

*Belonenko T.V., Novoselova E.V. Metody ocenki baroklinnogo radiusa deformacii Rossbi [Methods for Estimating the Baroclinic Rossby Deformation Radius]. – S-Pb.: Gosudarstvennyi Universitet. – 2019. – 25 s. (in Russian)*

*Goldstein R.V., Gorodtsov V.A. Mehanika sploshnyh sred. Chast 1 [Continuum mechanics. Part 1]. – M.: Nauka, 2000. – 256 s. (in Russian)*

*Lyapidevskiy V.Yu., Teshukov V.M. Matematicheskie modeli rasprostraneniya dlennyh voln v neodnorodnoi jidcosti [Mathematical models of propagation of long waves in an inhomogeneous liquid]. – Novosibirsk: Sibirskoe otdelenie Akademii Nauk. – 2000. – 419 s. (in Russian)*

УДК: 551.524:575.1

## SKY IMAGER ЁРДАМИДА БУЛУТ ҚОПЛАМАСИ ДАРАЖАСИНИ АНИҚЛАШ

Э.Ю. РАХИМОВ<sup>1\*</sup>, А.А. ИМЯМИНОВ<sup>1</sup>, Б.Ю. ОМОНОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Энергетика вазирлиги хузуридаги Қайта тикланувчи энергия манбалари миллий илмий-тадқиқот институти, ejurakhimov@gmail.com, abдуманнов7445@gmail.com, bahromomonov0627@gmail.com

**Аннотация.** Мақолада қуёш фотоэлектрик тизимларининг (ФЭТ) самарадорлигини ошириш учун осмонни булут қоплаш даражасини аниқлашда sky imager қурилмасидан фойдаланиш имконияти ўрганилган. Муаллифлар томонидан HikVision камерасидан фойдаланиб, рақамли тасвирни қайта ишлаш орқали осмоннинг булут билан қопланиш даражасини автоматик аниқлаш тизими ишлаб чиқилган. Тадқиқот булут динамикасини кузатиш ва қуёш радиациясини прогнозлаш орқали ФЭТ самарадорлигини яхшилашга қаратилган. Тизим Python дастурлаш тили ёрдамида амалга оширилиб, булут ҳаракатини қуёш ҳолати маълумотлари билан биргалликда таҳлил қилади. Олинган натижалар ушбу тизим қуёш энергиясини прогнозлашни яхшилашни кўрсатди. Таклиф этилган усулни келажакда Ўзгидромет тизимларига интеграциялаш қайта тикланувчи энергия манбаларидан самарали фойдаланишга имкон беради.

**Калит сўзлар:** фотоэлектрик станция (ФЭС), кўриш майдони (FOV), умумий осмон тасвирлари (TSI), sky imager, булут қопламаси.

**Кириш.** Қуёш фотоэлектрик тизимлари каби қайта тикланувчи энергия манбалари келажак энергия тизимлари учун асосий компонент ҳисобланади [Intergovernmental ...]. Қайта тикланувчи энергия манбалари соҳасида, хусусан, қуёш энергиясидан фойдаланишга асосланган технологияларнинг ривожланиши ва сайёрамизда қуёш фотоэлектрик станциялари сонининг ортиши энергия ишлаб чиқариш соҳасидаги янги тенденциялардир.

Кенг миқёсдаги фотоэлектрик тизим (ФЭТ)лар интеграциясидаги муаммолардан бири энергия ишлаб чиқаришнинг беқарорлиги ҳисобланади. Фотоэлектрик станцияларнинг электр энергияси ишлаб чиқаришига таъсир кўрсатувчи турли омиллар орасида булутлилик асосий ҳисобланиб, перпендикуляр юзага тўғри радиациянинг келишига таъсир қилади ва қуёш электр станцияларининг кундузги соатларда барқарор ишлашига тўсқинлик қилади. Бинобарин, бундай ҳодисаларни олдиндан билиш учун булутларнинг ҳолати ва ҳаракати маълум бўлиши керак [Si et al., 2021]. ФЭТ нинг энергия ишлаб чиқариш самарадорлиги булутларнинг ўтиши туфайли қисқа вақт оралиғида катта

\* Масъул муаллиф: ejurakhimov@gmail.com, тел.: +998 97 741-68-95

ўзгаришларга учраши мумкин. Шу сабабли Қуёш диски атрофида булутлар қачон пайдо бўлишини билиш қуёш фотоэлектрик станциялар операторлари учун муҳим маълумот ҳисобланади [Alonso & Batlles, 2014].

Атмосферанинг энг ўзгарувчан таркибий қисмларидан бири сифатида булутлар вақт ва маконда ўз ўлчами ва шаклини ўзгартириб туради. Улар, биринчи навбатда радиация оқими ва ҳаво ҳароратига таъсир кўрсатиб, об-ҳаво ва иқлим ўзгаришида катта рол ўйнайди. Булутлар, одатда, ер сиртига тушувчи қуёш радиациясини камайтиради. Бироқ айрим ҳолларда улар умумий радиация оқимини кутилган очиқ осмон қийматидан ошиб кетишига олиб келиши мумкин [Pfister et al., 2003]. Булутлиликни ўрганиш бир қатор соҳаларда амалий аҳамиятга эга бўлган масала ҳисобланади.

