



UO‘K 551.521.31:528.8(575.1)

[https://doi.org/10.70769/2181-2284.ME.3\(24\).2026.7](https://doi.org/10.70769/2181-2284.ME.3(24).2026.7)

O‘ZBEKISTONDA OCHIQ OSMON SHAROITIDA KVAZI-REAL VAQTD QUYOSH NURLANISHINI BAHOLASH: METEOSAT-9, CAMS MA’LUMOTLARIGA ASOSLANGAN YONDASHUV

Omonov Bahrom Yusuf o‘g‘li^{1,2} - tadqiqotchi,<https://orcid.org/0009-0000-7866-8180> e-mail: bahromomonov0627@gmail.comRaximov Ergashali Yuldashevich¹-DSc,<https://orcid.org/0000-0001-7128-4598> e-mail: eyurakhimov@gmail.comImyaminov Abdumannop Abduqahhor o‘g‘li^{1,2}- tadqiqotchi<https://orcid.org/0009-0005-2955-8512> e-mail: abdumannop7445@gmail.com¹Qayta tiklanuvchi energiya manbaalari milliy ilmiy-tadqiqot instituti, Toshkent, O‘zbekiston²Gidrometeorologiya ilmiy-tadqiqot instituti, Toshkent, O‘zbekiston

Annotatsiya. Kirish. Tadqiqotda Meteosat-9 geostatsionar sun‘iy yo‘ldoshi (MSG-2, IODC orbitasi) ma’lumotlari asosida O‘zbekiston va unga tutash hududlar uchun kvazi-real vaqt rejimida quyosh nurlanishini baholash imkoniyati o‘rganildi.

Usul va materiallar. SEVIRI sensorining ko‘pkanalli kuzatuvlari, shuningdek CAMS ma’lumotlaridan olingan atmosfera parametrlari integratsiyasi asosida yer sirtiga yetib keluvchi umumiy quyosh nurlanishi 15 daqiqalik vaqt aniqligida hisoblandi.

Natijalar. Model natijalari O‘zbekiston hududida joylashgan 22 ta meteorologik stansiya ma’lumotlari bilan ochiq osmon sharoitidagi kunlar bo‘yicha verifikatsiya qilindi. Statistik baholash natijalari (MAE, RMSE, MAPE, R²) ishlab chiqilgan yondashuvning yuqori aniqlik va barqarorlikka ega ekanini ko‘rsatdi. Barcha holatlarda korrelyatsiya juda yuqori ($R = 0.98-0.99$), o‘rtacha mutlaq xatoning umumiy diapazoni $MAE = 26-64 \text{ W/m}^2$ ni tashkil qildi.

Xulosa. Fazoviy tahlil natijasida maksimal nurlanish qiymatlari asosan janubiy va cho‘l hududlarida, nisbatan past qiymatlar esa tog‘li mintaqalarda kuzatilishi aniqlandi.

Kalit so‘zlar. quyosh nurlanishi, clear-sky, Meteosat-9, SEVIRI, CAMS, kvazi-real vaqt, verifikatsiya, GHI.

Дата поступления: 04.09.2026. После обработки: 15.09.2026 Принято печать: 23.09.2026

For citation: Omonov B.Y., Rakhimov E.Y., Imyaminov A.A. Quasi-Real-Time Assessment of Solar Irradiance under Clear-Sky Conditions in Uzbekistan: An Approach Based On METEOSAT-9 And CAMS Data. *Muqobil energetika*. 2026. 3(24). pp. 67-73.

