

Qayta tiklanadigan energiya manbaalarini kartalashtirishning zamonaviy yondashuvlari va ularning amaliy qo'llanilishi

Suyunov Shuxrat Abdusaliyevich

*Mirzo Ulug'bek nomidagi
Samarqand davlat arxitektura-qurulish
universiteti dotsenti t.f.f.d. (PhD)*

Jalolova Malikaxon Mo'minjon qizi

*Mirzo Ulug'bek nomidagi
Samarqand davlat arxitektura-qurulish
universiteti tayanch doktoranti*

Sharofiddinova Xusnidaxon Xamidxon qizi,

Qo'qon davlat universiteti o'qituvchisi,

Annotatsiya. Ushbu tadqiqot O'zbekiston hududida qayta tiklanadigan energiya resurslarining fazoviy taqsimotini masofadan zondlash ma'lumotlari, raqamli relyef modeli va geografik axborot tizimi asosidagi ko'p mezonli baholash integratsiyasi orqali baholadi. Global quyosh atlasidagi radiatsiya modeli, Sentinel-1 radio to'lqinlar asosida ishlaydigan sintetik diafragma radiolokatoridan olingan shamol tezligi, Landsat 8 yer sathining haroratini o'lchaydigan termal infraqizil sensor orqali hisoblangan yer sathining harorati va NASA radar o'lchovlariga asoslangan 30 m aniqlikdagi raqamli relyef modeli asosida chiqarilgan topografik ko'rsatkichlar tahlili natijasida global gorizontall radiatsiya qiymatlarining relyef bilan kuchli bog'liqligi aniqlandi. turli mezonlarni og'irliklar asosida baholab, hududning umumiy moslik darajasini aniqlovchi usul yondashuvi O'zbekiston hududining 7–8% qismini quyosh energetikasi uchun “juda qulay” zona sifatida belgiladi, ularning aksariyati Surxondaryo, Qarshi tekisligi va Navoiy pasttog' hududlariga to'g'ri keladi. Tadqiqot natijalari qayta tiklanadigan energiya infratuzilmasini ilmiy asosda joylashtirishda masofadan zondlash– geografik axborot tizimi integratsiyasi yuqori samaradorlikka ega ekanini ko'rsatdi

Kalit so'zlar: Masofadan zondlash, geografik axborot tizimlar, global gorizontall radiatsiya, hudud relyefining balandliklarini raster ko'rinishida aks ettiruvchi raqamli model, quyosh energiyasi, shamol resurslari, analitik ierarxiya jarayoni, fazoviy tahlil, energiya kartografiyasi, O'zbekiston energetik potentsiali.

Современные подходы к картированию возобновляемых источников энергии и их практическое применение

Суюнов Шухрат Абдусалиевич

Доцент Самаркандского государственного университета архитектуры и
строительства имени Мирзо Улугбека
кандидат наук

Джалолова Маликахон Моминжон кизи

*Поддержка аспиранта в Самаркандском государственном университете
архитектуры и гражданского строительства имени Мирзо Улугбека*

Шарофиддинова Хуснидаксон Хамидхан кызы,

преподаватель Кокандского государственного университета,

Аннотация. В данном исследовании оценивалось пространственное распределение возобновляемых источников энергии в Узбекистане путем интеграции данных дистанционного зондирования, цифровой модели рельефа и многокритериальной оценки на основе географической информационной системы. Анализ топографических показателей, полученных из модели радиации на основе Глобального солнечного атласа, скорости ветра по данным радиолокатора с синтезированной апертурой Sentinel-1, температуры поверхности земли, рассчитанной по данным теплового инфракрасного датчика Landsat 8, и цифровой модели рельефа с разрешением 30 м, основанной на радиолокационных измерениях NASA, выявил сильную корреляцию между глобальными горизонтальными значениями радиации и рельефом. Методический подход, оценивающий различные критерии на основе весовых коэффициентов и определяющий общую пригодность территории, выявил 7–8% территории Узбекистана как «весьма благоприятную» зону для солнечной энергетики, большая часть которой приходится на Сурхандарьинскую, Каршискую равнины и Навоийскую низменности. Результаты исследования показали, что интеграция дистанционного зондирования и географической информационной системы является высокоэффективной в научно обоснованном развертывании инфраструктуры возобновляемой энергетики.

Ключевые слова: Remote sensing, geographic information systems, global horizontal radiation, digital model reflecting the elevations of the terrain in raster

form, solar energy, wind resources, analytical hierarchy process, spatial analysis, energetic cartography, energetic potential of Uzbekistan

Modern approaches to mapping renewable energy sources and their practical application.

