi bilan bog‘liq holda kompleks baholashga qaratildi.

MATERIAL VA METODLAR

Tadqiqot hududi 60°–66° sharqiy uzunlik va 39°–44° shimoliy kenglik oralig‘ida joylashib, O‘zbekistonning markaziy va shimoli-g‘arbiy qismlarini qamrab oladi. Ma’muriy jihatdan hudud asosan Navoiy va Buxoro viloyatlari hamda qisman Qoraqalpog‘iston Respublikasi hududiga to‘g‘ri keladi (1-rasm). Qizilqum cho‘lining umumiy maydoni 300 ming km² bo‘lib Amudaryo va Sirdaryo oralig‘ida, shimoli-g‘arbda Orol dengizi, sharqda esa Tyan-Shan va Pomir-Olay tog‘lari bilan chegaradosh. Hududning katta qismi tekisliklardan iborat bo‘lib, balandlik ko‘rsatkichlari hududlarga qarab farqlanadi. Janubiy va janubi-sharqiy qismlarda o‘rtacha balandlik 300 m gacha, shimoli-g‘arbiy qismlarda esa o‘rtacha 53 m ni tashkil qiladi.



1-rasm. Qizilqum cho‘lining O‘zbekiston Respublikasidagi qismi — tadqiqot olib borilgan tajriba maydoni.

Tadqiqot Qizilqum cho‘l hududida olib borilib, hududning ekologik va bioiqlimiy holati masofadan zondlash hamda global iqlimiy ma’lumotlar bazalari asosida baholandi.

Vegetatsiya bilan bog‘liq tahlillar Google Earth Engine (GEE) muhitida amalga oshirildi. MODIS (MOD13Q1) ma’lumotlari asosida NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) hisoblandi. NDVI orqali hududdagi o‘simlik qoplami intensivligi aniqlandi. Shuningdek, MODIS ma’lumotlarining aprel oyiga oid ma’lumotlari asosida Vegetation Condition Index (VCI) hisoblanib, vegetatsiya stress darajalari o‘rganilindi.

Tadqiqotning iqlimiy komponenti sifatida WorldClim v2.1 ma’lumotlar bazasidagi BIO1–BIO19 bioklimatik o‘zgaruvchilar olindi. Ushbu o‘zgaruvchilar harorat va yog‘in ko‘rsatkichlarining yillik, mavsumiy hamda ekstremal qiymatlarini ifodalaydi. Ma’lumotlar MODIS formatida yuklab olinib, R Studio dasturida “raster”, “terra” va “dismo” paketlari yordamida qayta ishlandi.

Hududning yillik o‘rtacha yog‘in miqdori Global Precipitation Measurement (GPM) sputnik ma’lumotlari asosida o‘rganildi. Potensial bug‘lanish (PET) qiymatlari MODIS (MOD16A2) ma’lumotlaridan olindi. Ushbu ko‘rsatkichlar asosida Aridity Index (AI = P/PET) formulasi orqali hududning qurg‘oqchilik darajasi hisoblandi. Hisob-kitoblar Google Colab dasturiy muhitida Python yordamida bajarildi.

NATIJALAR

Dastlabki tahlillar 2000–2022 yillar oralig‘ida MODIS (MOD13Q1) ma’lumotlari asosida amalga oshirilib, asosan aprel oyidagi vegetatsiya holati indeksi (VCI) hamda NDVI ko‘rsatkichlari orqali hududdagi o‘simlik qoplami dinamik o‘zgarishlarini baholashga qaratildi. VCI tahlili natijalari indeks qiymatlarining 0,182 (2001-yil) dan 0,742 (2019-yil) gacha bo‘lgan keng diapazonda o‘zgarishini ko‘rsatdi, bu esa vegetatsiya sharoitlarining yillar kesimida sezilarli darajada farqlanganini bildiradi. Kuzatilgan yuqori amplitudali o‘zgaruvchanlik cho‘l ekotizimlarining yog‘ingarchilik rejimi va namlik ta‘minotiga yuqori darajada sezgir ekanligini tasdiqlaydi.