UDC 551.521.31:528.8(575.1)

QUASI-REAL-TIME ASSESSMENT OF SOLAR IRRADIANCE UNDER CLEAR-SKY CONDITIONS IN UZBEKISTAN: AN APPROACH BASED ON METEOSAT-9 AND CAMS DATA

Omonov Bakhrom Yusuf ugli^{1,2} - Researcher,<https://orcid.org/0009-0000-7866-8180> e-mail: bahromomonov0627@gmail.comRakhimov Ergashali Yuldashevich¹ - DSc,<https://orcid.org/0000-0001-7128-4598> e-mail: eyurakhimov@gmail.comImyaminov Abdumannop Abduqahhor ugli^{1,2} - Researcher,<https://orcid.org/0009-0005-2955-8512> e-mail: abdumannop7445@gmail.com¹National Research Institute of Renewable Energy Sources, Tashkent, Uzbekistan²Research Institute of Hydrometeorology, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. Introduction. This study investigates the possibility of estimating solar radiation in near-real time over Uzbekistan and adjacent regions using data from the Meteosat-9 geostationary satellite (MSG-2, IODC orbit).



Methods and materials. Based on the integration of multi-channel observations from the SEVIRI sensor and atmospheric parameters derived from CAMS data, total solar radiation was calculated at a 15-minute temporal resolution.

Results. The model results were validated against observations from 22 meteorological stations located across Uzbekistan for clear-sky days. Statistical evaluation (MAE, RMSE, MAPE, R^2) demonstrated the high accuracy and robustness of the proposed approach. In all cases, the correlation was very high ($R = 0.98-0.99$), while the overall range of the mean absolute error was $MAE = 26-64 \text{ W/m}^2$.

Conclusions. Spatial analysis revealed that the highest radiation values are mainly characteristic of southern and desert regions, while relatively lower values are observed in mountainous areas.

Keywords: solar radiation, clear-sky, Meteosat-9, SEVIRI, CAMS, quasi-real time, verification, GHI.

УДК 551.521.31:528.8(575.1)

ОЦЕНКА СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В КВАЗИРЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ В УСЛОВИЯХ ЯСНОГО НЕБА В УЗБЕКИСТАНЕ: ПОДХОД НА ОСНОВЕ ДАННЫХ METEOSAT-9 И CAMS

Омонов Бахром Юсуф угли^{1,2} - исследователь,

<https://orcid.org/0009-0000-7866-8180> e-mail: bahromomonov0627@gmail.com

Рахимов Эргашали Юлдашевич¹ - DSc,

<https://orcid.org/0000-0001-7128-4598> e-mail: eyurakhimov@gmail.com

Имяминов Абдуманноп Абдукаххор угли^{1,2} — исследователь

<https://orcid.org/0009-0005-2955-8512> e-mail: abdumannop7445@gmail.com

¹Национальный научно-исследовательский институт возобновляемых источников энергии, Ташкент, Узбекистан

²Научно-исследовательский институт гидрометеорологии, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. Введение. В исследовании изучена возможность оценки солнечной радиации в квазиреальном времени для территории Узбекистана и прилегающих регионов на основе данных геостационарного спутника Meteosat-9 (MSG-2, орбита IODC).

Методы и материалы. На основе интеграции многоканальных наблюдений сенсора SEVIRI, а также атмосферных параметров, полученных из данных CAMS, были рассчитаны значения глобальной Общей солнечная радиация с временным разрешением 15 минут.

Результаты. Результаты модели были верифицированы по данным 22 метеорологических станций, расположенных на территории Узбекистана, для дней с ясным небом. Статистическая оценка (MAE, RMSE, MAPE, R^2) показала высокую точность и устойчивость предложенного подхода. Во всех случаях корреляция была очень высокой ($R = 0.98-0.99$), а общий диапазон средней абсолютной ошибки составил $MAE = 26-64 \text{ Вт/м}^2$.

Заключение. Пространственный анализ показал, что максимальные значения радиации характерны главным образом для южных и пустынных районов, тогда как более низкие значения наблюдаются в горных регионах.

Ключевые слова: солнечная радиация, clear-sky, Meteosat-9, SEVIRI, CAMS, квазиреальное время, верификация, GHI.