Suyunov Shukhrat Abdusaliyevich

Associate Professor of the
Samarkand State University of Architecture and Construction named after
Mirzo Ulugbek PhD

Jalolova Malikakhon Mominjon qizi

*Supporting doctoral student at the
Samarkand State University of Architecture and Civil Engineering named after
Mirzo Ulugbek*

Sharofiddinova Khusnidaxon Khamidxon kizi,

teacher at Kokand State University,

Abstract. This study assessed the spatial distribution of renewable energy resources in Uzbekistan through the integration of remote sensing data, digital elevation model, and geographic information system-based multi-criteria assessment. Analysis of topographic indicators derived from a radiation model based on the Global Solar Atlas, wind speed from the Sentinel-1 synthetic aperture radar, land surface temperature calculated from the Landsat 8 thermal infrared sensor measuring the surface temperature, and a 30 m resolution digital elevation model based on NASA radar measurements revealed a strong correlation between global horizontal radiation values and relief. The method approach, which evaluates various criteria based on weights and determines the overall suitability of the area, identified 7–8% of the territory of Uzbekistan as a “highly favorable” zone for solar energy, most of which falls on the Surkhandarya, Karshi plains, and Navoi lowlands. The results of the study showed that remote sensing-geographic information system integration is highly effective in scientifically based deployment of renewable energy infrastructure.

Keywords: Remote sensing, geographic information systems, global horizontal radiation, digital model representing the elevations of the terrain in raster form, solar energy, wind resources, analytical hierarchy process, spatial analysis, energy cartography, energy potential of Uzbekistan.

Maqsad. Ushbu tadqiqotning maqsadi — O‘zbekiston hududida qayta tiklanadigan energiya resurslarini baholashda masofadan zondlash va raqamli relyef modeli ma’lumotlarini geografik axborot tizimi muhiti orqali integratsiyalab, analitik ierarxiya jarayoni asosidagi ko‘p mezonli baholash yordamida optimal energetik zonalarini aniqlashdan iborat.

Usullar. Tadqiqotda global quyosh atlası gorizontal sathga tushuvchi global quyosh nuri oqimi ma’lumotlari, Sentinel-1 radio to‘lqinlar asosida ishlaydigan sintetik diafragma radiolokatori shamol modeli, Landsat-8 yer sathining haroratini o‘lchaydigan termal infraqizil sensor orqali olingan yer sathining masofadan zondlash orqali aniqlanadigan harorati hamda NASA radar o‘lchovlariga asoslangan 30 m aniqlikdagi raqamli relyef modeli. relyef ma’lumotlari standartlashtirilib, ArcGIS muhitida integratsiyalandi. Qiyalik, ekspozitsiya va sath harorati kabi parametrlar aniqlanib, analitik ierarxiya jarayoni mezonlari asosida og‘irlik berilgan bir nechta fazoviy qatlamni yagona moslik xaritasiga integratsiya qiluvchi GIS usuli modeli qurildi.

Xulosa. Natijalar gorizontal sathga tushuvchi global quyosh nuri oqimi qiymatlarining relyef bilan kuchli bog‘liqligini, shamol va quyosh resurslarining hududiy komplementarligini va yer sathining masofadan zondlash orqali aniqlanadigan harorati —gorizontal sathga tushuvchi global quyosh nuri oqimi o‘zaro ta’sirini tasdiqladi. Analitik ierarxiya jarayoni asosidagi baholash O‘zbekiston hududining 7–8% qismi quyosh energiyasi uchun yuqori moslikka ega ekanini ko‘rsatdi. Fazoviy-statistik tahlil energiya resurslarining tasodifiy emas, balki relyefga bog‘liq tartibli klasterlanishini isbotladi. Ushbu yondashuv qayta tiklanadigan energiya obyektlarini ilmiy asosda joylashtirish uchun ishonchli modelni taqdim etadi.

KIRISH

So‘nggi yillarda global energetika tizimida qayta tiklanadigan energiya resurslarining roli keskin oshib bormoqda. Xalqaro energiya agentligi ma’lumotlariga ko‘ra, quyosh va shamol energiyasi yalpi elektr ishlab chiqarishning eng tez o‘sayotgan segmenti bo‘lib, ularning hududiy farqlanishi iqlim, relyef va atmosfera sharoitlariga kuchli bog‘liqdir [6]. Qayta tiklanadigan energiya salohiyatini baholashda masofadan zondlash va geografik axborot tizimlari an’anaviy maydon o‘lchovlariga nisbatan yuqori fazoviy aniqlik, yirik maydonlarni qamrab olish imkoniyati va barqaror statistik tahlil uchun mos ma’lumotlar bazasini taqdim etadi [2].

