

**МЕТЕОРОЛОГИЯ / METEOROLOGY**

УДК: 551.524:575.1

**ЎЗБЕКИСТОНДА NASA POWER ВА ERA5 БАЗАЛАРИ ҲАВО ҲАРОРАТИ  
МАЪЛУМОТЛАРИДАН ФОЙДАЛАНИШ ИМКОНИЯТЛАРИ****Э.Ю. РАХИМОВ<sup>1</sup>, Б.Ю. ОМОНОВ<sup>1\*</sup>, Б.М. ХОЛМАТЖАНОВ<sup>2,3</sup>,  
Ф.И. АБДИҚУЛОВ<sup>1,2</sup>, С.У. БЕГМАТОВ<sup>3</sup>, И.М. МАХМУДОВ<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Қайта тикланувчи энергия манбалари миллий илмий-тадқиқот институти,  
eyurakhimov@gmail.com, bahrom77774444@gmail.com

<sup>2</sup> Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, b.xolmatjanov@nuu.uz,  
abdikulov707@mail.ru

<sup>3</sup> Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти

**Аннотация.** Мақолада 2000-2022 йиллар даври учун Ўзбекистон Республикаси ҳудуди бўйича NASA POWER ва ERA5 маълумотлар базаларидан олинган ҳаво ҳарорати қийматларини Ўзбекистондаги 77 та метеорология станцияларида олиб борилган ҳаво ҳароратининг муддатли кузатув маълумотлари билан қиёслаш (верификация) натижалари таҳлил қилинган. Кузатиш пункти баландлигининг верификация натижаларига таъсирини аниқлаш мақсадида метеорология станциялари денгиз сатҳига нисбатан баландлиги бўйича 4 гуруҳ ( $h < 500$  м,  $500 \text{ м} < h < 1000$  м,  $h < 1000$  м ва  $h > 1000$  м)га ажратилган. Тадқиқот натижасида  $h < 500$  м ва  $h < 1000$  м бўлган ҳудудларда ERA5 базаси маълумотлари NASA POWER маълумотларига нисбатан ер усти кузатувлари маълумотларига яқинроқ экани аниқланди. Баландлиги 500 м дан past бўлган ҳудудларда ERA5 базаси бўйича муддатли, кунлик ва ойлик ҳаво ҳарорати маълумотлари ва ер усти кузатув маълумотлари орасидаги нисбий хатолик 1,44-4,55%, 1000 м гача баландликдаги станциялар учун ERA5 базаси муддатли ҳаво ҳарорати қийматларининг нисбий хатолиги 4,0-5,0%, кунлик ва ойлик ўртача, максимал ва минимал қийматларнинг нисбий хатоликлари 0,47-5,55% оралигидаги қийматларни ташиқил этади. Ойлик ҳарорат қийматлари бўйича 500 м ва 1000 м баландликлар оралигида жойлаган (2-гуруҳ) станцияларда энг яхши мувофиқлик (нисбий хатолик 0,47-1,02%) аниқланди. Бироқ, бу баландлик гуруҳидаги станциялар учун кунлик ҳарорат қийматларининг хатоликлари 10,94-24,73% гача ортади. Баландлиги 1000 м дан юқори бўлган метеорология станцияларида ҳар икки маълумотлар базалари ер усти маълумотларига нисбатан бир-бирига яқин бўлган катта хатоликларга эга.

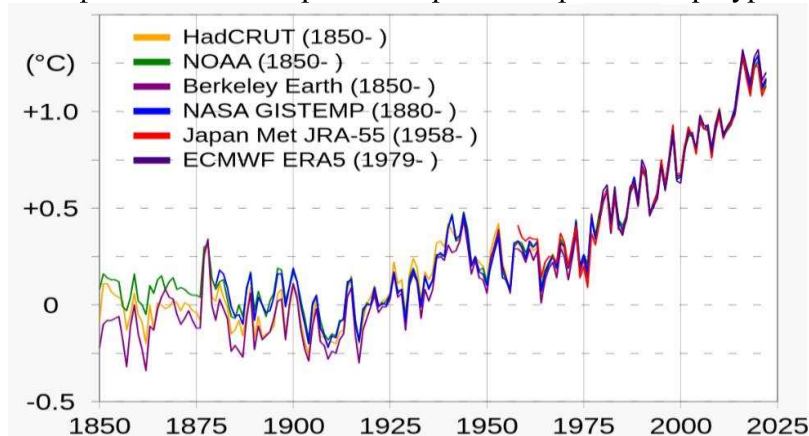
Олинган натижалар асосида Ўзбекистон ҳудудида ҳаво ҳарорати режимини тадқиқ этишида 1000 м гача баландликлар учун ERA5 реанализ маълумотларидан фойдаланишни тавсия этиши мумкин. 1000 м дан юқорида жойлашган ҳудудлар учун реанализ маълумотлари умумий ўзгариш тамойилларини акс эттириб, улардан фойдаланишида олинган таҳлил натижаларига тузатмалар киритиш талаб қилинади.

**Калит сўзлар:** ҳаво ҳарорати, NASA POWER, ERA5, метеорология станцияси, реанализ, верификация.

**Кириш.** Сайёрамизда глобал миқёсда ҳароратнинг кўтарилиши ва унинг оқибатлари сифатида муайян минтақаларда аномал иссиқ ва совуқ тўлқинлари, кучли шамоллар, жадал ёғингарчилик, сел тошқинлари, қурғоқчилик, ўрмон ёнғинлари ва бошқа хавфли гидрометеорологик hodисалар такрорланувчанлиги ва жадаллигидаги ўзгаришлар билан ифодаланувчи иқлим ўзгариши давом этмоқда. АҚШ Миллий аэронавтика ва

\* Масъул муаллиф: bahrom77774444@gmail.com, тел.: +998 97 704-27-12

космос администрацияси Годдард космик тадқиқотлар институтининг (NASA GISS) таҳлилий маълумотларига биноан, 1850 йилдан ҳозирги вақтга қадар ўртача глобал ҳарорат  $1,5^{\circ}\text{C}$  атрофида кўтарилган (1-расм) [National ..., Disputes ...]. Иқлим ўзгариши қишлоқ ва сув хўжалиги, энергетика, транспорт, қурилиш, соғлиқни сақлаш, туризм ва бошқа кўплаб инсон фаолияти соҳаларига тобора сезиларли таъсир кўрсатмоқда.



1-расм. Глобал ўртача ҳароратнинг ўзгариши [Disputes ...]

Рис. 1. Изменение средней глобальной температуры [Disputes ...]

Fig. 1. Global average temperature change [Disputes ...]

Жой иқлимини тавсифлашда ҳаво ҳарорати маълумотлари асосий иқлимий кўрсаткичлардан бири ҳисобланади. Кўплаб илмий ва амалий масалаларни ечишда ҳаво ҳарорати режими маълумотларидан кенг фойдаланилади. Масалан, қуёш фотоэлектрик станцияларининг энергия ишлаб чиқариш имкониятларини тўлиқ баҳолаш учун биргина Қуёш радиацияси маълумотлари етарли эмас. Ҳаво намлиги, шамол тезлиги, ҳаводаги чанг миқдори каби иқлимий кўрсаткичлар билан бир қаторда ҳаво ҳароратининг кун давомидаги соатлик ўзгарувчанлигини ҳисобга олиш кенг кўламли энергетик объектлар қурилишларида бутун тизимни баҳолашнинг аниқлиги ва ишончилигини оширади, фотоэлектрик станцияларнинг иш режимини бошқариш, мониторинг қилиш ҳамда прогнозлаш имконини беради [Avezova et al., 2018].