Жаҳонда осмонни булут қоплашини аниқлаш ишларини амалга оширишда sky imager қурилмаларидан кенг фойдаланилади. Бутун кўринадиган осмоннинг ярим шарсимон тасвирларини олиш учун TSI 440A қурилмаси [Huang et al., 2013]; All Sky Imager (ASI-16) [Al-lahham et al., 2020]; осмон тасвирларини олиш учун балиқ кўзи (fisheye) камераси [West et al., 2014]; PROMES-CNRS осмон тасвирлагичи [Chauvin et al., 2015a] дан фойдаланиб бажарилган илмий ишлар бу турдаги тадқиқотларга мисол бўлади (1-расм).



1-расм. Осмон тасвирларини олувчи қурилмалар

Рис. 1. Устройства для съёмки неба

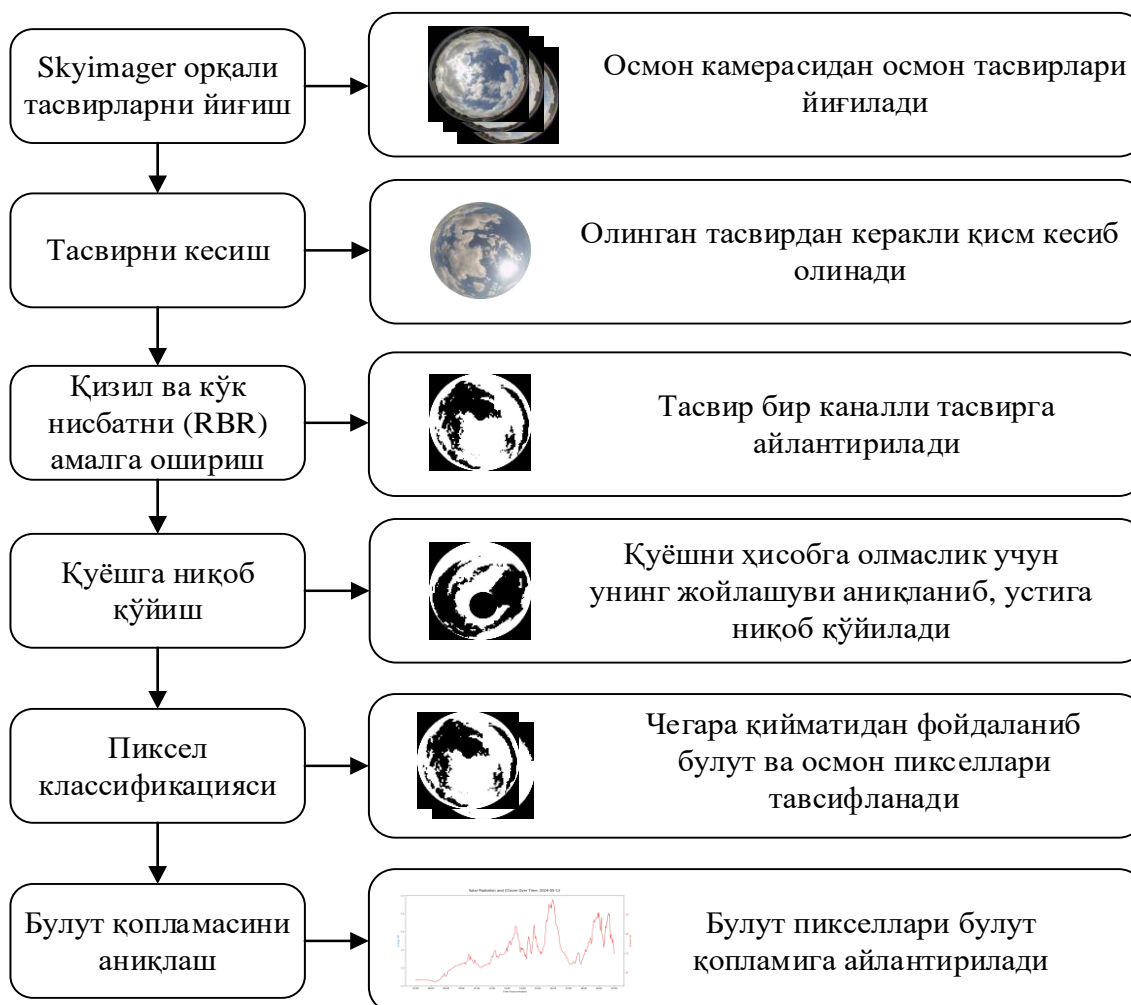
Fig. 1. Sky imaging devices

Бу қурилмалар юқори сифатли осмон тасвирларини олишда ва булутлилик даражасини таҳлил қилишда самарали натижалар беради. Аммо ушбу қурилмалардан фойдаланиш қимматлиги туфайли иқтисодий жиҳатдан қийинчилик туғдиради. Мазкур тадқиқотда юқоридаги қурилмалардан фарқли равишда HikVison камерасидан фойдаланилган ва осмон қопламасининг рақамли тасвирини қайта ишлаш асосида осмонни булут қоплаш даражасини автоматик аниқлаш тизими ишлаб чиқилган ҳамда атмосфера ва об-ҳаво шароитларини мониторинг қилиш, булутлилик даражасини аниқлаш ва қуёш технологияси учун оптимал шароитларни таъминлашда бу тизимдан фойдаланиш мумкинлиги асосланган.