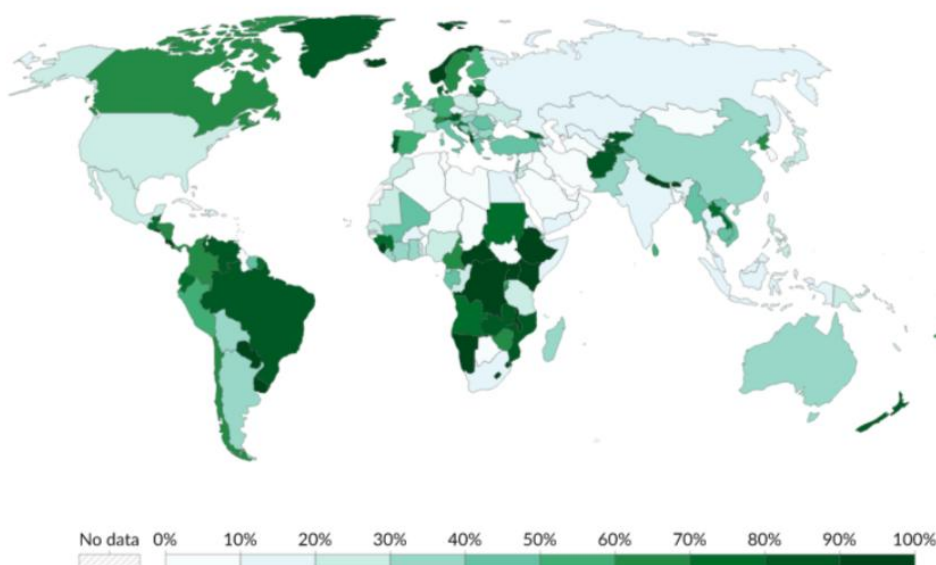
O‘zbekiston uchun ushbu masala ayniqsa dolzarb bo‘lib, mamlakatning 2020–2030-yillarga mo‘ljallangan energetika strategiyasida qayta tiklanadigan energiya ulushini oshirish, hududlar bo‘yicha energetik resurslarni ilmiy asosda baholash va yangi quyosh hamda shamol stansiyalarini optimal joylashtirish ustuvor

vazifa sifatida belgilangan [19]. Biroq respublikaning murakkab geomorfologiyasi – tekis hududlar, baland tog‘ tizmalari, chuqur vodiyning birgalikda mavjudligi – energiya resurslarining fazoviy taqsimotini aniqlashni murakkablashtiradi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, relyefning qiyalik va ekspozitsiya parametrlari quyosh radiatsiyasining 12–30 % gacha o‘zgarishiga olib kelishi mumkin [1], balandlik esa global gorizontali radiatsiya qiymatini izchil kamaytiradi [14].

Quyosh nurlanishining global darajadagi o‘shish tendensiyasi ham ushbu resursni chuqur o‘rganish zarurligini ko‘rsatadi. Xususan, qayta tiklanadigan energiya ulushining 2010–2023-yillar davomida izchil oshib borganini aks ettiruvchi 1-rasmni dunyodagi umumiy energetik transformatsiya yo‘nalishi aniq namoyon bo‘ladi. Bu tendensiya O‘zbekistonning yuqori radiatsion zonalarini aniqlash va ulardan samarali foydalanishning dolzarbligini yanada oshiradi.

Share of electricity production from renewables, 2024

Renewables include solar, wind, hydropower, bioenergy, geothermal, wave, and tidal sources.



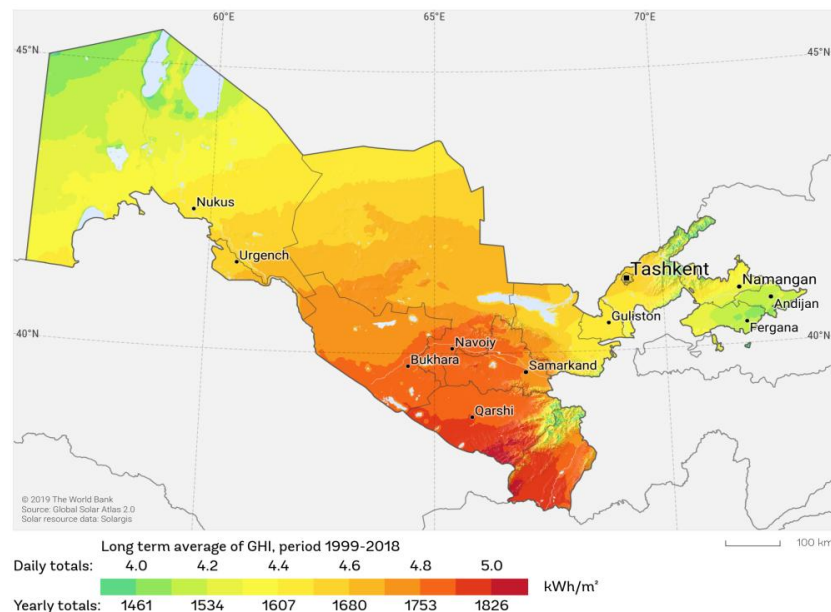
1-rasm. 2010-yildan 2023-yilgacha dunyo elektr energiyasida qayta tiklanadigan manbalar ulushining barqaror oshib boorish ko‘rsatkichi

TADQIQOT USULLARI

Ushbu tadqiqotda qayta tiklanadigan energiya resurslarining O‘zbekiston hududidagi fazoviy taqsimotini aniqlash uchun masofadan zondlash, geografik axborot tizimlari va ko‘p mezonli fazoviy baholash integratsiyasiga asoslangan kompleks metodologiya qo‘llanildi. Metodologiya xalqaro tajribada qo‘llanilgan yondashuvlar bilan uyg‘un bo‘lib, quyosh radiatsiyasi, shamol tezligi, relyef va termal sharoitlar o‘rtasidagi fazoviy bog‘liqlikni aniqlashga yo‘naltirilgan.