1. Kirish.

So‘nggi yillarda qayta tiklanadigan energiya manbalari global energetika tizimida hal qiluvchi rol o‘ynamoqda. IEA[1] va IRENA[2] jma‘lumotlariga ko‘ra, 2025-yil oxiriga kelib dunyo bo‘yicha qayta tiklanadigan energiya manbalarining umumiy o‘rnatilgan quvvati 5149 GW ga yetdi. Bu ko‘rsatkich 2024-yilga nisbatan 692 GW ga (15,5%) o‘shishi ko‘rsatadi. 2025-yilda yangi



oʻrnatilgan quvvatning 85,6 % ini aynan qayta tiklanadigan manbalar tashkil etgan boʻlib, global oʻrnatilgan elektr quvvatining qariyb 49 %ini tashkil etdi.

Quyosh fotoelektr tizimlarining samaradorligi umumiy quyosh nurlanishi maʼlumotlarining aniqligi va vaqt-fazoviy rezolyutsiyasiga bevosita bogʻliq. Anʼanaviy oʻrtacha koʻrsatkichlar qisqa muddatli atmosfera oʻzgaruvchanligini yetarli aks ettirmagani sababli, zamonaviy tadqiqotlarda fizik asoslangan clear-sky modellar keng qoʻllaniladi [3,4]. Jumladan, Bird modeli atmosfera susayishini parametrik tavsiflasa, Ineichen–Perez modeli clear-sky radiatsiyasini amaliy baholash uchun soddalashtirilgan va samarali yondashuvni taklif etadi [5,6].

Oʻzbekiston yuqori quyosh energetik salohiyatiga ega mamlakat boʻlib, mahalliy tadqiqotlarda respublika hududida quyoshli soatlar soni yiliga taxminan 2800-3200 soat ekani, janubiy va choʻl hududlarida radiatsiya oqimi yuqoriroq, togʻli hamda ayrim vodiy hududlarda esa nisbatan pastroq ekani koʻrsatilgan[7-9]. Bu koʻrsatkichlar quyosh radiatsiyasi resurslarini yuqori fazoviy va vaqt aniqligida baholash zaruratini yanada kuchaytiradi[7-12].

Shunga qaramay, Oʻzbekiston hududida yer usti aktinometrik kuzatuvlar tarmogʻi fazoviy jihatdan cheklangan va yuqori vaqt aniqligidagi uzluksiz kuzatuvlar barcha hududlarni bir xil qamrab olmaydi[8,11,13,14]. Mahalliy tadqiqotlar ham sunʼiy yoʻldosh aktinometrik va reanaliz maʼlumotlarini yer usti kuzatuvlari bilan birgalikda qoʻllash mamlakat sharoitida istiqbolli yondashuv ekanini koʻrsatgan[8,13]. Ayniqsa, geostatsionar sunʼiy yoʻldoshlar 15 daqiqalik kuzatuv chastotasi bilan keng hudud boʻyicha radiatsiya maydonlarini qayta tiklash imkonini beradi, bu esa operativ monitoring va qisqa muddatli prognozlash vazifalari uchun muhimdir.

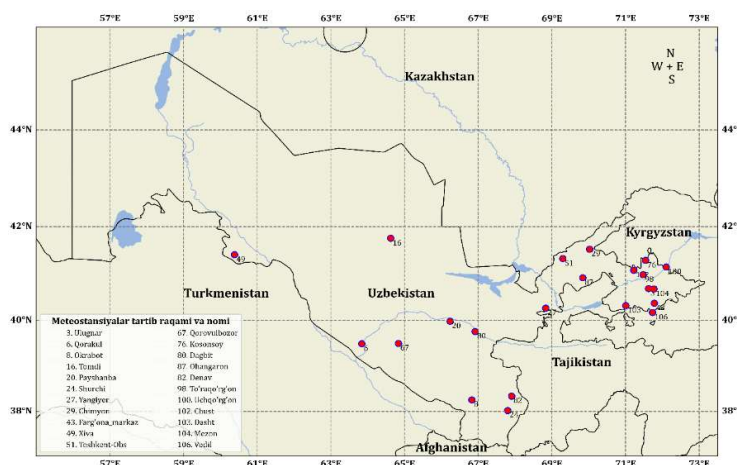
2. Metodologiya.