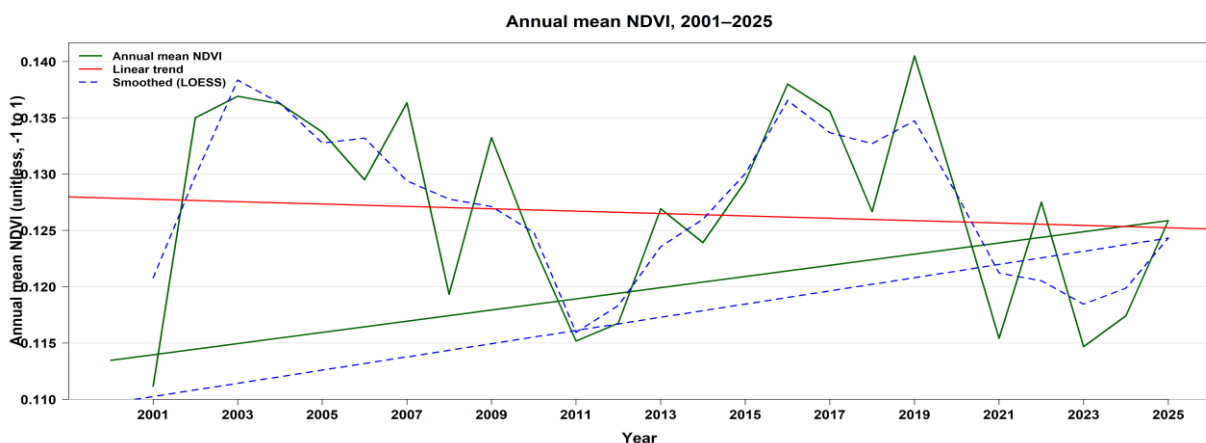
Tahlil davrining boshlang‘ich bosqichi (2000–2001 yillar) juda past VCI qiymatlari bilan tavsiflanadi. Xususan, butun kuzatuv davridagi eng past ko‘rsatkichlardan biri bo‘lgan 2001-yilda (0,182) hududda kuchli qurg‘oqchilik sharoiti kuzatilganini ko‘rsatadi. 2002-yil (0,499) dan 2007-yil (0,642) gacha bo‘lgan davrda VCI qiymatlarining izchil ortishi qayd etilib, bu yog‘ingarchilik rejimining nisbatan tiklangani hamda vegetatsiya rivojlanishi uchun qulay sharoitlar shakllanganidan dalolat beradi. Biroq 2008–2012 yillar oralig‘ida indeks qiymatlari yana pasayish tendensiyasiga o‘tganini aniqlandi. Ayniqsa, 2011-yil (0,226) va 2012-yil (0,247) da qayd etilgan past ko‘rsatkichlar o‘simlik qoplami kuchli qurg‘oqchilik stressi ta‘sirida bo‘lganini anglatadi. Ushbu holat NDVI tahlili bilan ham