М.Л. Арушановнинг маълумотларига кўра, Ўзбекистонда 82 та метеорология станцияларидан ташкил топган кузатув тармоғининг зичлиги  $6000 \text{ км}^2$  майдонга 1 та метеостанцияни ташкил этиб, Жаҳон метеорология ташкилотининг талабларидан деярли 2 марта кам. Ушбу талабларга жавоб бериш учун Ўзбекистон ҳудудида метеостанциялар сони 144 дан кам бўлмаслиги керак. Бироқ, метеорологик кузатув тармоғининг информативлиги нафақат тармоқ зичлиги, балки кузатув пунктларининг ўзаро жойлашувига ҳам боғлиқ [Арушанов, 2021]. Ҳозирги вақтга келиб, Ўзбекистон ҳудудида ер усти кузатувлари 100 дан ортик метеорология станцияларида олиб борилмоқда. Шунга қарамай, мамлакатимиз ғарби (Устюрт платоси) ҳамда Қизилқум чўли ҳудудларида, айниқса, унинг шимолида кузатув тармоғининг зичлиги ўта пастлигича қолмоқда. Бундай ҳолатда мавжуд кузатув тармоғи метеорологик катталикларнинг вақт ва ҳудуддаги аниқ тақсимотини ҳосил қилиш имконини бермайди [Rakhmatova et al., 2021].

Кузатув маълумотлари етишмовчилиги билан боғлиқ муаммони ҳал қилишнинг усулларидан бири – метеорологик майдонлар қайта таҳлили, яъни реанализ маълумотларидан фойдаланиш ҳисобланади. Реанализ глобал атмосфера моделларининг ҳисоблаш натижалари бўлиб, реанализ жараёнида метеорологик кузатув маълумотларини

мунтазам ўзлаштириш ва маълумотлар етишмайдиган ҳудудларда мунтазам глобал тўр тугунларида атмосфера параметрларини интерполяциялаш орқали ҳосил қилинади [Dee et al., 2011; Hersbach et al., 2020; Rakhmatova et al., 2021]. Кузатиш тармоғи сийрак ёки мураккаб рельеф шаклларига эга ҳудудларда реанализ натижалари катта хатоликларга эга бўлиши мумкин [Decker et al., 2012; Lindsay et al., 2014; Luo et al., 2019; Martins et al., 2017; Rakhmatova et al., 2021]. Таъкидлаш жоизки, бу усул ўзбекистонлик ва хориж олимлари томонидан илмий тадқиқотларда самарали фойдаланиб келинмоқда [Арушанов, Вдовенко, 2022; Hu et al., 2014; Raximov, Fazilova, 2020; Rakhmatova et al., 2021].

Юқорида баён қилинган ҳолатларни эътиборга олиб, мазкур тадқиқотнинг **мақсади** Ўзбекистон ҳудуди учун АҚШ Миллий аэронавтика ва космос агентлигининг Жаҳон энергия ресурсларини прогнозлаш NASA POWER [NASA ...] ва Европа ўрта муддатли об-ҳаво прогнозлари марказининг (ECMWF) ERA5 [Welcome ...] базаларидан олинган ҳаво ҳарорати маълумотларидан фойдаланиш имкониятларини баҳолашдан иборат. NASA POWER, ERA5 ва ер усти кузатув маълумотларини статистик усуллар ёрдамида верификациялаш ҳамда уларнинг мослигини баҳолаш тадқиқот ишининг **вазифаси** ҳисобланади.

**Тадқиқотнинг объекти ва предмети.** Ўзбекистон Республикаси ҳудуди ишнинг объектини, баландлик минтақалари бўйича Ўзбекистон учун ҳаво ҳароратининг NASA POWER, ERA5 ва ер усти кузатув маълумотлари орасидаги мосликни аниқлаш масаласи ишнинг предмети ташкил этади.

**Бирламчи маълумотлар ва тадқиқот усуллари.** Тадқиқот ишини бажаришда Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати агентлиги (Ўзгидромет) фондида сақланаётган ТМ-1 жадвалларидан 2000-2022 йиллар даври учун 77 та метеорология станциялари (1-жадвал) бўйича ҳамда NASA POWER ва ERA5 базалари муддатли ҳаво ҳарорати маълумотларидан фойдаланилди.

Ҳаво ҳарорати бўйича NASA POWER ва ERA5 базалари ҳамда ер усти кузатувлари маълумотларининг муддатли (ўртача), кунлик ва ойлик (ўртача, максимал ва минимал) қийматларини верификациялашда қуйидаги ўртача хатоликлар (ўртача мутлақ, ўртача нисбий ва ўртача квадратик) ва регрессион хатолик  $R_{adj}^2$  қўлланилди.

1. Ўртача абсолют хатолик (MAE). Бу кўрсаткич икки қаторнинг мос элементлари орасидаги мутлақ фарқларнинг ўртача қийматини ифодалаб ( $^{\circ}\text{C}$ ), қуйидагича аниқланади:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - x_i|, \quad (1)$$

бу ерда:  $y_i$  – реанализ маълумотлари,  $x_i$  – ер усти кузатувлари маълумотлари,  $n$  – қатордаги элементлар сони.

2. Ўртача нисбий хатолик (MRE). У икки қаторнинг мос элементлари орасидаги нисбий фарқларнинг ўртача қийматини ифодалайди (%) ва қуйидаги ифода орқали аниқланади:

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - x_i}{x_i} \right|. \quad (2)$$

3. Ўртача квадратик хатолик (RMSE). RMSE икки қаторнинг мос элементлари орасидаги ўртача квадратик фарқларнинг квадрат илдизини ифодалайди ( $^{\circ}\text{C}$ ) ва қуйидагича аниқланади:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}. \quad (3)$$