**Тадқиқот объекти ва предмети.** Қайта тикланувчи энергия манбалари, хусусан, қуёш ФЭТ самарадорлигини ошириш ва барқарорлигини таъминлаш мақсадида булут қопламаси даражасини аниқлаш учун рақамли тасвирни қайта ишлашга асосланган

автоматик тизимни яратиш ишнинг **объекти** ҳисобланади. Тадқиқот **предмети** куёш фотоэлектрик тизимларининг ишлашига булут қопламасининг таъсирини баҳолаш ва булут динамикасини таҳлил қилиш орқали куёш энергиясини прогнозлашни яхшилашга йўналтирилган усуллар ва алгоритмлар бўлиб, улар Python дастурлаш тили ёрдамида амалга оширилган.

**Тадқиқот методологияси.** Тадқиқотда осмон қопламасининг рақамли тасвирини қайта ишлаш асосида осмонни булут қоплаш даражасини автоматик аниқлашда кўп босқичли усулдан фойдаланилди. Қўлланиладиган методология 2-расмда кўрсатилганидек, 6 босқичдан иборат.



2-расм. Тадқиқотда ишлатиладиган усулнинг қисқача тавсифи

Рис. 2. Краткое описание метода, используемого в исследовании

Fig. 2. A brief description of the method used in the study

**1. Осмон тасвирлагичи (sky imager) орқали маълумотларни йиғиш.** Осмон тасвирларини олиш орқали булутлилик даражасини аниқлаш мақсадида sky imager қурилмаси ўрнига мамлакатимизда мавжуд бўлган ва нархи бошқаларига нисбатан арзонроқ бўлган HikVision (1/2.8 дюймли CMOS сенсорига асосланган HikVision hiwatch Di 351 хавфсизлик камераси, 1.16 м 2.2 линзали, 2048 x 1536 максимал тасвир сифатини

25 кадр/с тезликда ёзиб олишни қўллаб-қувватлайди, 3 МП) камераси Энергетика вазирлиги хузуридаги Қайта тикланувчи энергия манбалари миллий илмий-тадқиқот институти (41.3274585° ш.к., 69.2934634° шқ.у.) биносининг том қисмига ўрнатилди (3-расм). Ўрнатилган балиқ кўзи (Fisheye) камераси доимий равишда ҳар икки дақиқа оралиғида осмон тасвирларини суратга олади, маълумотлар компьютер хотирасига сақлаб борилади.

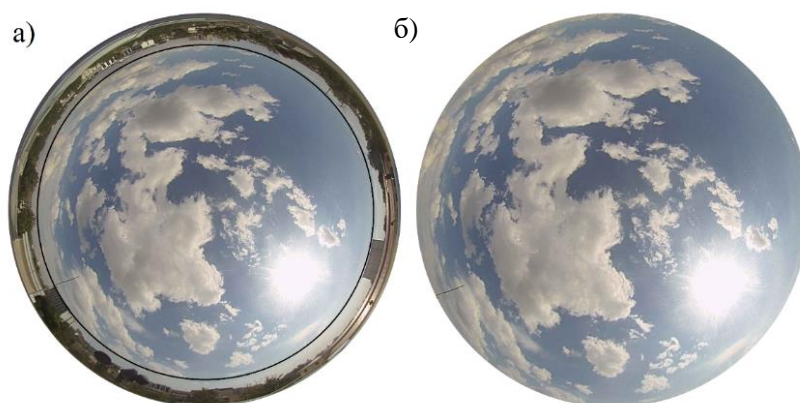


3-расм. Камера ўрнатилган жой

Рис. 3. Места установки камеры

Fig. 3. Place where the camera is installed

2. *Тасвирни кесиб олиш.* Бинонинг ён атропоида баланд бинолар борлигини ҳисобга олган ҳолда тасвирга олинаётганда унинг маълум бир қисми кесиб олинади (4-расм).