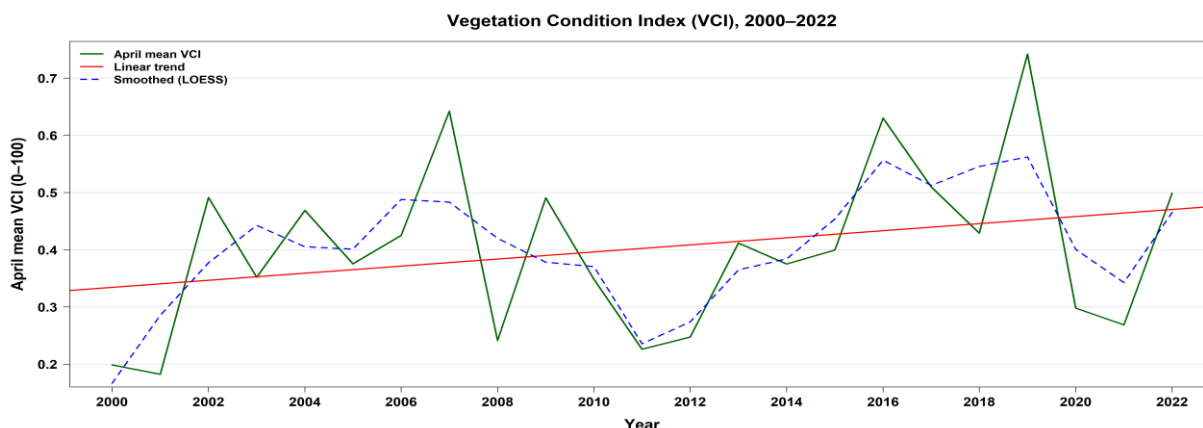
tasdiqlanib, 2011-yilda bahorgi vegetatsiya maksimumining sezilarli darajada pasaygani aniqlangan.

Eng qulay vegetatsiya davri 2013–2019 yillarga to‘g‘ri keladi. Mazkur davrda VCI qiymatlarida barqaror o‘shish kuzatilib, 2016-yilda 0,630 ga yetgan hamda butun kuzatuv davridagi eng yuqori ko‘rsatkich 2019-yilda (0,742) qayd etilgan. Ushbu natijalar vegetatsiya holatining uzoq yillik o‘rtacha darajaga nisbatan optimal bo‘lganini va namlik ta‘minoti yetarli darajada shakllanganini ko‘rsatadi. NDVI tahlili ham 2016–2017 yillar hamda ayniqsa 2019-yilni yuqori yog‘ingarchilik va vegetatsiya rivojlanishi uchun eng qulay sharoitlar davri sifatida tasdiqlaydi.

Afsuski, 2019-yildagi maksimal ko‘rsatkichdan so‘ng, 2020–2021 yillarda keskin pasayish yuz berdi. 2020-yil (0.298) va 2021-yil (0.269) VCI ko‘rsatkichlari hududda yangi jiddiy qurg‘oqchilik boshlanganini tasdiqladi. NDVI ma‘lumotlari ham 2020 va 2023-yillarda vegetatsiya cho‘qqilari past bo‘lganini qayd etib, bu holatni yana bir bor isbotlaydi. 2022-yilga kelib VCI qiymati 0.499 ga ko‘tarilib, avvalgi ikki yillik stressdan so‘ng tiklanish jarayoni boshlanganini va vegetatsiya holati normallashtayotganini ko‘rsatadi.

Ko‘p yillik NDVI tendensiyalari tahlili shuni ko‘rsatadiki, NDVI qiymatlari 0.10 dan 0.23 gacha o‘zgarib, cho‘l va yarim cho‘l zonalariga xos bo‘lgan past zichlikdagi o‘simlik qoplamini (asosan efemerlar va butazorlar) aks ettiradi. Har yili bahor oylarida (mart–may) kuzatiladigan NDVI cho‘qqilari qishki yog‘ingarchilikdan so‘ng tuproq namligi maksimal darajaga chiqqanini va o‘simliklarning faol vegetatsiyasini bildiradi. Yoz va qish oylarida NDVI qiymatlari mavsumiy qurg‘oqchilik va past namlik tufayli sezilarli darajada pasayadi. Kuzatuvlar davomida o‘rtacha NDVI qiymatlarida sezilarli chiziqli trend aniqlanmadi. Bu o‘simlik qoplamining uzoq muddatli istiqbolda nisbatan barqarorligini saqlab qolganini ko‘rsatadi. Statistik tahlil NDVI qiymatlarining dispersiyasi yuqori ekanligini ko‘rsatadi, bu esa hududning qurg‘oqchilik va namgarchilik davrlariga yuqori sezuvchanligini tasdiqlaydi. Shu bilan birga, o‘rtacha qiymatning (taxminan 0.185 atrofida) uzoq muddatli barqarorligi cho‘l ekotizimlarining global iqlim o‘zgarishlariga nisbatan ma‘lum darajadagi chidamliligi (rezistentligi) borligidan dalolat beradi. Yildan-yilga kuzatilgan o‘zgarishlar asosan iqlim anomaliyalari (yog‘ingarchilik va harorat o‘zgarishi) bilan bog‘liq bo‘lib, NDVI va VCI indeksleri o‘simlik vegetatsiyasi va ekologik holatni kuzatish uchun ishonchli indikator hisoblanadi (2-rasm).