1-жадвал

Тадқиқотда фойдаланилган Ўзгидромет метеорология станциялари

Таблица 1

Использованные в исследовании метеорологические станции Узгидромета

Table 1

## Uzgidromet's meteorological stations used in the research

№	Метеорология станцияси	Координаталар			№	Метеорология станцияси	Координаталар		
		кеңлик, °N	узунлик, °E	Денгиз сатҳига нисбатан баландлик, м			кеңлик, °N	узунлик, °E	Денгиз сатҳига нисбатан баландлик, м
1	Анджон	40,7166	72,2833	476	40	Қорақалпоғистон	44,8500	56,333	126
2	Қўрғонтепа	40,6833	71,9333	433	41	Қўнғирот	43,0830	58,933	64
3	Бўз	40,8024	71,5998	397	42	Мўйноқ	43,7830	59,031	55
4	Бухоро	39,7666	64,4833	225	43	Тахياتош	42,3330	59,583	77
5	Жонкелди	40,8500	63,3333	208	44	Чимбой	42,9500	59,817	66
6	Қорақўл	39,5000	63,8500	196	45	Нукус	42,4833	59,616	75
7	Оёқоғитма	40,6833	64,4833	219	46	Актумсук	45,1333	58,3000	182
8	Қўқон	40,5500	70,9500	405	47	Бўстон	41,8475	60,9100	76
9	Қува	40,5666	72,0066	469	48	Тахтақўпир	43,0199	60,3026	90
10	Фарғона	40,3666	71,7500	577	49	Даҳбет	39,7500	66,9170	646
11	Сариканда	39,9530	71,1248	1200	50	Самарқанд	39,6300	66,9500	724
12	Шохимардон	40,3000	71,9433	831	51	Сирдарё	40,8170	68,6830	264
13	Бахмал	39,9333	67,4333	744	52	Янгиер	40,2830	68,8330	317
14	Ғаллаорол	40,0333	67,5833	571	53	Бойсун	38,2000	67,1830	1220
15	Жиззах	40,0116	67,8333	345	54	Денов	38,2670	67,9000	520
16	Дўстлик	40,4166	67,1833	520	55	Термиз	37,2830	67,3000	312
17	Арнасой	40,8333	67,6666	250	56	Шеробод	37,6670	67,0170	410
18	Лалмикор	39,9167	67,4500	744	57	Шўрчи	38,0000	67,8000	446
19	Янгикишлоқ	39,7166	68,0016	1308	58	Сариосиё	38,4199	67,9488	558
20	Наманган	40,9833	71,5833	476	59	Тошкент	41,3570	69,3180	486
21	Поп	40,8833	71,0116	442	60	Олмалик	40,8500	69,6000	567
22	Оқбайтал	43,1500	64,3333	233	61	Ангрэн	41,0170	70,1330	940
23	Бўзаубай	41,7500	62,4666	98	62	Бскобод	40,2000	69,2670	303
24	Мошиқудуқ	41,0050	65,2833	200	63	Дукант	41,0150	70,0670	2020
25	Навой	40,1164	65,1674	346	64	Бошқизилсой	41,1000	70,5000	2145
26	Учкудуқ	42,1540	63,5560	210	65	Ойгаинг	42,1670	70,8830	2107
27	Нурота	40,5500	65,6833	485	66	Писком	41,9000	70,3670	1214
28	Томди	41,7333	64,6166	238	67	Туябўғиз	40,9330	69,4000	404
29	Сентоб-Нурота	40,1164	65,1674	346	68	Чимён	41,3330	70,0160	1800
30	Окработ	38,8666	66,1666	1579	69	Далварзин	40,4000	69,2780	290
31	Ғузур	38,6166	66,2666	524	70	Қўқорол	40,6420	69,2190	337
32	Дехқонобод	38,3500	66,5000	853	71	Сўқоқ	41,2467	69,8026	969
33	Қарши	38,8102	65,7743	377	72	Янгийўл	41,0167	69,0050	344
34	Мингчукур	38,6500	66,9333	2077	73	Қамчиқ	41,0100	70,0500	2145
35	Муборак	39,2734	65,1460	286	74	Гурлан	41,8490	60,399	90
36	Кўл	39,1000	67,5167	2161	75	Хива	41,4000	60,383	97
37	Чимқўрғон	38,8364	65,3748	466	76	Урганч	41,5830	60,633	98
38	Шаҳрисабз	39,0066	66,8333	628	77	Туямўйин	41,2167	61,3364	117
39	Жаслик	43,8833	57,5166	128					

4. Тузатилган детерминация коэффиценти. Бу кўрсаткич турли сонли регрессорлар (омиллар)га эга моделларни қиёслашда регрессорлар сонининг  $R^2$  статистикасига таъсирини бартараф этиш учун қўлланилади:

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{(1 - R^2)(n - 1)}{n - \rho - 1}, \quad (4)$$

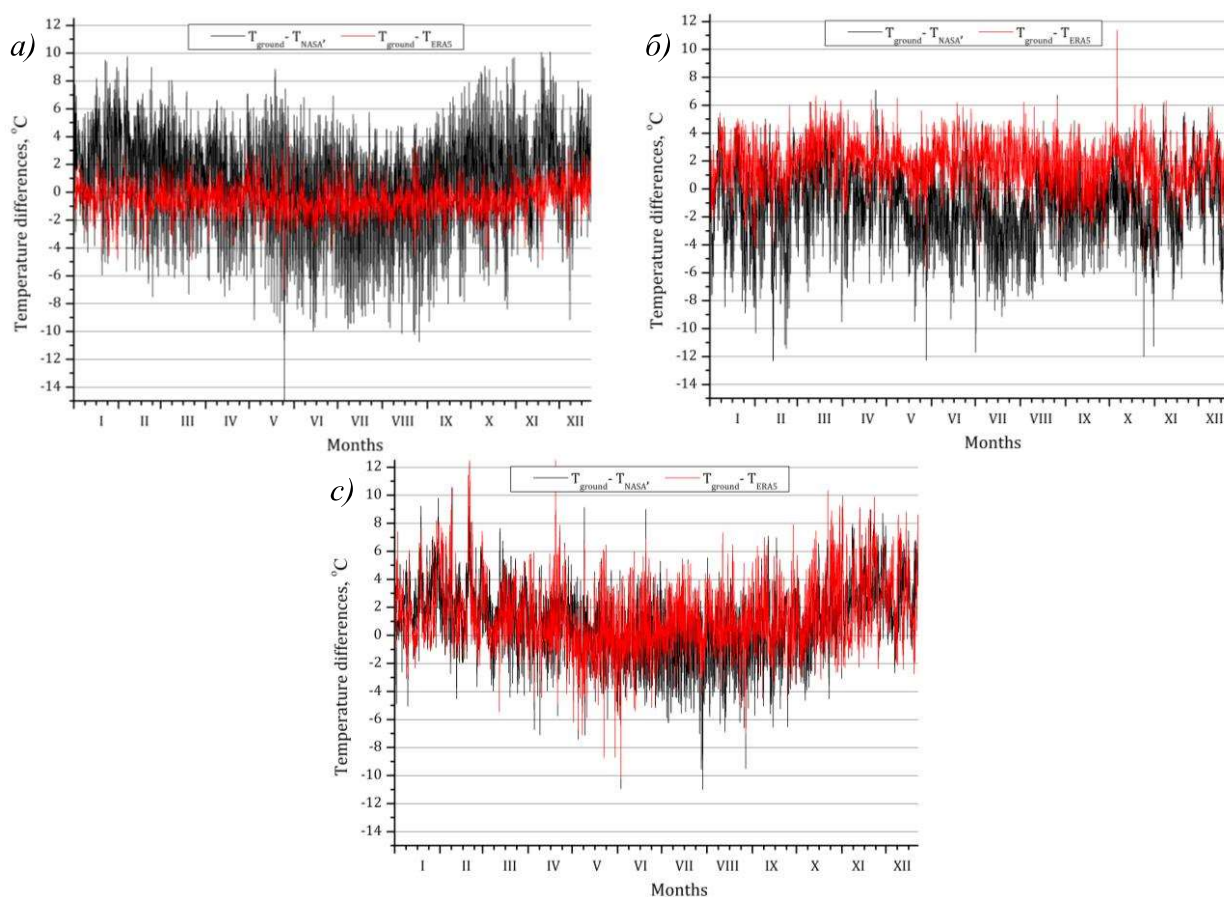
бу ерда:  $R = r_{xy}^2$  – детерминация коэффиценти,  $r_{xy}$  – Пирсон коэффиценти,  $\rho$  – мустақил регрессорлар сони.

Кузатиш пункти баландлигининг верификация натижаларига таъсирини аниқлаш мақсадида метеорология станциялари денгиз сатҳига нисбатан баландлиги ( $h$ ) бўйича қуйидаги 4 гуруҳга ажратилди: 1)  $h < 500$  м; 2)  $500 \text{ м} < h < 1000$  м; 3)  $h < 1000$  м; 4)  $h > 1000$  м.