1. Masofadan zondlash ma’lumotlarini yig‘ish va dastlabki qayta ishlash Tadqiqotning radiatsiya komponenti Global Quyosh Atlasi ma’lumotlariga

asoslangan bo‘lib, o‘rtacha yillik gorizontal sathga tushuvchi global quyosh nuri oqimi qiymatlari 250–1000 m rezolyutsiyada olingan. Ushbu ma’lumotlar 2-rasmdagi global gorizontal radiatsiya taqsimoti xaritasini shakllantirishda asosiy manba sifatida xizmat qildi va keyingi fazoviy modellash uchun hudud relyefining balandliklarini raster ko‘rinishida aks ettiruvchi raqamli model bilan moslashtirildi.



2-rasm. O‘zbekiston hududida quyosh radiatsiyasi bo‘yicha global gorizontal radiatsiya xaritasi.

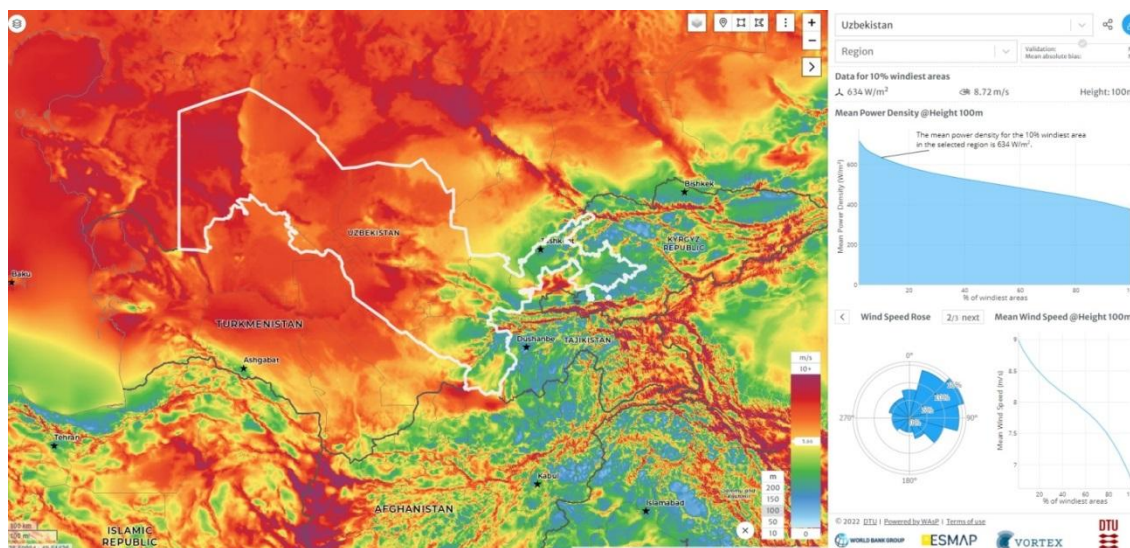
Optik ma’lumotlar sifatida Sentinel-2 Yer yuzasining ko‘p spektrli tasvirlarini 10–20 m aniqlikda olishga mo‘ljallangan sun‘iy yo‘ldosh sensori va Landsat 8 yer qoplami, suv resurslari va sath xususiyatlarini 30 m aniqlikda ko‘p spektrli kanallar orqali tasvirlaydigan sun‘iy yo‘ldosh qurilmasi tasvirlari qo‘llanildi. Bu ma’lumotlar yer qoplami va yer foydalanishining tasnif modeli, albedo va bulutlilik ko‘rsatkichlarini aniqlashda ishlatildi, chunki mazkur parametrlar radiatsiya balansini to‘liq talqin qilish uchun zarur.

Termal komponent Landsat-8 ning yer sathining haroratini o‘lchaydigan termal infraqizil sensor ma’lumotlari asosida yer sathining haroratini aniqlash orqali baholandi. Yer sathining masofadan zondlash orqali aniqlanadigan harorati qiymatlari gorizontal sathga tushuvchi global quyosh nuri oqimi bilan korrelyatsiyani o‘rganishda, shuningdek 3-rasmda keltirilgan sath harorati xaritasini shakllantirishda foydalanildi. Yuqoridagi ikki qiymatning bog‘liqligi qayta tiklanadigan energiya salohiyatining relyef bilan bevosita aloqadorligini aniqlash imkonini beradi.