4-расм. Тасвирни кесиб олиш: а – асл тасвир, б – кесиб олинган тасвир

Рис. 4. Обрезка изображения: а – исходное изображение, б – обрезанное изображение

Fig. 4. Image cropping: a – original image, b – cropped image

3. *Қизил ва кўк нисбатни (RBR) амалга ошириш.* Булутнинг турли хил қопламалари ўз динамикаси орқали ер сиртига етиб келувчи куёш радиацияси миқдорини ўзгартириб юборади. Булутлилик тасвирларини, уларнинг статистик хусусиятларига кўра,

икки гуруҳга бўлиниши мумкин: унимодал ва бимодал. Унимодал тасвирлар одатда битта элементдан (булут ёки осмон), бимодал тасвирлар эса булут ва осмон элементларидан иборат бўлади [Li et al., 2011]. Тасвирни осмон ва булутга ажратиш учун тасвирда осмон, булут ва қуёш зоналарини аниқлаш керак [Dissawa et al., 2017]. Қалин қатламли булутлар қуёш нурланишининг интенсивлигини 80-90% га камайтириши мумкин. Муайян шароитларда баланд конвектив булутлар булутсиз об-ҳаво билан таққослаганда унинг қийматини 10-15% га ошириши мумкин [Matuszko et al., 2011]. 5-расмда турли булутлилик даражалари келтирилган.



5-расм. Булутлилик даражалари

Рис. 5. Уровни облачности

Fig. 5. Cloudiness levels

Осмоннинг булут билан қопланиши куйидагича таснифланади [Huo & Lu, 2017]:

- осмон бутунлай булутлар билан қопланган бўлса (100%), булутлилик 10 балл деб белгиланади;

- осмоннинг 5% дан 10% гача қисми булутлар билан қопланган бўлса, булутлилик 1 балл деб белгиланади;

- осмоннинг 15% дан 20% гача қисми булутлар билан қопланган бўлса, булутлилик 2 балл деб белгиланади.

Бошқача айтганда, осмоннинг булут билан қопланиш даражасига қараб 0 дан 10 баллгача қийматлар белгиланади. Ҳар бир балл қиймати осмоннинг қанча қисми булутлар билан қопланганлигини кўрсатади. Масалан:

- 0 балл: булут қоплами 0% (бутунлай очиқ осмон);

- 1 балл: булут қоплами 5-10%;

- 2 балл: булут қоплами 15-20%;

- ..

- 10 балл: булут қоплами 100% (бутунлай булутли осмон).

Осмон тасвирлари орқали булутларни таснифлашда одатда Skripps Океанография Институтининг томонидан ишлаб чиқилган қизил-кўк нисбати (RBR) тушунчасидан фойдаланилади [Johnson et al., 1989]. RBR тасвирнинг қизил ва кўк каналлари ўртасидаги нисбатни ифодалайди. Бу нисбат тарқалган ёруғликнинг булутдан (қиймат 1 га яқин) ёки кўк осмондан (қиймат 1) келишини кўрсатади [Schmidt et al., 2016]. Турли олимлар

томонидан таклиф қилинган қизил-кўк нисбатни амалга оширишнинг бошқа усуллари 1-жадвалда келтирилган [Chauvin et al., 2015b; Lothon et al., 2019].

1-жадвал

Қизил ва кўк нисбатини (RBR) амалга ошириш усуллари

Таблица 1

Методы реализации соотношения красного и синего (RBR)

Table 1

Methods of implementing Red to Blue Ratio (RBR)

Усул номи	Тенгламалар	Диапазон
Red/Blue Difference (RBD)	$RBD = R - B$	[-255,255]
Red/Blue Ratio (RBR)	$RBR = \frac{R}{B}$	[0,255]
Normalized Red/Blue (NRB)	$NRB = \frac{R}{R + B}$	[0,1]
Normalized Difference Red/Blue (NDRB)	$NDRB = \frac{R - B}{R + B}$	[-1,1]
Saturation (Sat)	$Sat = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{\max(R, G, B)}$	[0,1]
Euclidean Geometric Distance (EGD)	$EGD = \sqrt{R^2 + G^2 + B^2 + \frac{(R + G + B)^2}{3}}$	[0,208]

Бу усулларнинг айримларини кўриб чиқамиз.

*Red/Blue Ratio (RBR)*. RBR усули тасвирлардаги қизил ва кўк каналлар нисбати асосида булутларни аниқлашга қаратилган. Ушбу усулда тасвирдаги қизил ва кўк ранглар орасидаги нисбий фарқга қараб, булутлар ва бошқа объектлар ажратилади. Булутлар, одатда, юқори қизил ва паст кўк нисбат билан ажралиб туради. Шунинг учун бу усул булутларни аниқлаш учун самаралироқ ҳисобланади. RBR усули соддалиги ва тезлиги билан ажралиб туради, чунки ҳисоблаш учун кам ресурс талаб қилади. Бироқ, у ёруғлик шароитлари ва тасвир параметрларига сезгирроқ, бу эса унинг ишончилигини маълум даражада пасайтириши мумкин.

*Normalized Red/Blue (NRB)*. NRB усули тасвирлардаги қизил ва кўк каналлар ўртасидаги фарқни нормаллаштириш орқали булутларни аниқлашга қаратилган. Ушбу усулда қизил ва кўк каналлар ўртасидаги нисбатни ҳисоблаш ўрнига, қизил канални қизил ва кўк каналлар йиғиндисига нормаллаштириш орқали аниқроқ натижаларга эришилади. Бундай нормаллаштириш тасвирнинг ёруғлик жадаллиги ўзгаришига нисбатан барқарорликни таъминлайди. NRB усули, ёруғлик шароитлари ва тасвир параметрларига камроқ сезгир бўлганлиги сабабли, объектларни фарқлашда ишончлироқ ҳисобланади. Шунга қарамай, бу усул содда усулларга қараганда ҳисоблаш жиҳатидан кўпроқ ресурс талаб қилиши мумкин.