Ushbu tadqiqotda Meteosat-9 geostatsionar sunʼiy yoʻldoshi (MSG-2[15], IODC orbitasi) maʼlumotlari va CAMS[16] maʼlumotlaridan olingan atmosfera parametrlari integratsiyasi asosida yer sirtiga yetib keluvchi global gorizonttal nurlanish (GHI) 15 daqiqalik vaqt aniqligida hisoblandi. Bu jarayon meteodologik maʼlumotlarni toʻplash va tayyorlash, Clear-sky komponentalarini baholash, yakuniy GHI ni olish va fazoviy qayta ishlash, verifikatsiya bosqichlarini oʻz ichiga oladi.

2.1. Maʼlumotlarni toʻplash va tayyorlash

Tadqiqotda Oʻzbekiston hududi uchun yer sirtiga yetib keluvchi global gorizonttal quyosh nurlanishi (GHI) ni baholashda Meteosat-9 (MSG-2, IODC orbitasi) sunʼiy yoʻldoshining SEVIRI sensor maʼlumotlari hamda CAMS atmosfera parametrlaridan foydalanildi. SEVIRI kanallaridan visible va infraqizil maʼlumotlar, xususan VIS006, VIS008 va IR108 atmosferaning optik holatini baholash uchun ishlatildi. CAMS maʼlumotlari sunʼiy yoʻldosh maʼlumotlari bilan yagona vaqt va fazoviy panjaraga keltirildi.

Yer usti maʼlumotlari Oʻzbekiston Respublikasi Gidrometeorologiya xizmati huzuridagi 22 ta meteorologik stansiyalar tarmogʻidan olingan[16]. 2022-2024-yillar uchun 10 daqiqalik vaqt oraligʻi bilan oʻtkazilgan oʻlchovlar asosida soatlik va kunlik qiymatlar yaratildi va model natijalarini tekshirish uchun foydalanildi (1-rasm).



1-rasm. Oʻzbekiston Respublikasi hududidagi 22 ta quyosh meteostansiyalarining xaritada joylashishi.



2.2. Clear-sky komponentalarini baholash.

Keyingi bosqichda quyosh zenit burchagi, atmosfera bosimi, suv bug'i, aerazol optik qalinligi va ozon kabi atmosfera-geometrik parametrlar asosida ochiq osmon sharoitidagi radiatsiya komponentlari hisoblandi va GHI_{clear} aniqlanib, bazaviy radiatsiya fon sifatida qabul qilindi. Yer sirtiga yetib keluvchi yakuniy global gorizontalar nurlanish qiymatlari hisoblab chiqildi.

2.3 Yakuniy GHI ni hisoblash va fazoviy qayta ishlash

Ochiq osmon sharoitidagi global gorizontalar nurlanish quyidagi (1) ifoda orqali aniqlandi :

$$GHI_{clear} = DNI_{clear} \cos \theta_z + DHI_{clear} \quad (1)$$

bu yerda GHI_{clear} -ochiq osmon sharoitidagi global gorizontalar nurlanish, DNI_{clear} -to'g'ri nurlanishning normal komponenti, DHI_{clear} -diffuz radiatsiya, θ_z -quyosh zenit burchagi hisoblanadi.

Ochiq osmon modellari bulutsiz atmosfera sharoitida yer sirtiga yetib keluvchi radiatsiya miqdorini hisoblaydi. Ochiq osmon modellarining turlari judayam ko'p. Bird[5] va Ineichen[6] modellari GHI baholashda keng qo'llanadi, biroq ularning fizik tuzilishi farqlanadi. Bird modeli suv bug'i ustuni, aerazol optik qalinligi va ozon ustuni kabi atmosfera parametrlariga tayanadi. Shu sababli ushbu maqolada Bird modelidan foydalanildi.