**Асосий натижалар ва уларнинг муҳокамаси.** NASA POWER ва ERA5 базаларидан олинган муддатли ҳаво ҳарорати маълумотлари ва ҳаво ҳароратининг ер усти кузатувлари орасидаги фарқларни аниқлаш мақсадида дастлаб реанализ маълумотлари каторларидан 3 соат ораликли ер усти кузатувларига мос келувчи 8 та муддат учун маълумотлар ажратиб олинди. Мисол тариқасида 2-расмда денгиз сатҳига нисбатан баландлиги бўйича 1-, 2- ва 4-гуруҳларга кирувчи Бухоро ( $h=225$  м), Фарғона ( $h=577$  м) ва Чимён ( $h=1800$  м) метеорология станциялари учун 2020 йилги реанализ (NASA POWER ва ERA5) ва ер усти кузатув маълумотлари орасидаги фарқлар графиклари келтирилган. Графикда келтирилган маълумотлардан ҳар икки реанализ базалари ва ер усти кузатув маълумотлари орасида муайян фарқлар мавжуд эканлиги яққол кўриниб турибди.

Ажратиб олинган муддатли маълумотлар асосида ҳаво ҳароратининг муддатли, кунлик ва ойлик ўртача қийматлари ҳисобланди ҳамда кунлик ва ойлик максимал ва минимал қийматлари аниқланди. NASA POWER, ERA5 ва ер усти кузатувлари маълумотларини муддатли (ўртача), кунлик ва ойлик (ўртача, максимал ва минимал) қийматлар бўйича верификациялаш мақсадида турли баландлик минтақаларида жойлашган станциялар учун боғланишларнинг зичлиги статистик усуллар ёрдамида баҳоланди. Мисол тариқасида, 2- ва 4-баландлик гуруҳларига кирувчи станциялар учун ойлик қийматлар орасидаги боғланишлар баҳоланмалари ва регрессия тенгламалари 3- ва 4-расмларда, барча баландлик гуруҳлари учун верификациялаш натижалари эса 2-жадвалда келтирилган. Реанализ ва ер усти кузатув маълумотлари орасидаги боғланишлар зичлигига баландлик ортисининг таъсири расмларда келтирилган маълумотлардан яққол кўриниб турибди (3- ва 4-расмлар).

NASA POWER ва ер усти кузатув ўртачаланган муддатли маълумотлари мослигини қиёслаш натижалари 1- ( $h < 500$  м) ва 2- ( $500 \text{ м} < h < 1000$  м) баландлик гуруҳларида жойлашган пунктлар учун RMSE ( $3,79^\circ\text{C}$  ва  $3,85^\circ\text{C}$ ), MAE ( $3,02^\circ\text{C}$  ва  $3,08^\circ\text{C}$ ), MRE ( $14,33\%$  ва  $14,83\%$ ) ва  $R_{adj}^2$  (бир хил –  $0,91$ ) кўрсаткичлари бўйича ўзаро яқин қийматларни ташкил этди. 1- ва 2-баландлик гуруҳларини бирлаштирувчи 3- ( $h < 1000$  м) ҳамда 4- ( $h > 1000$  м) баландлик гуруҳларида жойлашган станциялар учун ўзаро мослик камайиб боради. Масалан, 3-гуруҳ станциялари учун MRE =  $16,22\%$  ва  $R_{adj}^2 = 0,88$  бўлса, денгиз сатҳига нисбатан  $1000$  м дан юқори, яъни тоғларда жойлашган кузатув пунктлари учун бу кўрсаткичлар мос равишда  $25,15\%$  ва  $0,83$  га тенг бўлди. 1-3-баландлик гуруҳлари учун муддатли ERA5 маълумотларини верификациялаш натижасида MRE =  $4,14\% \div 5,24\%$ ,  $R_{adj}^2 = 0,96 \div 0,97$  диапазонларидаги қийматларни қабул қилиши маълум бўлди. Бироқ, тоғ станцияларида (4-баландлик гуруҳи) мослик даражаси сезиларли пасайиб, MRE =  $21,52\%$ ,  $R_{adj}^2 = 0,84$  ни ташкил этади (2-жадвал).



**2-расм. NASA POWER (қора) ва ERA5 (қизил) базалари ҳамда ер усти ҳаво ҳарорати кузатув маълумотлари орасидаги фарқ (°C), 2020 й.**

*a) Бухоро ( $h < 500$  м), б) Фарғона ( $500 \text{ м} < h < 1000$  м), с) Чимён ( $h > 1000$  м)*

**Рис. 2. Разница (°C) между данными баз NASA POWER (черный) и ERA5 (красный) и наземными наблюдениями за температурой воздуха, 2020 г.**

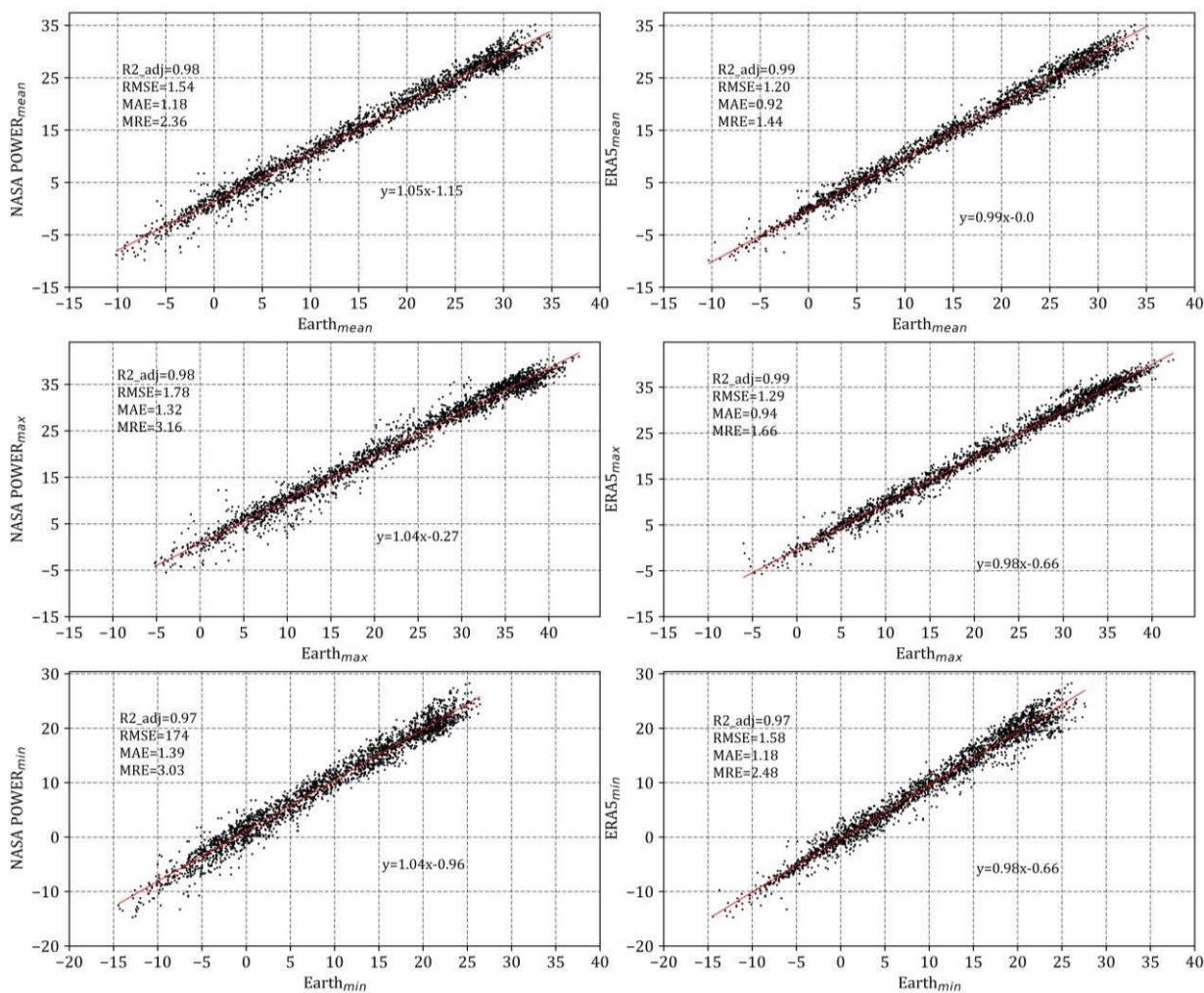
*a) Бухара ( $h < 500$  м), б) Фергана ( $500 \text{ м} < h < 1000$  м), в) Чимган ( $h > 1000$  м)*