*Normalized Difference Red/Blue (NDRB)*: NDRB усули тасвирлардаги қизил ва кўк каналлар ўртасидаги нисбий фарқни нормаллаштириш орқали булутларни аниқлаш учун қўлланилади. Бу усулда қизил ва кўк каналлар фарқи уларнинг йиғиндисига бўлиниб, ёруғлик шароити ва тасвир параметрларига камроқ сезгирликка эришилади. NDRB булутларни бошқа объектлардан аниқ ажратиш учун самарали бўлиб, осмон

динамикасини кузатиш ва қуёш радиациясини прогнозлашда ишончли натижаларни таъминлайди [Marquez et al., 2013].

Жадвалда келтирилган барча усуллар булутлиликни аниқлашда фойдаланилади. Бироқ улар тасвир сифати, ёруғлик шароитлари ва бошқа омилларга боғлиқ равишда турли натижалар беради.

**4. Қуёшни ниқоблаш.** Тасвирларни таҳлил қилишда қуёшнинг ёрқинлиги катта муаммолар туғдириши мумкин. Қуёшнинг кучли нурланиши тасвирни ҳаддан ташқари ёрқин қилиб, бошқа элементларнинг аниқлигини пасайтиради. Шу сабабли Қуёш тасвирини ниқоблаш орқали унинг таъсирини камайтириш зарур. Қуёшни ниқоблаш жараёни қуйидаги асосий босқичларни ўз ичига олади:

- бинар тасвирдан контурлар аниқланади. Контурлар тасвирдаги объектларнинг чегараларини аниқлашда фойдаланилади. Бу жараён ёрдамида тасвирдаги барча объектларнинг чегаралари топилади;

- топилган контурлар орасидан энг катта контур танланади. Бу контур одатда Қуёшнинг тасвири бўлади, чунки Қуёш тасвирдаги энг ёрқин ва катта объект ҳисобланади. Энг катта контурни танлаш орқали тасвирдаги бошқа кичик объектлар инобатга олинмайди;

- энг катта контурга минимал айлана мослаштирилади. Бу айлана Қуёшнинг тасвири атрофида энг кичик диаметрга эга бўлади. Минимал айланани топиш жараёни контур атрофида жойлашган нуқталарни ҳисобга олиб, энг кичик радиусли айланани аниқлашни ўз ичига олади;

- топилган айлананинг радиуси муайян коэффицент ёрдамида камайтирилади. Бу жараён орқали тасвирнинг фақат энг марказий ва ёрқин қисми ниқобланади. Радиусни камайтириш тасвирнинг қолган қисмидаги маълумотларни сақлаб қолиш ва фақат Қуёшнинг энг ёрқин қисмини ниқоблашга ёрдам беради (6-расм);

- камайтирилган радиусга эга айлана асосида ниқоб яратилади. Бу ниқоб Қуёш тасвири устига жойланади ва қуёшнинг таъсирини камайтиради. Ниқоб ёрдамида тасвирнинг Қуёш қисми қора рангга бўялади ва тасвирнинг қолган қисми сақланиб қолади.



6-расм. Олинган тасвирда Қуёшни ниқоблаш

Рис. 6. Маскировка Солнца на полученном изображении

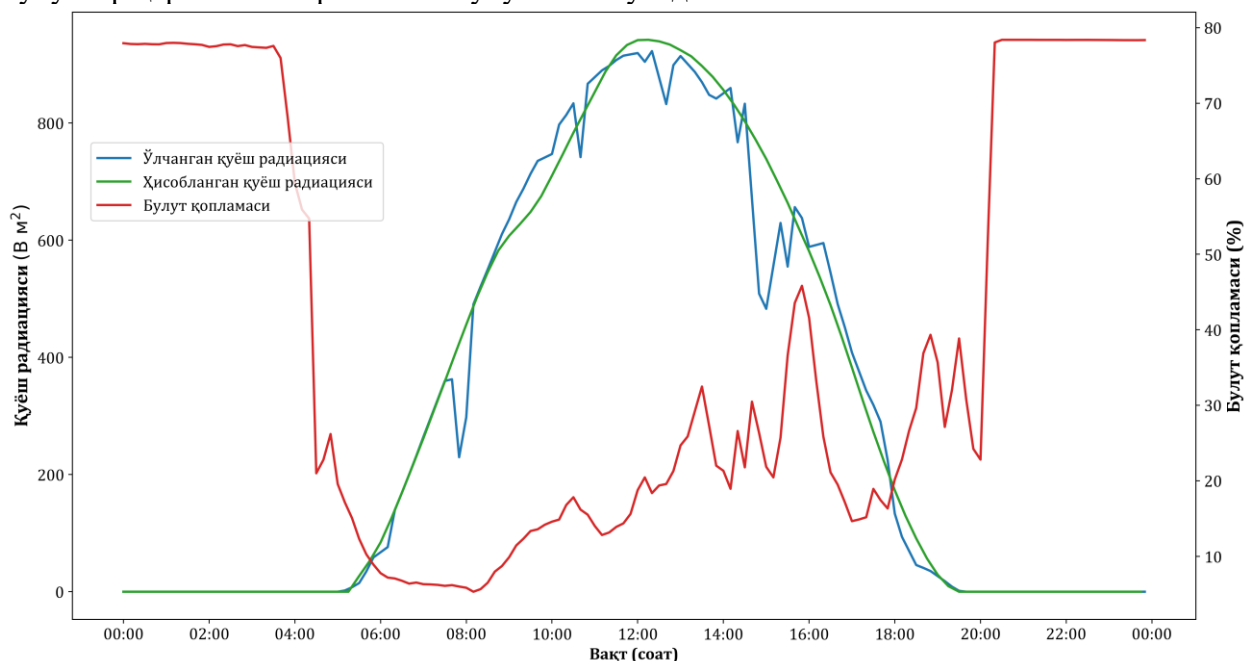
Fig. 6. Masking the Sun in the resulting image