Bird modelida ochiq osmon sharoitida radiatsiyani baholashda aerazol optik qalinligi AOD , suv bug'i miqdori (PWV), ozon va boshqa atmosfera parametrlari hisobga olindi, chunki model radiatsiya oqimining atmosfera orqali susayishini fizik-parametrik yondashuv asosida ifodalaydi [5,18]. CAMS ma'lumotlaridagi AOD qiymatlari model talab qiladigan spektral diapazonlarga Angstrom qonuni yordamida o'tkazildi:

$$AOD_{\lambda} = AOD(\frac{\lambda_0}{\lambda})^{\alpha}, \quad (2)$$

bu yerda AOD - λ to'liq uzunligidagi aerazol optik qalinligi, AOD_{λ} -tayanch to'liq uzunligidagi AOD , α - Angstrom ko'rsatkichi.

Shundan so'ng atmosfera optik xossalarning ta'siri hisobga olinib, Bird modeli doirasida to'g'ri quyosh nurlanishining ochiq osmon komponenti quyidagicha ifodalandi[5,19]:

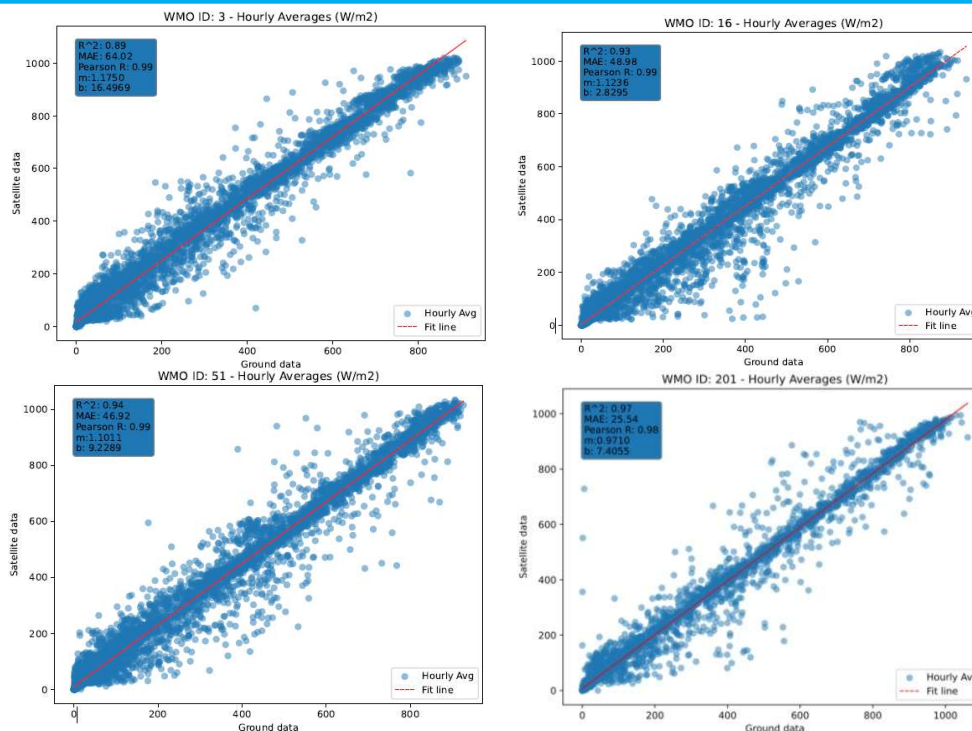
$$DNI_{clear} = E_0 \cos \theta_z T_r T_o T_g T_w T_a, \quad (3)$$

bu yerda: E_0 -atmosfera orti quyosh nurlanishi, T_r -Reyleigh sochilishi o'tkazuvchanligi, T_o -ozon o'tkazish koeffitsienti, T_g -gazlar o'tkazuvchanligi, T_w -suv bug'i o'tish koeffitsienti, T_a -aerazol o'tish koeffitsiyenti.

Natijada, AOD , suv bug'i, ozon va quyosh geometriyasini hisobga olgan holda har bir vaqt nuqtasi uchun ochiq osmon quyosh nurlanishi qiymatlari hisoblandi va keyingi bosqichda O'zbekiston hududi bo'yicha 15 daqiqalik $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ fazoviy setka uchun GHI xaritalarini shakllantirishda foydalanildi.