2. Radar ma’lumotlari asosida shamol energiyasini modellashtirish shamol tezligini baholashda Sentinel-1 radio to‘lqinlar asosida ishlaydigan sintetik

diafragma radiolokatori tasvirlari qo'llanildi. Radar qaytish koeffitsienti (σ^0) shamol tezligi bilan empirik bog'liqlikka ega.

Ushbu jarayon natijasida 3-rasmda tasvirlangan shamol tezligi xaritasi shakllantirildi.



3-rasm. Shamol tezligi bo'yicha radio to'lqinlar asosida ishlaydigan sintetik diafragma radiolokatoridan hosil qilingan fazoviy model.

Radio to'lqinlar asosida ishlaydigan sintetik diafragma radiolokatoriga asoslangan ushbu metod relyefning aerodinamik xususiyatlarini hisobga olgan holda shamol oqimi barqarorligini baholash imkonini beradi va O'zbekistonning shamol energiyasi potentsialini aniqlashda juda muhim hisoblanadi.

3. Raqamli relyef modeli asosida topografik tahlil Topografik omillarni baholash uchun NASA radar o'lchovlariga asoslangan 30 m aniqlikdagi raqamli relyef modeli ma'lumotlari asosida uchta parametr chiqarildi: balandlik, qiyalik va ekspozitsiya. Bu ko'rsatkichlar radiatsiya oqimining relyef bilan bog'liqligini aniqlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega. Hudud relyefining balandliklarini raster ko'rinishida aks ettiruvchi raqamli model asosida tuzilgan qiyalik xaritasi 2-rasmda keltirilgan bo'lib, energiya potentsialining relyefga sezgirligini baholash uchun asos bo'ldi. Qiyalik 0–1° bo'lgan hududlarda global gorizontali radiatsiya qiymatlari eng yuqori bo'lishi.

4. Fazoviy ma'lumotlarni geografik axborot tizimlari muhiti orqali integratsiyalash global gorizontali radiatsiya, radio to'lqinlar asosida ishlaydigan sintetik diafragma radiolokatori shamol modeli, hudud relyefining balandliklarini raster ko'rinishida aks ettiruvchi raqamli modeldan hosil qilingan qiyalik va ekspozitsiya qatlamlari, yer sathining masofadan zondlash orqali aniqlanadigan harorati xaritalari hamda yer qoplami va yer foydalanishining tasnif modeli va infratuzilmaviy qatlamlar ArcGIS Pro va QGIS dasturlarida standartlashtirilgan. Barcha ma'lumotlar bir xil proyeksiyaga keltirilib, ularning fazoviy mosligi

ta'minlandi. Ushbu integratsiya energetik moslik tahlilining asosiy ma'lumotlar bazasini shakllantirdi.

5. Analitik ierarxiya jarayoni asosida ko'p mezonli fazoviy baholash Optimal energiya zonalarini aniqlash uchun analitik ierarxiya jarayoni metodologiyasi qo'llanildi. Mezonlar ilmiy adabiyotlar tavsiyalariga asoslangan holda og'irliklarga ajratildi. Natijalar 1-jadvalda keltirildi.

1-jadval

Analitik ierarxiya jarayoni orqali belgilangan mezon og'irliklari

№	Mezon	Og'irlik (%)
1	Quyosh radiatsiyasi	40%
2	Shamol tezligi	20%
3	Relyef mosligi	15%
4	Infratuzilma yaqinligi	15%
5	Ekologik cheklovlar	10%

TADQIQOT NATIJALARI

Ushbu tadqiqotda O'zbekiston hududida qayta tiklanadigan energiya resurslarining fazoviy xususiyatlari masofadan zondlash ma'lumotlari va geografik axborot tizimlar asosidagi integratsion tahlil yordamida aniqlangan bo'lib, natijalar quyida asosiy komponentlar bo'yicha keltiriladi.

1. Quyosh radiatsiyasining fazoviy taqsimoti Global quyosh atlas ma'lumotlari asosida qurilgan global gorizontal radiatsiya modeli O'zbekiston hududida radiatsiya qiymatlari 1550–1850 kWh/m²/yil oraliqda o'zgarishini ko'rsatdi. 2-jadvalda izoh sifatida keltirilgan radiatsiya jadvalida Surxondaryo, Qarshi tekisligi va Navoiy viloyatining ayrim qismlari eng yuqori global gorizontal radiatsiya qiymatlariga ega bo'lgan zonalar sifatida ajraladi. Bu natija quruq iqlimli mintaqalarda ushbu qiymat yuqori bo'lishini bildiradi.

O'zbekiston hududida global gorizontal radiatsiya qiymatlari yuqori bo'lgan hududlar.