**5. Пиксел таснифи.** Расм чегараси (thresholding) асосан пикселларни таснифлаш муаммосидир. Унинг асосий мақсади берилган тасвирнинг пикселларини икки синф – объект ва фонга тегишлилигини ажратишдир [Wong & Sahoo, 1989]. Thresholding жараёнида тасвирдаги пиксел қийматлари белгиланган threshold (чегаравий қиймат) билан солиштирилади. Threshold қийматидан юқори бўлган пиксел оқ рангга, паст бўлганлари эса қора рангга ўзгартирилади. Чегаравий қийматни ўзгартириш орқали булутни турли

шароитларда аниқлаш мумкин бўлади. Шунинг учун бу қийматнинг оптималини аниқлаш муҳим рол ўйнайди.

**6. Булут қопламасини аниқлаш.** Ишлаб чиқилган дастурий таъминотнинг якуний натижаси сифатида дастур ҳар 2 дақиқада 0-100% оралиғида осмоннинг булут қоплаш даражасини маълумотлар базасига ёзиб боради. Бу базадан керакли вақт учун осмонни булут қоплаш даражасини аниқлаш мумкин бўлади.

**Асосий натижалар ва уларнинг таҳлили.** Институт ҳудудида ўлчанган ҳамда ҳисобланган (мавжуд ҳисоблаш усуллари ёрдамида аниқланган [Duffie & Beckman, 2013; Tiwari et al., 2016]) горизонтал сиртга тушувчи йиғинди қуёш радиацияси миқдорлари ва ишлаб чиқилган дастур натижаларини умумлаштириш 7-расмда келтирилган. Одатда, Қуёш гардишини булут қопламаганда, ер сиртига етиб келувчи қуёш радиацияси деярли юқори аниқликларда ҳисобланади. Аммо, булут қопламаси пайдо бўлса, радиация қиймати ўзгаришни бошлайди, ҳисобланган қиймат ва реал ўлчанган қиймат орасида тафовут юзага келади. Тафовут катта-кичиклиги осмонни булут қоплаш даражасига мос бўлади. Тафовутнинг айти шундай ўзгаришларини 7-расмда кўришимиз мумкин. Ер сиртига тушувчи қуёш радиацияси миқдори булутлилик даражасига боғлиқлиги ва булутлилик даражасининг ортиши билан қуёш радиациясининг камайиши расмдан яққол кўриниб турибди. Тадқиқот ишининг бу натижалари булутларнинг Қуёш гардишини қоплаши ҳамда қуёш радиациясига таъсирини батафсил ўрганиш, баҳолаш ва келажакда булутлар ҳаракатини прогнозлаш учун асос бўлади.



7-расм. Булутлилик даражасининг ер сиртига тушувчи қуёш радиациясига таъсири

Рис. 7. Влияние уровня облачности на солнечную радиацию, поступающую на поверхность Земли

Fig. 7. Effect of cloudiness level on solar radiation falling on the earth's surface

Ишлаб чиқилган тизим куйидаги амалий аҳамиятга эга.

*Қуёш энергиясини прогнозига таъсир.* Мазкур тизим Ўзбекистонда яқин келажакда режалаштирилган 8 ГВт қуёш электрстанцияларида энергия ишлаб чиқаришнинг қисқа муддатли прогнози учун ишончли маълумот манбаи сифатида хизмат қилиши мумкин.

Булут қопламасининг куёш радиациясига таъсирини аниқ баҳолаш, энергия манбаларининг барқарор ишлашини таъминлайди.

*Иқтисодий ва техник афзалликлар.* Арзон HikVision камераларидан фойдаланиш орқали тадқиқот жараёни арзонлаштирилди. Шунингдек, инсон омилининг камайтирилиши кузатув жараёнларини янада автоматлаштириб, натижаларнинг ишончлилигини оширди.