2.4. Verifikatsiya va yakuniy natijalar.

Model natijalarining aniqligini baholash maqsadida sun'iy yo'ldosh asosida hisoblangan GHI qiymatlari O'zbekiston hududidagi 22 ta meteorologik stansiya kuzatuvlari bilan taqqoslandi. Bunda verifikatsiya barcha kunlar bo'yicha emas, faqat ochiq osmon sharoitidagi kunlar uchun amalga oshirildi. Shu sababli keltirilgan statistik ko'rsatkichlar bulutli va qisman bulutli holatlardagi qo'shimcha noaniqliklardan xoli bo'lib, modelning ochiq osmon sharoitidagi fizik asoslangan aniqligini ifodalaydi. Modelning aniqliligini baholash uchun to'rtta stansiya ma'lumotlari tanlab olindi va sochilish diagrammalari hosil qilindi (2-rasm).

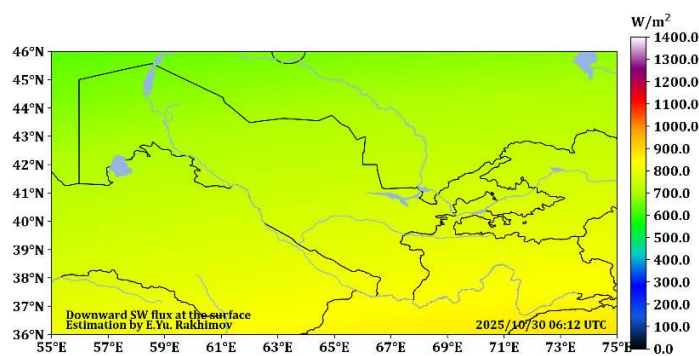


2-rasm. Yer usti meteorologik stansiyalari va ochiq osmon modelidan olingan soatlik o'rtacha ma'lumotlarning sohilish diagrammasi.

2-rasmdagi sohilish grafiklari tanlangan to'rtta yer usti stansiyalari uchun ochiq osmon modeli ma'lumotlari va kuzatuvlarni taqqoslash natijalarini ko'rsatadi. ob-havo stansiyalari: Ulug'nor(Andijon) - (WMO ID 3), Tomdi(Navoiiy) - (WMO ID 16), Karauzyak (Korakalpogiston) - (WMO ID 201) va Toshkent - (WMO ID 51).

Rasmda keltirilgan natijalar, to'rtta stansiya uchun soatlik tekshirish shuni ko'rsatdiki, ochiq osmon modeli yordamida hisoblangan quyosh nurlanish oqimlari yer usti o'lchovlari bilan juda yaxshi mos keladi: Karauzyak eng yuqori aniqlikni namoyish etadi ($R^2 = 0.97$, $MAE = 26 W/m^2$); Toshkentda $R^2 = 0.94$ va $MAE = 47 W/m^2$ bilan moslik saqlanib qoladi; Tomdi (Navoiy) da $R^2 = 0.93$ va $MAE = 49 W/m^2$ qiymatlari ham modelning barqarorligini tasdiqlaydi; Ulug'norda $R^2 = 0.89$ va $MAE = 64 W/m^2$ - piksel-nuqta mos kelmasligi tufayli xato biroz yuqoriroq, ammo amaliy jihatdan u maqbul bo'lib qolmoqda. Barcha holatlarda korrelyatsiya juda yuqori ($R = 0.98-0.99$), o'rtacha mutlaq xatoning umumiy diapazoni $MAE = 26-64 W/m^2$ ni tashkil qildi.

Tanlangan stansiyalar uchun olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, model yordamida hisoblangan GHI qatorlari yer usti o'lchovlari bilan yuqori darajada mos tushadi. Ochiq osmon kunlari bo'yicha olingan yuqori R^2 va nisbatan past MAE hamda RMSE qiymatlari ishlab chiqilgan metodikaning musaffo atmosfera sharoitida ishonchli ekanini ko'rsatadi. Natijalar asosida O'zbekiston hududi uchun $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ setka uchun GHIning fazoviy taqsimoti xaritasi yaratildi(3-rasm).