2-rasm. Hududning VCI va NDVI ma’lumotlari ko‘p yillik tahlil natijalari

Tadqiqotda iqlimiy omillarni baholash maqsadida WorldClim v2.1 ma'lumotlar bazasidan olingan BIO1–BIO19 bioklimatik o‘zgaruvchilari tahlil qilindi. Natijalar hududning turli qismlarida harorat va yog‘in ko‘rsatkichlari sezilarli darajada farqlanishini ko‘rsatdi.

1-jadval

O‘rganilgan hudud bo‘yicha BIO1–BIO19 bioklimatik o‘zgaruvchilarining hududiy taqsimoti

O‘zgaruvchilar	Shimol	Janub	G‘arb	Sharq	Markaziy hudud
BIO1 (°C)	12.	15.5	12.5.	13	13.5
BIO2	12.5	15	13	14.5	12.5
BIO3	27	34	28	31	27-28
BIO4	1290	1150	1275	1200	1220
BIO5 (°C)	37	38.5	38	38	37.5
BIO6 (°C)	-10	-5	-9	-6	-7
BIO7 (°C)	47-48	43	46	44	45
BIO8 (°C)	12	8	13	7-8	10
BIO9 (°C)	26	29	25-26	27	27
BIO10 (°C)	28.	29	28-29	28	28.5
BIO11 (°C)	-4	2	-2	-2-0	0,-1
BIO12 (mm)	140-150	110-120	120-130	230	140-150
BIO13 (mm)	20	24-26	15-17	25-35	20-25
BIO14 (mm)	2	0-1	2-2.3	1-1.5	1
BIO15	53-57	70-75	55-60	60-67	60
BIO16 (mm)	55-57	60-70	50-55	85-105	57-62
BIO17 (mm)	6-8	2-5	6-7.5	6.-7.5	7-8
BIO18 (mm)	10-13	2-6	8-11.5	9-12	8

BIO19 (mm)	37-45	50-60	35-45	70-90	55-60
------------	-------	-------	-------	-------	-------

Hudud bo‘ylab bioiqlim ko‘rsatkichlarning tahlili shuni ko‘rsatdiki, hududning shimolidan janubiga tomon harorat pasayib boradi va yog‘ingarchilik kamayadi, bu esa o‘simlik qoplami darajasiga bevosita ta‘sir ko‘rsatadi. Natijada NDVI qiymatlari shimoliy hududlarda past bo‘lsa, janubiy qismlarda yuqoriroq ko‘rsatkichlar bilan ifodalanadi.

Shu bilan birga hududning qurg‘oqchilik dinamikasi tahlili uzoq yillik tebranish holida namoyon bo‘ldi. Bu esa mintaqaning iqlim o‘zgaruvchanligiga nisbatan yuqori sezgirligini anglatadi.