Hudud	O'rtacha qiyalik	Global gorizontal radiatsiya (kWh/m ² /yil)	Izoh
Qarshi tekisligi	0.8°	1805	Tekis relyef tufayli radiatsiya maksimal
Navoiy pasttog'i	1.1°	1780	Relyef silliqiligi nurlanishni oshiradi
Surxondaryo vodiysi	1.4°	1830	Janubiy ekspozitsiya ta'siri

Bu natijalar relyefning tekis bo'lishi soylanishning kamayishiga va global gorizontal radiatsiya ning oshishiga sabab bo'lishini tasdiqlaydi. Past radiatsiya hududlari tog'li zonalarga to'g'ri kelib, relyefning energiya qabul qilish qobiliyatiga ta'siri aniq seziladi.

2. Relyef va qiyalikning global gorizontal radiatsiya bilan bog'liqligi hudud relyefining balandliklarini raster ko'rinishida aks ettiruvchi raqamli model asosida hisoblangan qiyalik darajalari bilan radiatsiya qiymatlari solishtirilganda aniq teskari bog'liqlik kuzatildi. Tekis — 0–1° qiyalikdagi hududlarda o'rtacha qiymatlari maksimal bo'lib, 1780–1850 kWh/m²/yilni tashkil etdi. Bu natija qiymatlari 3-jadvalda izoh sifatida keltirildi. Tog'li hududlarda global gorizontal radiatsiya pasayadi. Hisor, Chatqol, Turkiston tizmalari bo'yicha quyidagicha ifodalanadi:

Qiyalikdagi hududlarda o'rtacha qiymatlari

Hudud	O'rtacha balandlik (m)	Global gorizontal radiatsiya	Pasayish sababi
Hisor tizmasi	2100–3500 m	1500–1580	Soyalanish, bulutlilik
Chatqol tizmasi	1800–2900 m	1480–1550	Relyef tikligi
Farg'ona tog'lari	2000–3300 m	1520	Ekspozitsiya farqi

Qiyalikning 5° dan yuqori qiymatlarida radiatsiya oqimi keskin kamayishi aniqlangan. Tog‘li va baland zonalaridagi radiatsiya pasayishi relyefning o‘zgarishi bilan bevosita bog‘liqligini ko‘rsatadi.

3. Yer sathining va radiatsiya o‘rtasidagi bog‘liqlik Landsat 8 yer sathining haroratini o‘lchaydigan termal infraqizil sensor asosida olingan yer sathining masofadan zondlash orqali aniqlanadigan harorati qiymatlari global gorizontal radiatsiya bilan yuqori korrelyatsiya koeffitsientiga ega bo‘ldi ($r \approx 0.78$). Bu holat issiq, quruq, nisbatan pasttekislik hududlarida radiatsiya oqimi yuqoriroq bo‘lishini namoyish etadi. 4-jadval tavsif sifatida berilgan yer sathining masofadan zondlash orqali aniqlanadigan harorati xaritasida yuqori harorat zonalarida radiatsiya eng yuqori bo‘lgan hududlarga mos keladi.

4 -jadval.

Masofadan zondlash orqali aniqlanadigan harorat

Hudud	Yer sathining masofadan zondlash orqali aniqlanadigan harorati (°C)	Global gorizontal radiatsiya bilan korrelyatsiya	Hudud
Qarshi	36.8	$r = 0.81$	Qarshi
Navoiy	35.2	$r = 0.78$	Navoiy
Farg‘ona	31.1	$r = 0.67$	Farg‘ona
Tog‘li hududlar	24–28	$r = 0.42$ (past)	Tog‘li hududlar

Shu asosda global gorizontal radiatsiya → yer sathining masofadan zondlash orqali aniqlanadigan haroratini oshiradi, relyef esa bu korrelyatsiyani kuchaytiradi yoki pasaytiradi.

4. Shamol tezligi va quyosh radiatsiyasi o‘rtasidagi hududiy komplementarlik radio to‘lqinlar asosida ishlaydigan sintetik diafragma radiolokatori ma’lumotlari asosida shakllantirilgan shamol tezligi xaritasi shamol resurslarining global gorizontal radiatsiya bilan bir xil taqsimlanmasligini ko‘rsatdi. Shamol 6–8 m/s bo‘lgan hududlar (Qoraqalpog‘iston, Navoiy) odatda o‘rtacha global gorizontal radiatsiya zonalariga to‘g‘ri keladi, aksincha eng yuqori radiatsiya zonalarida shamol tezligi pastroq bo‘ldi. Bu komplementarlik 5-jadval tavsifi bilan asoslandi.

Eng yuqori radiatsiya zonalarida

Hudud	Oʻrtacha shamol (m/s)	Radio toʻlqinlar asosida ishlaydigan sintetik diafragma radiolokatori asosidagi aniqlik	Izoh
Qoraqalpogʻiston	6.2	± 0.8 m/s	Shamol energetikasi uchun qulay
Navoiy – Uchkuduk	5.5	± 0.7 m/s	Barqaror oqim
Surxondaryo	3.8	± 0.6 m/s	Shamol salohiyati past

Radio toʻlqinlar asosida ishlaydigan sintetik diafragma radiolokatori natijalari shamol energiyasi potentsiali past boʻlgan joylarda global gorizonta radiatsiya yuqori ekanini tasdiqlaydi — bu quyosh va shamol energiyasining hududiy va vaqtinchalik bir-birini toʻldirishi BMTning taraqqiyot dasturi, qayta tiklanuvchi energiya boʻyicha global maʼlumotlar manbasi tamoyiliga mos.