3-rasm. Sun'iy yo'ldosh kuzatuvlari va CAMS atmosfera sharoitlari ma'lumotlari asosida quyosh nurlanish oqimlarining fazoviy taqsimoti (2025-yil 30-oktabr).



3-rasmda 2025-yil 30-oktabr holatiga ko'ra Meteosat-9 (SEVIRI) sun'iy yo'ldosh kuzatuvlari va CAMS atmosfera sharoitlari ma'lumotlari asosida quyosh nurlanishi oqimlarining fazoviy taqsimoti ko'rsatilgan. Radiatsiya oqimini kvazi-real vaqtda hisoblash sezilarli mintaqaviy o'zgaruvchanlikni aniqladi: janubiy va g'arbiy mintaqalarda intensivlik 800–900 W/m² ga etadi.

Xulosa.

Mazkur tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, Meteosat-9 (MSG-2, IODC) geostatsionar sun'iy yo'ldoshining SEVIRI ma'lumotlari hamda CAMS reanaliz mahsulotlaridan olingan atmosfera parametrlarini integratsiyalash asosida O'zbekiston hududi uchun global gorizonttal quyosh nurlanishini (GHI) kvazi-real vaqt rejimida baholashning ishonchli metodikasi ishlab chiqildi. Taklif etilgan yondashuv sun'iy yo'ldosh kuzatuvlaridan olingan atmosfera shaffofligi, aerosol yuklanishi va suv bug'i ta'siri bilan birgalikda hisobga olish imkonini berib, GHI ni 0.1°x0.1° fazoviy va 15 daqiqalik vaqt aniqligida qayta tiklashni ta'minladi.

Ochiq osmon sharoitidagi kunlar bo'yicha o'tkazilgan verifikatsiya natijalari ishlab chiqilgan modelning yuqori aniqlik darajasiga ega ekanini tasdiqladi. Karauzyak stansiyasida model quyidagi aniqlikni ko'rsatdi ($R^2=0.97$, MAE=26 W/m²), Toshkent va Tomdi stansiyalarida ham yuqori moslik saqlanib qoldi ($R^2=0.94$ va 0.93 ; MAE=47 va 49 W/m²). Ulug'nor stansiyasida aniqlik nisbatan pastroq bo'lsa-da ($R^2=0.89$, MAE=64 W/m²), natijalar amaliy jihatdan maqbul darajada qoldi. Bu esa taklif etilgan metodikaning, bir tomondan, O'zbekiston hududida quyosh radiatsiyasi maydonining fazoviy-vaqt bo'yicha taqsimotini operativ baholash, ikkinchi tomondan esa, yer usti kuzatuvlari cheklangan sharoitda radiatsiya resurslarini ishonchli modellashirish uchun samarali vosita ekanini ko'rsatadi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati shundaki, yaratilgan GHI mahsuloti qayta tiklanadigan energiya resurslarini hududiy baholash, quyosh elektr stansiyalarining ishlash samaradorligini monitoring qilish, raqamli energetika boshqaruv platformalariga integratsiya qilish hamda fotoelektrik tizimlar quvvatini qisqa muddatli prognozlash uchun tayanch ma'lumot manbai bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