**Fig. 2. Difference (°C) between NASA POWER (black) and ERA5 (red) data and ground-based air temperature observations, 2020**

*a) Bukhara ( $h < 500$  m), b) Fergana ( $500 \text{ m} < h < 1000$  m), c) Chimgan ( $h > 1000$  m)*

Кунлик ўртача ҳарорат қийматларини баландлик минтақалари бўйича верификациялаш натижалари 500 м гача баландликларда (1-гурӯх) NASA POWER маълумотларида  $RMSE = 2,15^\circ\text{C}$ ,  $MAE = 1,65^\circ\text{C}$ ,  $MRE = 4,60\%$  ва  $R_{adj}^2 = 0,97$ , ERA5 маълумотларида эса мос равишда  $1,48^\circ\text{C}$ ,  $1,12^\circ\text{C}$ ,  $2,18\%$  ва  $0,98$  эканлигини кўрсатди. 3-баландлик гуруҳида қийматлар фарқи 1-гурӯх қийматларига яқин, 2-гурӯх станциялари учун NASA POWER маълумотларининг фарқи 1- ва 3-гурӯх станциялари учун аниқланган фарқлардан бироз каттароқ бўлса, ERA5 маълумотларининг фарқи сезиларли катта қийматларни ташкил этди. 1000 м дан юқорида жойлашган станцияларда фарқлар сезиларли бўлиб,  $MRE = 19,01\%$ ,  $R_{adj}^2 = 0,85$  (NASA POWER) ва  $MRE = 0,44\%$ ,  $R_{adj}^2 = 0,87$  (ERA5) ни ташкил этди. 1-3-баландлик минтақалари учун ҳар икки базалар бўйича максимал ва минимал ҳароратлар верификацияси натижалари ҳароратнинг ўртача

қийматлари фарқларидан сезиларли юқори қийматларни ташкил этди. 1000 м дан юқорида жойлашган станцияларда эса кунлик ўртача, максимал ва минимал ҳароратлар мослигидаги нисбий хатолик 15,05% дан 33,12% гача ораликдаги қийматларга тенг бўлди (2-жадвал).

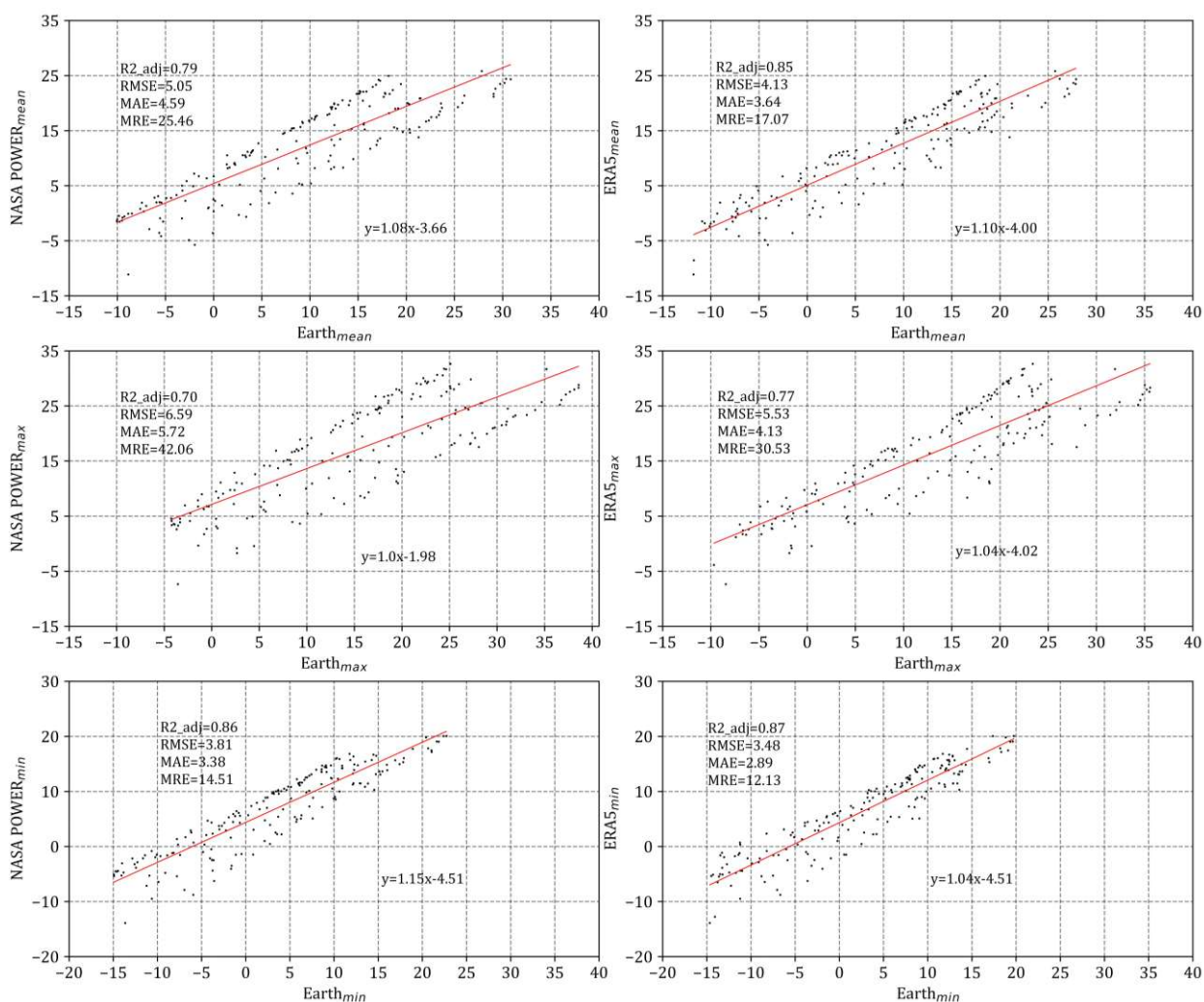


3-расм. NASA POWER, ERA5 ва ер усти кузатувлари бўйича ойлик ҳаво ҳарорати маълумотларини қиёслаш графиклари ( $h < 500$  м)

Рис. 3. Графики сравнения месячных данных о температуре воздуха из NASA POWER, ERA5 и наземных наблюдений ( $h < 500$  м)

Fig. 3. Comparison graphs of monthly air temperature data from NASA POWER, ERA5 and surface observations ( $h < 500$  m)

Ойлик ҳаво ҳарорати маълумотларини верификациялаш натижалари 1-3-баландлик гуруҳига кирувчи станцияларда муддатли ва кунлик қиёслаш натижаларига нисбатан яхшироқ мувофиқликни кўрсатди. Энг юқори мувофиқлик 2-баландлик гуруҳи станциялари учун ERA5 маълумотларида аниқланиб, MRE 0,47%÷1,02%,  $R^2_{adj}$  0,98÷0,99 диапазонидаги қийматларни ташкил этди. Бироқ, 1000 м дан юқорида жойлашган станциялар учун хатоликлар ҳар икки база учун ҳам хос бўлиб, нисбий хатоликлар 12,13% дан 42,06% гача ораликдаги қийматларни ташкил этди (2-жадвал).