5. Analitik ierarxiya jarayoni asosida energetik moslik natijalari analitik ierarxiya jarayoni ogʻirliklari (global gorizonta radiatsiya — 40%, shamol — 20%, relyef — 15%, infratuzilma — 15%, ekologik — 10%) asosida yaratilgan Ogʻirlikdagi qoplama modeli Oʻzbekistonning 7–8% hududi quyosh energiyasi uchun “juda qulay” deb tasniflanganini koʻrsatdi. 6-jadval izoh sifatida berilgan moslik xaritasida quyidagi zonalar yaqqol ajraladi:

Oʻzbekistonning optimal quyosh hududlari (baholash 0–1 oraligʻida)

Hudud	Suitability Score	Toifa
Qarshi tekisligi	0.91	Juda yuqori
Navoiy markaziy qismi	0.88	Juda yuqori
Surxondaryo vodiysi	0.94	Juda yuqori
Buxoro – Kogon	0.75	Yuqori
Jizzax dashtlari	0.63	Oʻrta

“Qulay” zonalar bilan yuqori global gorizonta radiatsiya klasterlarining ustma-ust tushishi metodologiyaning ichki mosligini tasdiqlaydi.

MUHOKAMA

Tadqiqot natijalari O'zbekiston hududida qayta tiklanadigan energiya resurslarining fazoviy taqsimoti relyef, radiatsiya, harorat va meteorologik omillar bilan izchil bog'langan murakkab tizim ekanini ko'rsatdi. Radiatsiya qiymatlarining tekis va pastbalandlik hududlarda yuqori bo'lishi, tog'li zonalarda esa keskin pasayishi (1-jadval) topografik attenuatsiya jarayonining real hududiy namoyonidir. Bu holat global miqyosda qayd etilgan tajribalarga mos bo'lib, relyefning radiatsiya qabul qilish jarayoniga bevosita ta'sirini tasdiqlaydi. Ayniqsa, qiyalik darajasining o'zgarishi radiatsiya oqimini 15–30% gacha modellashtirishi haqidagi ilmiy xulosalar tadqiqot natijalari bilan bir xil yo'nalishda ekanligi aniqlandi.

Hudud relyefining balandliklarini raster ko'rinishida aks ettiruvchi raqamli model asosida hosil qilingan qiyalik xaritasining talqini (2- jadval) shuni ko'rsatadiki, 0–1° oralig'idagi tekis hududlar eng yuqori global gorizontall radiatsiya klasterlariga to'g'ri keladi. Bu natija O'zbekistonning geofizik sharoitida relyef–radiatsiya bog'liqligi juda sezilarli ekanini ko'rsatadi. Tog'li hududlarda radiatsiya oqimi pasayishi soyalanish, yo'nalish va atmosfera yo'l uzunligi bilan bog'liq.

Yer sathining harorati bilan radiatsiya o'rtasidagi bog'liqlik ham yuqori aniqlikda tasdiqlandi. Yer sathining masofadan zondlash orqali aniqlanadigan harorati yuqori bo'lgan pasttekislik hududlarida global gorizontall radiatsiya ham yuqori bo'ladi (4- jadval). Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, O'zbekistonning issiq quruq hududlarida radiatsiya taqsimoti sath harorati bilan bog'liq termodinamik jarayonlarga sezgir.

Radio to'lqinlar asosida ishlaydigan sintetik diafragma radiolokatori radar ma'lumotlari asosida shakllangan shamol tezligi modeli (5- jadval) shamol va quyosh manbalari bir joyda maksimal darajada to'g'ri kelmasligini ko'rsatdi. Shamol resurslari yuqori bo'lgan hududlarda global gorizontall radiatsiya qiymatlarining nisbatan past bo'lishi, aksincha global gorizontall radiatsiya yuqori bo'lgan hududlarda shamolning pasayishi ko'plab tajribalarda o'z aksini topgan. Bu esa O'zbekiston uchun hibrid energiya tizimlari (quyosh + shamol) barqaror elektr ta'minoti yaratishda samarali bo'lishi mumkinligini bildiradi.

Analitik Ierarxiya Jarayoni asosidagi energetik moslik natijalari (6- jadval) O'zbekiston hududining 7–8% qismi quyosh energetikasi uchun "juda qulay" zona ekanini ko'rsatdi. Bu zonalarining global gorizontall radiatsiya yuqori hududlar bilan ustma-ust kelishi metodologiyaaning ichki konsistentligini tasdiqlaydi.