- [1]. International Energy Agency (IEA). World Energy Balances. - Paris: IEA, 2024.
- [2]. International Renewable Energy Agency (IRENA). Tripling Renewable Power by 2030. - Abu Dhabi: IRENA, 2024.
- [3]. Bird R. E., Hulstrom R. L. A simplified clear sky model for direct and diffuse insolation on horizontal surfaces. - Golden, Colorado: Solar Energy Research Institute, 1981.
- [4]. Gueymard C. A. SMARTS spectral irradiance model after 25 years: New developments and validation // Solar Energy. - 2019. - Vol. 187. - P. 233–253. - DOI: 10.1016/j.solener.2019.05.037.
- [5]. Bird R. E., Hulstrom R. L. A simplified clear sky model for direct and diffuse insolation on horizontal surfaces//Solar Energy. - 1981. -P.642-761. - DOI:10.1016/0038-092X(86)90104-0.
- [6]. Ineichen P. Comparison of eight clear sky broadband models against 16 independent data banks // Solar Energy. -2006. -Vol. 80, No. 4. - P. 468-478. - DOI: 10.1016/j.solener.2005.04.018.
- [7]. Avezov R. R., Avezova N. R., Matchanov N. A., Suleimanov S. I., Abdukadirova R. D. History and state of solar engineering in Uzbekistan//Applied Solar Energy. - 2012. - Vol. 48. - P. 14-19.
- [8]. Avezova N., Sadullaeva S., Rakhimov E., Usmonov N. Solar development in Uzbekistan. Step 1: Solar data compilation // International Journal of Energy and Smart Grid. - 2017. - Vol. 2, No. 2. -P. 27-33. - DOI: 10.23884/IJESG.2017.2.2.01.
- [9]. Rakhimov E. Y., Sadullaeva S. E., Kolomiets Y. G., Tashmatov K. K., Usmonov N. O. Analysis of the solar energy potential of the Republic of Uzbekistan // Applied Solar Energy. - 2017. - Vol. 53, No. 4. - P. 344-346. - DOI: 10.3103/S0003701X17040120.
- [10]. Scientific Application Handbook on the Climate of the USSR. Series 3: Long-term Data. Issue 19: Uzbek SSR. - Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989.
- [11]. Asian Development Bank. Technical Assistance Report: Republic of Uzbekistan: Solar Energy Development. - Manila: Asian Development Bank, 2013.



- [12]. Avezova N. R., Rakhimov E. Y., Izzatillaev J. O. Resource indicators used for solar photovoltaic plants in Uzbekistan. Part 1 // *Applied Solar Energy*. - 2018. - Vol. 54, No. 4. - P. 273–278. – DOI: 10.3103/S0003701X18040023.
- [13]. Avezova N., Frid S., Lisitskaya N., Rakhimov E. Resource indicators of solar PV plants in the Republic of Uzbekistan. Part 2. Verification of satellite actinometric and reanalysis data for the conditions of the Republic of Uzbekistan // *Applied Solar Energy*. - 2019. - Vol. 55, No. 5. - P. 375–387. – DOI: 10.3103/S0003701X19050037.
- [14]. Frid S. E., Rakhimov E. Y., Boliev B. B. Actinometric data for flat receivers solar energy units performance estimation // *Applied Solar Energy*. - 2019. - Vol. 55. - P. 78--82. - DOI: 10.3103/S0003701X19010079.
- [15]. EUMETSAT. MSG High Rate SEVIRI Level 1.5 Data Guide [Electronic resource]. - EUMETSAT User Portal. Meteosat-9 operational Indian Ocean Data Coverage (IODC) service from 45.5°E. - URL: <https://user.eumetsat.int/dashboard> (date of access: 25.09.2026).
- [16]. Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS). Atmosphere Data Store (ADS) [Electronic resource]. - ECMWF. - URL: <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/> (date of access: 25.09.2026).
- [17]. Meteorologik kuzatuvlar uchun yagona portal [Elektron resurs]. - URL: <https://data.meteo.uz/> (murojaat sanasi: 25.09.2026).
- [18]. Cano D. et al. Method for the determination of the global radiation from meteorological satellite data // *Solar Energy*. - Vol. 37, No. 1. - P. 31–39. - DOI: 10.1016/j.solener.2004.04.017.
- [19]. Reno M. J., Hansen C. W. Identification of periods of clear sky irradiance in time series of GHI measurements // *Renewable Energy*. - 2016. - Vol. 90. - P. 520-531. - DOI: 10.1016/j.renene.2015.12.031.