4-расм. NASA POWER, ERA5 ва ер усти кузатувлари бўйича ойлик ҳаво ҳарорати маълумотларини қиёслаш графиклари ( $h > 1000$  м)

Рис. 4. Графики сравнения месячных данных о температуре воздуха из NASA POWER, ERA5 и наземных наблюдений ( $h > 1000$  м)

Fig. 4. Comparison graphs of monthly air temperature data from NASA POWER, ERA5 and surface observations ( $h > 1000$  m)

Шундай қилиб, ҳаво ҳарорати бўйича ERA5 реанализ маълумотларининг ер усти кузатув маълумотларига мувофиқлиги NASA POWER реанализ маълумотларига нисбатан яхшироқ эканлиги маълум бўлди. Бироқ, NASA POWER маълумотларида бўлгани каби, баландликнинг ортиши билан ERA5 маълумотларининг хатоликлари ҳам сезиларли ортиб боради.

Н. Рахматова ва ҳаммуаллифлар [Rakhmatova et al., 2021] томонидан бажарилган тадқиқот ишида реанализ ва ер усти кузатувлари орасидаги мувофиқлик ҳаво ҳароратининг фақатгина ойлик қийматлари асосида таҳлил қилинган. Улардан фарқли равишда мазкур тадқиқотда мувофиқлик кўрсаткичлари баландлик минтақалари ҳамда муддатли ва кунлик маълумотлар учун ҳам бажарилганлиги билан ажралиб туради.

2-жадвал

NASA POWER, ERA5 ва ер усти қузатувлари бўйича мўддатли, кунлик ва ойлик ҳаво ҳарорати маълумотларини верификациялаш натижалари (2000-2022 йй.)

Таблица 2

Результаты верификации срочных, суточных и месячных данных о температуре воздуха NASA POWER, ERA5 и наземных наблюдений (2000-2022 гг.)

Table 2

Results of verification of hourly, daily and monthly air temperature data from NASA POWER, ERA5 and ground-based observations (2000-2022)

		NASA POWER ва ер усти қузатувлари						ERA5 ва ер усти қузатувлари					
h	a	b	RSME, °C	MAE, °C	MRE, %	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	a	b	RSME, °C	MAE, °C	MRE, %	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	
Мўддатли	1	1,01	0,00	3,79	3,02	14,33	0,91	0,98	1,00	2,03	1,51	4,14	0,97
	2	1,00	0,00	3,85	3,08	14,83	0,91	0,97	0,00	2,29	1,73	5,24	0,96
	3	0,99	-1,00	4,03	3,27	16,22	0,88	0,93	-1,00	2,23	1,68	4,99	0,96
	4	1,04	-1,00	5,02	3,97	25,15	0,83	1,01	-1,00	4,64	3,71	21,52	0,84
Кунлик	1	1,04	-0,81	2,15	1,65	4,60	0,97	0,99	-1,00	1,48	1,12	2,18	0,98
	максимал	1,01	-0,56	2,69	1,98	7,23	0,96	0,98	0,74	1,71	1,22	2,93	0,98
	минимал	1,01	0,32	2,84	2,24	8,08	0,93	0,97	0,58	2,13	1,60	4,55	0,96
	ўртача	1,02	-1,40	2,83	2,23	14,41	0,92	0,94	-1,00	2,51	2,08	13,57	0,94
Ойлик	максимал	0,97	-1,28	3,22	2,51	11,82	0,92	0,93	-0,39	2,78	2,31	10,94	0,94
	минимал	0,99	-0,02	3,49	2,83	28,07	0,85	0,90	-0,83	3,11	2,46	24,73	0,88
	ўртача	1,03	-0,94	2,27	1,74	5,14	0,96	0,98	0,00	1,72	1,32	2,97	0,98
	максимал	1,00	-0,71	2,82	2,09	7,93	0,95	0,97	0,48	1,96	1,45	3,85	0,98
1	минимал	1,01	0,23	2,93	2,31	8,59	0,92	0,96	0,29	2,36	1,77	5,55	0,95
	ўртача	1,04	-0,86	4,36	3,61	19,01	0,85	1,02	-1,00	4,18	3,49	17,44	0,85
	максимал	1,03	-1,60	5,67	4,72	32,20	0,78	0,98	-0,82	5,75	4,81	33,12	0,77
	минимал	1,00	0,86	3,88	3,13	15,05	0,86	0,98	-1,77	3,95	3,10	15,62	0,84
2	ўртача	1,05	-1,15	1,54	1,18	2,36	0,98	0,99	0,00	1,20	0,92	1,44	0,99
	максимал	1,04	-0,27	1,78	1,32	3,16	0,98	0,98	0,66	1,29	0,94	1,66	0,99
	минимал	1,04	-0,96	1,74	1,39	3,03	0,97	0,98	0,66	1,58	1,18	2,48	0,97
	ўртача	1,03	-0,73	2,16	1,73	4,68	0,95	0,96	-2,00	0,69	0,55	0,47	0,99
3	максимал	1,01	0,52	2,28	1,80	5,20	0,95	0,97	-1,75	0,73	0,52	0,53	0,99
	минимал	1,02	-0,96	2,25	1,80	5,04	0,93	0,97	-1,75	1,01	0,77	1,02	0,98
	ўртача	1,05	-1,07	1,68	1,29	2,83	0,98	0,99	0,00	1,43	1,15	2,06	0,98
	максимал	1,03	-0,13	1,89	1,42	3,59	0,97	0,98	0,15	1,61	1,26	2,58	0,98
4	минимал	1,03	-0,98	1,86	1,48	3,47	0,96	0,98	0,15	1,59	1,26	2,52	0,97
	ўртача	1,08	-3,66	5,05	4,59	25,46	0,79	1,10	-4,00	4,13	3,64	17,02	0,85
	максимал	1,01	-1,98	6,49	5,72	42,06	0,70	1,04	-4,02	5,53	4,89	30,53	0,77
	минимал	1,15	-4,51	3,81	3,38	14,51	0,86	1,04	-4,51	3,48	2,89	12,13	0,87

Изоҳ: a ва b – регрессия тенгламасининг эркин ва эркин ўзгаришлари. **Примечание:** a и b – несвободный и свободный переменные уравнения регрессии.

Note: a and b – non-free and free variables of regression equation.

**Хулоса.** Ҳаво ҳарорати реанализ маълумотларидан Ўзбекистон ҳудудида фойдаланиш имкониятларини тадқиқ этиш қуйидаги натижаларни берди.

1. Ҳаво ҳарорати бўйича NASA POWER ва ERA5 базалари ҳамда ер усти кузатиш маълумотлари ўртасида муайян корреляциянинг мавжудлиги, уларнинг аниқлиги кузатиш пунктнинг денгиз сатҳига нисбатан баландлиги ва ҳарорат кўрсаткичининг тури (ўртача, максимал, минимал)га боғлиқ эканлиги аниқлади.

2. Ўзбекистон ҳудуди учун NASA POWER ва ERA5 реанализи маълумотларини верификациялаш натижалари ERA5 маълумотларининг ер усти кузатуви маълумотларига мувофиқлиги NASA POWER маълумотларига нисбатан каттароқ эканлигини кўрсатди.