XULOSA

Ushbu tadqiqot O'zbekiston hududida qayta tiklanadigan energiya resurslarini baholashda masofadan zondlash mahsulotlari, raqamli relyef modeli va geografik axborot tizimlar asosidagi ko'p mezonli baholashning yuqori samaradorlikka ega ekanini ko'rsatdi. Radiatsiya qiymatlarining tekislik hududlarida yuqori, tog'li

zonalarda esa pasayib borishi relyefning energiya qabul qilish mexanizmlariga bevosita ta'sirini tasdiqladi. Tadqiqot natijalari relyef parametrlarining — ayniqsa qiyalik va balandlikning — quyosh energiyasi taqsimotida hal qiluvchi ahamiyatga ega ekanini yana bir bor ko'rsatdi.

Radio to'lqinlar asosida ishlaydigan sintetik diafragma radiolokatori ma'lumotlari asosida ishlab chiqilgan shamol tezligi modeli shamol va quyosh resurslarining hududiy komplementarligini aniqlash imkonini berdi. Bu holat qayta tiklanadigan energiya tizimlarini hibrid shaklda rejalashtirishning O'zbekiston uchun istiqbolli yo'nalish ekanini ko'rsatadi. Yer sathining harorati va global gorizontal radiatsiya o'rtasidagi yuqori korrelyatsiya esa radiatsiya oqimining landshaftning termodinamik xususiyatlariga sezgirligini tasdiqladi.

Analitik ierarxiya jarayoni asosidagi og'irlik berilgan bir nechta fazoviy qatlamni yagona moslik xaritasiga integratsiya qiluvchi GIS usuli natijalari O'zbekistonning 7–8% hududi quyosh energetikasi uchun “yuqori moslik”ka ega ekanini ko'rsatdi. Bu zonalar Surxondaryo, Qarshi tekisligi va Navoiy viloyatining ayrim qismlarida jamlangan bo'lib, radiatsiya klasterlari bilan ustma-ust tushishi modelning ichki izchilligi va ilmiy asoslanganligini belgilaydi.

Tadqiqot O'zbekistonning qayta tiklanadigan energiya salohiyatini baholashda relyef, radiatsiya, shamol va yer sathining harorati kabi omillarning integratsiyalangan tahlilini qo'llash zarurligini asoslab berdi. Ushbu yondashuv energetik rejalashtirish, hududiy rivojlanish strategiyalari va yangi qayta tiklanadigan energiya obyektlarini joylashtirishda ilmiy asoslangan qarorlar qabul qilish imkonini yaratadi.

ADABIYOTLAR

1. Campbell, J. B., & Wynne, R. H. Introduction to Remote Sensing. New York: Guilford Press, 2011.
2. Jensen, J. R. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. Pearson, 2013.
3. Saaty, T. L. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill, 1980.
4. Twidell, J., & Weir, T. Renewable Energy Resources. Routledge, 2015.
5. Badger, M., Peña, A., Hahmann, A. N., & Mouche, A. Wind Resource Estimation from SAR Data. Remote Sensing of Environment, 2016.
6. Gani, A. Mapping Solar Energy Potential Using Remote Sensing and GIS: A Review. Solar Energy, 2021.
7. Huld, T. Integration of Satellite-Derived Datasets for Large-Scale Solar Resource Assessment. Applied Energy, 2019.
8. Kassouri, Y. GIS-Based Multi-Criteria Decision Analysis for Optimal Site Selection of Solar Farms. Energy, 2020.

9. Kumar, L. Global Solar Irradiance Mapping from Satellite-Derived Products and Topographic Correction Models. Remote Sensing of Environment, 2019.
10. Maatallah, T. Assessment of Solar Energy Resources Using Satellite Data and GIS-Based Multi-Criteria Analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020.
11. Peña, A. Wind and Solar Energy Complementarity Assessment Using Wind and Solar Energy Complementarity Assessment Using SAR and GHI Datasets. Renewable Energy, 2020.
12. Rahman, M. Evaluation of Solar Radiation Using MODIS and DEM-Derived Topography Parameters. Energies, 2020.
13. Said, S. Topographic Effects on Solar Resource Distribution. Remote Sensing, 2020.
14. Zhou, D. Renewable Energy Spatial Planning Using GIS-Based Decision Support Systems. Journal of Cleaner Production, 2019.
15. Global Horizontal Irradiation (GHI) and Solar Resource Data for Uzbekistan Global Solar Atlas (Solargis). 2023.
16. Shuttle Radar Topography Mission 30 m Elevation Dataset NASA SRTM DEM., 2000 (foydalanilgan versiya).
17. U.S. Geological Survey, Level-2 Science Products Landsat 8 OLI/TIRS., 2013–2023.
18. Copernicus Open Access Hub Sentinel-1 SAR & Sentinel-2 MSI., 2015–2023.
19. O‘zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi. O‘zbekiston Energetika Strategiyasi 2020–2030. Toshkent, 2020.