2-jadval

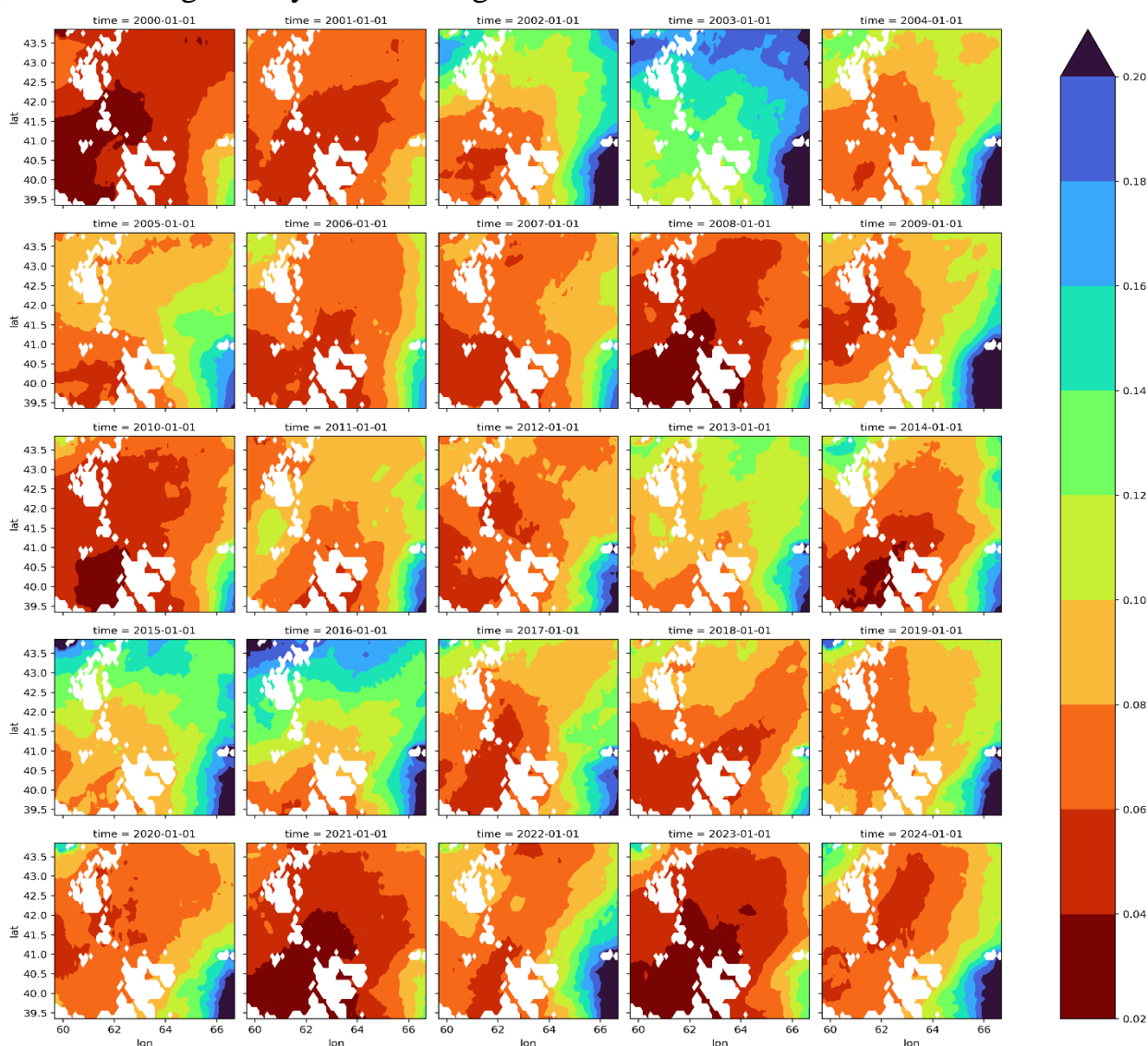
Qurg‘oqchilik indeksi toifalarining miqdoriy diapazonlari

AI qiymat oralig‘i	Toifa nomi	Tavsif
0,05 dan past	Hyper-arid (o‘ta qurg‘oqchil)	Yog‘in deyarli yo‘q, bug‘lanish juda yuqori (to‘q qizil/jigarrang)
0,05 – 0,2	Arid (qurg‘oqchil)	Cho‘l iqlimi, o‘simlik qoplami siyrak (to‘q sariq/och qizil)
0,2 – 0,5	Semi-arid (yarim qurg‘oqchil)	Dasht tipidagi o‘simliklar mavjud (sariq/yashil)
0,5 – 1	Sub-humid (nisbatan nam)	O‘simlik o‘sishi uchun yetarli namlik (moviy/zangori)