3. 1000 м гача баландликлардаги станциялар учун ERA5 муддатли ҳаво ҳарорати қийматларининг нисбий хатолиги 4,0-5,0%, кунлик ва ойлик ўртача, минимал ва максимал қийматларнинг нисбий хатоликлари 0,47-5,55% оралиғидаги қийматларни ташкил этади. Бироқ, ойлик ҳарорат қийматлари бўйича 500 ва 1000 м баландликлар (2-гурӯх) оралиғида жойлаган станцияларда энг яхши мувофиқлик (нисбий хатолик 0,47-1,02%) аниқланган бўлса, кунлик ҳарорат қийматларининг хатоликлари 10,94-24,73% гача ортади.

4. 1000 м дан юқорида жойлашган станциялар учун ERA5 маълумотларининг нисбий хатоликлари кескин ортиб, 12,13-33,12% ни ташкил этади.

5. Кунлик ва ойлик ҳарорат қийматларининг мувофиқлиги муддатли қийматларга нисбатан ҳамда ўртача қийматларнинг максимал ва минимал қийматларга нисбатан каттароқ аниқликка эга эканлиги маълум бўлди. Бу ҳолат аниқликка 24 муддатли реанализ маълумотлари қаторларидан фақат 8 та муддат учун қийматларнинг ажратиби олиниши ҳамда ўртачалаштиришнинг таъсири сифатида изоҳланади.

Юқоридаги мулоҳазалардан келиб чиқиб, Ўзбекистон ҳудудида ҳаво ҳарорати режимини тадқиқ этишда 1000 м гача баландликлар учун ERA5 реанализ маълумотларидан фойдаланиш тавсия этилади. 1000 м дан юқорида жойлашган ҳудудлар учун реанализ маълумотлари умумий ўзгариш тамойилларини акс эттириб, улардан фойдаланишда олинган таҳлил натижаларига тузатмалар киритиш талаб қилинади.

**Миннатдорчиликлар.** Мазкур тадқиқот иши Инновацион ривожланиш агентлигининг молиявий кўмағида бажарилаётган АЛ-5721122072 «Иқлимнинг даврийлиги ва аномаллигини инобатга олган ҳолда узлуксиз энергия таъминотида фотоэлектрик тизимларни режалаштириш учун қуёш радиациясининг ўзгаришини квазиреал вақт оралиғида баҳолаш ва башоратлашнинг математик моделини ишлаб чиқиш» ва «Қишлоқ хўжалиги, сув ва энергия ресурсларини барқарор ривожлантириш учун ер усти кузатувлари ва геостационар метеорологик сунъий йўлдошлардан олинган қуёш радиацияси маълумотларидан комплекс фойдаланиш» лойиҳалари доирасида амалга оширилган.

**Муаллифлар ҳиссаси.** **Э.Ю. Рахимов:** мақола ғояси, методология, натижалар таҳлили, мақола матнини ёзиш, раҳбарлик. **Б.Й. Омонов:** маълумотларни йиғиш, қайта ишлаш, натижалар таҳлили, мақолани расмийлаштириш. **Б.М. Холматжанов:** натижалар таҳлили, мақола матнини ёзиш, мақолани расмийлаштириш. **Ф.И. Абдиқулов:** натижалар таҳлили, натижаларни текшириш. **С.У. Бегматов:** маълумотларни йиғиш, қайта ишлаш, натижалар таҳлили. **И.М. Махмудов:** маълумотларни йиғиш, қайта ишлаш, натижалар таҳлили. Барча муаллифлар қўлёзманинг нашрга тавсия этилган шаклини ўқиб чиқдилар ва ўз розилигини билдирдилар.

## АДАБИЁТЛАР

Арушанов М.Л. Методика рационализации метеорологической сети станций на примере территории Узбекистана // Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды, №4, 2021. – С. 20-30.

Арушанов М.Л., Вдовенко А.И. Разложения полей аномалий среднемесячной температуры по естественным ортогональным функциям с использованием данных реанализа на территории Узбекистана и сопредельных стран // Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды, №2, 2022. – С. 8-21.

Avezova N.R., Rakhimov E.Yu., Izzatillaev J.O. Resource Indicators Used for Solar Photovoltaic Plants in Uzbekistan. Part 1 // Applied Solar Energy, Vol. 54, No. 4, 2018. – PP. 273-278.

Decker M., Brunke M.A., Wang Z., Sakaguchi K., Zeng X., Bosilovich M.G. Evaluation of the Reanalysis Products from GSFC, NCEP, and ECMWF Using Flux Tower Observations // J. Clim., 25, 2012. – PP. 1916-1944.

Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., Andrae U., Balsameda M.A., Balsamo G., Bauer P., et al. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system // Q. J. R. Meteorol. Soc., 137, 2011. – PP. 553-597.

Hersbach H., Bell B., Berrisford P., Hirahara S., Horányi A., Muñoz-Sabater J., Nicolas J., Peubey C., Radu R., Schepers D. et al. The ERA5 global reanalysis // Q. J. R. Meteorol. Soc., 146, 2020. – PP. 1999–2049.

Hu Z., Zhang C., Hu Q., Tian H. Temperature Changes in Central Asia from 1979 to 2011 Based on Multiple Datasets // J. Clim., 27, 2014. – PP. 1143-1167.

Lindsay R., Wensnahan M., Schweiger A., Zhang J. Evaluation of Seven Different Atmospheric Reanalysis Products in the Arctic // J. Clim., 27, 2014. – PP. 2588-2606.

Luo H., Ge F., Yang K., Zhu S., Peng T., Cai W., Liu X., Tang W. Assessment of ECMWF reanalysis data in complex terrain: Can the CERA-20C and ERA-Interim data sets replicate the variation in surface air temperatures over Sichuan, China? // Int. J. Clim., 39, 2019. – PP. 5619-5634.

Martins D.S., Paredes P., Razieli T., Pires C., Cadima J., Pereira L.S. Assessing reference evapotranspiration estimation from reanalysis weather products. An application to the Iberian Peninsula // Int. J. Clim., 37, 2017. – PP. 2378–2397.

Rakhmatova N., Arushanov M., Shardakova L., Nishonov B., Taryannikova R., Rakhmatova V., Belikov D.A. Evaluation of the Perspective of ERA-Interim and ERA5 Reanalyses for Calculation of Drought Indicators for Uzbekistan // Atmosphere, 12(5):527. 2021. <https://doi.org/10.3390/atmos12050527>

Raximov E.Yu., Fazilova D. Determination of the ambient temperature based on Nasa Power data for the territory of Uzbekistan // Scientific reports of Bukhara State University, 6(82). 2020. – PP. 39-47.