*Ер усти ва сунъий йўлдош маълумотларини интеграциялаш.* Автоматлаштирилган тизим ёрдамида булут қопламаси тўғрисидаги сунъий йўлдош маълумотларини ер усти кузатувлари билан верификация қилиш имконияти яратилади. Бу эса об-ҳаво маълумотлари аниқлигини сезиларли даражада оширади.

*Ўзгидромет тизимлари билан интеграция.* Ишлаб чиқилган тизим келажакда Ўзгидромет тизимлари билан бирлаштирилса, бутун мамлакат бўйлаб осмонни кузатиш ва куёш энергияси прогнози учун кенг имкониятлар яратади.

**Хулоса.** Тадқиқот натижасида HikVision хавфсизлик камераси ёрдамида осмонни булут қоплаш даражасини (0–100% оралиғида) аниқлашга мўлжалланган автоматик тизим ишлаб чиқилди ва унинг самарадорлиги асосланди. Мазкур тизим Ўзбекистонда ҳозирги кунда мавжуд бўлган инсон омилига асосланган ва маълумотлар ҳар 3 соатда олинадиган усулларга нисбатан аниқлиги ва тезкорлиги билан юқори самарадорликни таъминлайди.

Тизимни ишлаб чиқишда қўлланилган методология, аниқ алгоритмлар ва ер усти кузатувларига асосланган булутларни кузатиш тизимлари ёрдамида, куёш фотоэлектрик тизимларининг ишлашини оптималлаштириш ва куёш энергияси прогнозининг аниқлигини ошириш имкониятини яратади. Натижада, қайта тикланувчи энергия манбаларидан самарали фойдаланиш ва барқарор энергия тизимларига ўтиш осонлашади. Ишлаб чиқилган технология нафақат илмий тадқиқотлар, балки амалий қўллаш соҳалари учун ҳам кенг истиқбол очиб беради.

**Миннатдорлик.** Мазкур тадқиқот иши Инновацион ривожланиш агентлигининг молиявий кўмагида бажарилаётган АЛ-5721122072 «Иқлимнинг даврийлиги ва аномаллигини инобатга олган ҳолда узлуксиз энергия таъминотида фотоэлектрик тизимларни режалаштириш учун куёш радиациясининг ўзгаришини квазиреал вақт оралиғида баҳолаш ва башоратлашнинг математик моделини ишлаб чиқиш» лойиҳаси доирасида амалга оширилди.

**Муаллифлар хиссаси.** **Э.Ю. Раҳимов:** мақола ғояси, методология, натижалар таҳлили, натижаларни текшириш, раҳбарлик. **А.А. Имяминов:** маълумотларни йиғиш, қайта ишлаш, мақолани расмийлаштириш, мақола матнини ёзиш. **Б.Ю. Омонов:** натижалар таҳлили, натижаларни текшириш. Барча муаллифлар қўлёзманинг нашрга тавсия этилган шаклини ўқиб чиқдилар ва ўз розилигини билдирдилар.

## АДАБИЁТЛАР

*Al-lahham A., Theeb O., Elalem K., Alshawi T.A., Alshebeili S.A.* Sky Imager-based forecast of solar irradiance using machine learning // *Electronics*, 9(10), 2020. – PP. 1700. <https://doi.org/10.3390/electronics9101700>.

*Alonso J., Batlles F.J.* Short and medium-term cloudiness forecasting using remote sensing techniques and sky camera imagery // *Energy*, Volume 73, 2014. – PP. 890-897. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.06.101>.

*Chauvin R., Nou J., Thil S., Grieu S.* Modelling the clear-sky intensity distribution using a sky imager // *Solar Energy*, Volume 119, 2015a. – PP. 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.06.026>.

*Chauvin R., Nou J., Thil S., Traoré A., Grieu S.* Cloud detection methodology based on a sky-imaging system // *Energy Procedia*, 2015b. Volume 69 – PP. 1970-1980. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.198>.

*Dissawa D.M.L.H., Ekanayake M.P.B., Godaliyadda G.M.R.I., Ekanayake J.B., Agalgaonkar A.P.* Cloud motion tracking for short-term on-site cloud coverage prediction / 2017 Seventeenth International Conference on Advances in ICT for Emerging Regions (ICTer), Colombo, Sri Lanka, 2017. – PP. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICTER.2017.8257803>.

*Duffie J.A., Beckman W.A.* Solar engineering of thermal processes // New Jersey, 2013.

*Huang H. et al.* Cloud motion estimation for short-term solar irradiation prediction / 2013 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm), Vancouver, BC, Canada, 2013. – PP. 696-701. <https://doi.org/10.1109/SmartGridComm.2013.6688040>.

*Huo J., Lu D.* Comparison of cloud cover from all-sky imager and meteorological observer // *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2012. – PP. 1093-1101. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-11-00006.1>.

IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (Chapter 9). Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2011. <http://www.ipcc-wg3.de/srren-report/>.