Tahlil natijalari Qizilqum hududida qurg‘oqchilik darajasi yillar kesimida keskin tebranishlarga ega ekanligini ko‘rsatdi, bu esa mintaqaning iqlim o‘zgaruvchanligiga nisbatan yuqori sezgirligini bildiradi. Kuzatuv davri davomida hududning katta qismi barqaror ravishda “Arid” va “Semi-arid” iqlim toifalariga mansub bo‘lib qolgan. 2000–2001 yillar Aridity Index (AI) ning past qiymatlari (to‘q qizil va jigarrang rang diapazoni) bilan tavsiflanib, hududda asosan “Arid”, ayrim janubiy qismlarda esa “Hyper-arid” sharoitlar hukmron bo‘lganini ko‘rsatadi. Bu holat mintaqaning kuchli suv tanqisligi va yuqori ekologik stress sharoitida bo‘lganini anglatadi. Aksincha, 2003, 2013 va 2016 yillar AI qiymatlarining sezilarli oshishi bilan ajralib turadi. Mazkur yillarda ayniqsa shimoliy va g‘arbiy hududlarda qurg‘oqchilik darajasi “Semi-arid” holatdan ayrim joylarda hatto “Sub-humid” toifaga yaqinlashgan. AI qiymatlarining ortishi suv resurslari mavjudligining yaxshilanganini hamda o‘simliklar rivojlanishi uchun nisbatan qulay iqlimiy sharoit shakllanganini ko‘rsatadi. Shu bilan birga, 2011 va 2023 yillarda AI qiymatlarining butun hudud bo‘ylab keskin pasayishi ekstremal qurg‘oqchilik sharoitlari yuzaga kelganini tasdiqlaydi. Ayniqsa, 2023-yil AI qiymatlarining minimal darajaga tushishi sababli kuzatuv davridagi eng qurg‘oqchil yillardan biri sifatida qayd etildi. 2024-yil holati ham AI qiymatlarining avvalgi ekstremal yillarga yaqin darajada saqlanib qolayotganini ko‘rsatib,

iqlimiy sharoitlarning qurg‘oqchilik tomon siljish tendensiyasi davom etayotganini anglatadi (3-rasm).Hududiy differensial tahlil natijalari Qizilqum cho‘lining shimoli-g‘arbiy qismlari odatda nisbatan kamroq qurg‘oqchil bo‘lib, asosan “Semi-arid” sharoitlarda namoyon bo‘lishini, janubi-g‘arbiy hududlar esa ko‘pincha “Arid” yoki “Hyper-arid” zonalar sifatida shakllanishini ko‘rsatdi. Ushbu farqlar hudud relyefi, atmosfera sirkulyatsiyasi hamda yog‘inlarning makoniy taqsimoti bilan chambarchas bog‘liqdir.

Ekologik barqarorlikni baholashda AI ko‘rsatkichini vegetatsiya indeksleri (NDVI va VCI) bilan birgalikda qo‘llash o‘simliklarning stress darajasini kompleks baholash imkonini beradi. AI qiymatlari past bo‘lgan yillarda vegetatsiya qoplaminig tiklanish qobiliyati pasayib, ekotizim degradatsiyasi va ekologik buzilish xavfi ortishi kuzatiladi.



3-rasm. Qurg‘oqchilik indeksining ko‘p yillik o‘zgaruvchanlik xaritalari (2000–2024)

Mazkur tadqiqot O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Botanika institutining 2025-2029 yillarga mo‘ljallangan “Raqamli tabiat: Markaziy O‘zbekiston florasining raqamli platformasini ishlab chiqish” (PFI-5) mavzusidagi davlat dasturi doirasida amalga oshirildi.