Электрон манбалар:

National Aeronautics and Space Administration Goddard Institute for Space Studies. URL: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>

Disputes about global warming – Global warming controversy. URL: [https://ru.abcdef.wiki/wiki/Global\\_warming\\_controversy](https://ru.abcdef.wiki/wiki/Global_warming_controversy)

NASA Prediction of Worldwide Energy Resources. URL: <https://power.larc.nasa.gov/>

Welcome to the Climate Data Store. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home/>

## ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ИЗ БАЗ NASA POWER И ERA5 В УЗБЕКИСТАНЕ

Э.Ю. РАХИМОВ<sup>1</sup>, Б.Ю. ОМОНОВ<sup>1</sup>, Б.М. ХОЛМАТЖАНОВ<sup>2,3</sup>,  
Ф.И. АБДИКУЛОВ<sup>1,2</sup>, С.У. БЕГМАТОВ<sup>3</sup>, И.М. МАХМУДОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Национальный научно-исследовательский институт возобновляемых источников энергии, [eyurakhimov@gmail.com](mailto:eyurakhimov@gmail.com), [bahrom77774444@gmail.com](mailto:bahrom77774444@gmail.com)

<sup>2</sup> Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, b.kholmatjanov@nuu.uz, abdiqulov707@mail.ru

<sup>3</sup> Научно-исследовательский гидрометеорологический институт

**Аннотация.** В статье анализируются результаты сравнения (верификации) значений температуры воздуха, полученных из баз данных NASA POWER и ERA5 за период 2000-2022 гг., с восьми срочными данными наблюдений на 77 метеорологических станциях Узбекистана за этот же период. Для определения влияния высоты точки наблюдения на результаты верификации, метеорологические станции были разделены на 4 группы ( $h < 500$  м,  $500 \text{ м} < h < 1000$  м,  $h < 1000$  м и  $h > 1000$  м), в зависимости от их высоты относительно уровня моря. В результате исследования было установлено, что данные базы ERA5 на территориях с высотами  $h < 500$  м и  $h < 1000$  м близки к данным наземных наблюдений, чем данные NASA POWER. Относительные погрешности между срочными, суточными и месячными данными температуры воздуха базы ERA5 и данными наземных наблюдений на территориях ниже 500 м над уровнем моря составляют 1,44-4,55%. На территориях с высотой до 1000 м для значений срочных наблюдений они составляют 4,0-5,0%, а для суточных и месячных средних, максимальных и минимальных значений находятся в пределах 0,47-5,55%. По месячным значениям температуры наилучшее согласие (относительная ошибка 0,47-1,02%) обнаружено на станциях, расположенных на высотах от 500 м до 1000 м (2-ая группа). Однако, погрешности суточных значений температуры для станций этой высотной группы возрастают до 10,94-24,73%. На метеорологических станциях, расположенных выше 1000 м, обе базы данных имеют близкие друг к другу большие погрешности по сравнению с наземными данными.

На основе полученных результатов можно рекомендовать использование данных реанализа ERA5 для высот до 1000 м при изучении температурного режима воздуха на территории Узбекистана. Для территорий, расположенных выше 1000 м данные реанализа отражают общие закономерности изменения, и при их использовании необходимо вносить поправки на полученные результаты анализа.

**Ключевые слова:** температура воздуха, NASA POWER, ERA5, метеорологическая станция, реанализ, верификация.

## POSSIBILITIES OF USING AIR TEMPERATURE DATA FROM NASA POWER AND ERA5 BASES IN UZBEKISTAN

E.Yu. RAKHIMOV<sup>1</sup>, B.Yu. OMONOV<sup>1</sup>, B.M. KHOLMATJANOV<sup>2,3</sup>,  
F.I. ABDIKULOV<sup>1,2</sup>, S.U. BEGMATOV, I.M. MAKHMUDOV<sup>3</sup>

<sup>1</sup> National Research Institute of Renewable Energy Sources, eyurakhimov@gmail.com, bahrom77774444@gmail.com

<sup>2</sup> National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, b.kholmatjanov@nuu.uz, abdiqulov707@mail.ru

<sup>3</sup> Hydrometeorological Research Institute

**Abstract.** The article analyzes the results of comparison (verification) of air temperature values obtained from the NASA POWER and ERA5 databases for the period 2000-2022, with eight-time hourly observation data at 77 meteorological stations of Uzbekistan for the same period. To determine the influence of the height of the observation point on the verification results, meteorological stations were divided into 4 groups, depending on their height relative to sea level ( $h < 500$  m,  $500 \text{ m} < h < 1000$  m,  $h < 1000$  m and  $h > 1000$  m). As a result of the study, it was found that the ERA5 database data in areas with altitudes  $h < 500$  m and  $h < 1000$  m are closer to ground-based observation data than NASA POWER data. The relative errors between hourly, daily and monthly air temperature data from the ERA5 base and ground-based observation data in areas below 500 m above sea level are 1.44-4.55%. In areas with an altitude of up to 1000 m for the values of hourly observations they are 4.0-5.0%, and for daily and

monthly average, maximum and minimum values they are in the range of 0.47-5.55%. For monthly temperature values, the best agreement (relative error 0.47-1.02%) was found at stations located at altitudes from 500 to 1000 m (2<sup>nd</sup> group). However, the errors in daily temperature values for stations of this altitude group increase to 10.94-24.73%. At meteorological stations located above 1000 m, both databases have close to each other with large errors compared to ground data.

Based on the obtained results, we can recommend the use of ERA5 reanalysis data for altitudes up to 1000 m when studying the air temperature regime in the territory of Uzbekistan. For territories located above 1000 m, reanalysis data reflect general patterns of change, and when using them, it is necessary to make corrections to the obtained analysis results.

**Keywords:** air temperature, NASA POWER, ERA5, meteorological station, reanalysis, verification.

## REFERENCES

Arushanov M.L. Metodika ratsionalizatsii meteorologicheskoy seti stantsiy na primere territorii Uzbekistana [Methodology of rationalization of the meteorological network of stations on the example of the territory of Uzbekistan] // *Gidrometeorologiya i monitoring okrujayushey sredi*, No. 4, 2021. – S. 20-30. (in Russian)

Arushanov M.L., Vdovenko A.I. Razlojeniya poley anomalii srednemesyachnoy temperaturi po yestestvennim ortogonalnim funktsiyam s ispolzovaniyem danih reanaliza na territorii Uzbekistana i sopredelnykh stran [Expansions of anomal fields of the monthly mean temperature in natural orthogonal functions using reanalysis data on the territory of Uzbekistan and neighboring countries] // *Gidrometeorologiya i monitoring okrujayushey sredi*, No. 2, 2022. – S. 8-21. (in Russian)

*Electronic resources:*

National Aeronautics and Space Administration Goddard Institute for Space Studies.  
URL: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>

Disputes about global warming – Global warming controversy.  
URL: [https://ru.abcdef.wiki/wiki/Global\\_warming\\_controversy](https://ru.abcdef.wiki/wiki/Global_warming_controversy)

NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources. URL: <https://power.larc.nasa.gov/>

Welcome to the Climate Data Store. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home/>

УДК: 551.52:551.577.38

## АНАЛИЗ ЧАСТОТЫ И ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕКУЩИХ И ДОЛГОСРОЧНЫХ ЗАСУХ НА ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА НА ОСНОВЕ ИНДЕКСА SPEI С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И СЦЕНАРИЕВ CMIP5

Н.И. РАХМАТОВА<sup>1\*</sup>, Л.Ю. ШАРДАКОВА<sup>1</sup>, Б.Э.НИШОНОВ<sup>1,3</sup>, В.С. РАХМАТОВА<sup>1,2</sup>,  
Р.В. ТАРЯННИКОВА<sup>1</sup>, Б.М. ХОЛМАТЖАНОВ<sup>1,3</sup>, Д.А. БЕЛИКОВ<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Узбекистан,  
natella.rakhmatova@gmail.com, lyudmila.shardakova@gmail.com,  
bnishonov@mail.ru, traisa\_5@mail.ru

<sup>2</sup> Университет Киото, Япония, valeria.rakhmatova@gmail.com

<sup>3</sup> Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Узбекистан,  
b.xolmatjanov@nuu.uz

<sup>4</sup> Университет Чикаго, Япония, dmitry.a.belikov@gmail.com

\* Ответственный автор: natella.rakhmatova@gmail.com, тел.: +998 90 916-44-46