*Johnson R.W., Hering W.S., Shields J.E.* Automated visibility cloud cover measurements with a solid-state imaging system. University of California San Diego, Scripps Institution of Oceanography, Marine Physical Lab, 1986.

*Li Q., Lu W., Yang J.* A hybrid thresholding algorithm for cloud detection on ground-based color images // *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2011. – PP. 1286-1296. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-11-00009.1>.

*Lothon M., Barnéoud P., Gabella O., Lohou F., Derrien S., Rondi S., Chiriaco M., Bastin S., Dupont J.-C., Haeffelin M., Badosa J., Pascal N., Montoux N.* ELIFAN, an algorithm for the estimation of cloud cover from sky imagers // *Atmospheric Measurement Techniques*, 2019. 12. – PP. 5519–5534. <https://doi.org/10.5194/amt-12-5519-2019>.

*Marquez R., Coimbra C.F.M.* Intra-hour DNI forecasting based on cloud tracking image analysis // *Solar Energy*, 2013 Volume 91. – PP. 327-336. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.09.018>.

*Matuszko D.* Influence of the extent and genera of cloud cover on solar radiation intensity. 2011. <https://doi.org/10.1002/joc.2432>.

*Pfister G., Mckenzie R.L., Liley J.B., Thomas A.* Cloud coverage based on all-sky imaging and its impact on surface solar irradiance // *Journal of Applied*, 2003. – PP. 1421-1434. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2003\)042<1421>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2003)042<1421>2.0.CO;2).

*Schmidt T., Kalisch J., Lorenz E., Heinemann D.* Evaluating the spatio-temporal performance of sky-imager-based solar irradiance analysis and forecasts // *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 2016. – PP. 3399–3412. <https://doi.org/10.5194/acp-16-3399-2016>.

*Si Y., Wang H., Wang Y., Yang H., Chen Y., Liu Q., Chen S., Zheng N.* Effects of single-layer low clouds on the surface solar radiation in East Asia // *Solar Energy*, 2021. Volume 224. – PP. 1099-1106. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.06.047>.

*Tiwari G.N., Tiwari A., Shyam S.* Handbook of Solar Energy: Theory, Analysis and Applications. 1st ed., 2016.

*West S.R., Rowe D., Sayeef S., Berry A.* Short-term irradiance forecasting using skycams: motivation and development // *Solar Energy*, 2014. Volume 110. – PP. 188-207. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.08.038>.

*Wong A.K.C., Sahoo P.K.* A gray-level threshold selection method based on maximum entropy principle // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1989. 19(4). – PP. 866-871. <https://doi.org/10.1109/21.35351>.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ОБЛАЧНОСТИ С ПОМОЩЬЮ SKY IMAGER****Э.Ю. РАХИМОВ<sup>1</sup>, А.А. ИМЯМИНОВ<sup>1</sup>, Б.Ю. ОМОНОВ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Национальный научно-исследовательский институт возобновляемых источников энергии при Министерстве энергетики Республики Узбекистан, eyurakhimov@gmail.com, abdumannop7445@gmail.com, bahromomonov0627@gmail.com

**Аннотация.** В статье исследована возможность использования устройства sky imager для определения уровня облачности на небе с целью повышения эффективности солнечных фотоэлектрических систем (ФЭС). Авторами разработана автоматизированная система определения степени облачности с использованием цифровой обработки изображений, полученных камерой HikVision. Исследование направлено на повышение эффективности ФЭС путем наблюдения за динамикой облаков и прогнозирования солнечной радиации. Система реализована с использованием языка программирования Python и анализирует движение облаков в сочетании с данными о положении солнца. Полученные результаты показывают, что предложенная система улучшает прогнозирование солнечной энергии. Предлагаемый метод имеет потенциал для интеграции в системы Узгидромета, что позволит более эффективно использовать возобновляемые источники энергии.

**Ключевые слова:** фотоэлектрическая станция (ФЭС), поле зрения (FOV), общие изображения неба (TSI), sky imager, облачное покрытие.

**DETERMINING THE LEVEL OF CLOUD COVER USING THE SKY IMAGER****E.YU. RAKHIMOV<sup>1</sup>, A.A. IMYAMINOV<sup>1</sup>, B.YU. OMONOV<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> National Scientific Research Institute of Renewable Energy Sources under the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan, eyurakhimov@gmail.com, abdumannop7445@gmail.com, bahromomonov0627@gmail.com

**Abstract:** The article examines the potential of using a sky imager device to determine the level of cloud coverage in the sky to enhance the efficiency of solar photovoltaic (PV) systems. The authors developed an automated system for detecting cloud coverage based on digital image processing using a HikVision camera. The study aims to improve the efficiency of PV systems by monitoring cloud dynamics and forecasting solar radiation. Implemented using the Python programming language, the system analyzes cloud movement in conjunction with solar position data. The results demonstrate that the proposed system enhances solar energy forecasting. The suggested method has potential for future integration into Uzhydromet systems, enabling more efficient use of renewable energy sources.

**Keywords:** photovoltaic station, field of view (FOV), total sky images (TSI), sky imager, cloud cover.