XULOSA. Qizilqum hududi iqlim o‘zgaruvchanligiga yuqori darajada sezgir bo‘lgan ekotizim hisoblanadi. 2000–2024 yillar davomida olib borilgan umumiy tahlillar natijalariga ko‘ra, NDVI, VCI, AI hamda BIO bioklimatik indeksleri o‘simlik qoplami holati va qurg‘oqchilik dinamikasining yillar kesimida sezilarli tebranishlarga ega ekanligini ko‘rsatdi.

NDVI, VCI, AI va BIO indekslarining integratsiyalashgan monitoringi cho‘l ekotizimlari holatini kompleks baholash, qurg‘oqchilik xavfini erta aniqlash hamda ekologik barqarorlikni ta‘minlash bo‘yicha ilmiy asoslangan qarorlar qabul qilishda muhim ahamiyat kasb etadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. S. Liu, J. Zhang, J. Zhang, Y. Guo. // Simultaneously tackling ecological degradation and poverty challenges: Evidence from desertified areas in northern China // *Science of The Total Environment*. – 2022. – Vol. 815. – P. 152927. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.152927.

2. Xu K. et al. Assessing the vulnerability of ecosystems to climate change based on climate exposure, vegetation stability and productivity // *Forest Ecosystems*. – 2020. – T. 7. – №. 1. – C. 23.

3. Hochrainer-Stigler S. et al. Funding public adaptation to climate-related disasters. Estimates for a global fund // *Global Environmental Change*. – 2014. – T. 25. – C. 87- 96.

4. Gu Z. et al. Spatiotemporal variation in vegetation coverage and its response to climatic factors in the Red River Basin, China // *Ecological Indicators*. – 2018. – T. 93. – C. 54-64.

5. Measho S. et al. Spatio-temporal analysis of vegetation dynamics as a response to climate variability and drought patterns in the semiarid region, Eritrea // *Remote Sensing*. – 2019. – T. 11. – №. 6. – C. 724.

6. Ivkovic, N. M. Impact of climate change on migration trends in rural Central Asia // *Central Asian Journal of Sustainability and Climate Research*. – 2024. – Vol. 3, iss. 2. – P. 45–62.

7. Feng, K.; Cao, Y.; Du, E.; Zhou, Z.; Zhang, Y. Spatiotemporal Dynamics of Drought and the Ecohydrological Response in Central Asia. *Remote Sens.* 2025, 17, 166. <https://doi.org/10.3390/rs17010166>

8. Chen X. et al. Global Temporal and Spatial changes of vegetation in desert steppe ecosystems: impacts of climate driving factors // *Ecological Indicators*. – 2025. – T. 172. – C. 113333.

9. Zhu Z. et al. Absolute environmental sustainability assessment of the arid central Asia by downscaling planetary boundaries // *Earth’s Future*. – 2025. – T. 13. – №. 6. – C. e2025EF006129.

10. Sharipova V. K. et al. The Current State of White Saxaul Pastures in Northwestern Kyzylkum Related to Desertification // *Arid Ecosystems*. – 2025. – T. 15. – №. 3. – С. 338-346.

11. Ortiqova L. S., Mamatkulova S., Abrorova K. Improving the productivity of desert and adir pastures // *Экономика и социум*. – 2022. – №. 1-1 (92). – С. 145-150.

12. Fick, S. E. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas // *International Journal of Climatology*. – 2017. – Vol. 37. – P. 4302–4315.

13. Zhao, Q. The Retrieval of Ground NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) Data Consistent with Remote-Sensing Observations *Remote Sensing*. – 2024. – Vol. 16, iss. 7. – P. 1212.

14. Bissenbayeva, S. Spatiotemporal Dynamics of the Aridity Index in Central Kazakhstan // *Sustainability*. – 2025. – Vol. 17, iss. 15. – P. 7089.