



## Evaluation of ET in the area of NAO Rozhen based on model data and real measurements

Rositsa Stefanova\*

*National Institute of Meteorology and Hydrology (NIMH),  
67, Sankt Peterburg blvd., Plovdiv 4000, Bulgaria*

**Abstract:** Evapotranspiration (ET) is a key component of the water and energy balance in terrestrial ecosystems and plays an essential role in climate change impact assessment, water resource management, and the modelling of land-atmosphere exchange processes. Despite the advancement of numerical and satellite-based models for estimating ET, their accuracy remains limited in mountainous areas due to complex topography and insufficient ground validation. The present study aims to evaluate the performance of five different ET models/products by comparing them with ground-based measurements obtained through the eddy covariance measurements in the area of the National Astronomical Observatory (NAO) Rozhen (1750 m a.s.l.), located in the Central Rhodopes.

The data used include models ISBA/SURFEX at two spatial resolutions (8 km and 4 km), the satellite-based product MSG DMET of Eumetsat LSA SAF project, and the parameter 182 from ECMWF IFS. Measurements conducted with an IRGASON instrument cover a nine-year period (2016–2024), allowing for a detailed seasonal and inter-annual analysis. Statistical evaluation was performed using multiple indicators, including Pearson correlation coefficient, mean absolute error, and coefficient of determination.

The results reveal considerable discrepancies among the models, with the DMET product showing the highest agreement with observed values, while models exhibit larger deviations, especially during the summer season. The analysis highlights the importance of local model validation and emphasizes the potential of an integrated approach - combining in situ and remote sensing data to improve ET estimations in mountainous and data-scarce regions.

**Keywords:** evapotranspiration, hydrological modelling, water balance

---

\* [rstefanova@meteo.bg](mailto:rstefanova@meteo.bg)

# Оценка на ЕТ в района на НАО Рожен по данни от модели и от реални измервания

Росица Стефанова\*

*Национален институт по метеорология и хидрология (НИМХ),  
бул. Санкт Петербург 67, 4000 Пловдив*

**Резюме:** Евапотранспирацията (ЕТ) е ключов компонент от водния и енергийния баланс на наземните екосистеми и играе съществена роля при оценката на въздействието на климатичните промени, управлението на водните ресурси и моделирането на обменните процеси между земната повърхност и атмосферата. Въпреки развитието на числени и сателитно базирани модели за изчисляване на ЕТ, тяхната точност често остава ниска в планински райони поради сложния релеф и недостатъчната верификация с реални данни. Настоящото изследване цели да оцени представянето на пет различни модела/продукта за ЕТ чрез сравнение с приземни микрометеорологични измервания, извършвани в района на НАО Рожен (1750 m н.в.), разположен в Централните Родопи.

Използваните данни включват модела ISBA/SURFEX в два пространствени мащаба (8 km и 4 km), DMET – сателитно-базиран продукт, и параметър 182 от IFS на ECMWF. Измерванията с уред тип IRGASON обхващат деветгодишен период (2016–2024 г.), което позволява задълбочен анализ както в сезонен, така и в между-годишен мащаб. За оценка на съответствието между моделираните и измерените стойности са използвани редица статистически показатели, включително коефициент на корелация, средна абсолютна грешка и индекс на съгласие.

Резултатите показват съществени различия между отделните модели, като най-добро съответствие с наблюдаваните стойности демонстрира сателитният продукт DMET, докато при моделните данни се наблюдават по-големи отклонения, особено през летния сезон. Анализът подчертава необходимостта от локална верификация на моделираните оценки и насочва вниманието към възможностите за комбиниран подход, основан на интеграция между теренни данни и дистанционни наблюдения, за повишаване на надеждността на изчисленията на ЕТ в планински и по-слабо изучени райони.

**Ключови думи:** евапотранспирация, хидроложко моделиране, воден баланс

## 1. УВОД

Изследването на евапотранспирацията (ЕТ) е от съществено значение за разбиране на водния баланс, климатичните процеси и динамиката на въглеродния обмен в различни екосистеми. ЕТ представлява основен компонент на

---

\* rstefanova@meteo.bg

хидрологичния цикъл, особено в планинските райони, където теренът и климатичните условия създават значителни предизвикателства пред моделирането и прецизното измерване.

Съществуват множество модели и продукти, базирани на сателитни наблюдения, числено време-пространствено моделиране и комбинирани подходи, които се използват за оценка на ЕТ. Точността на тези модели обаче често е ограничена от липсата на достатъчно верификационни данни от реални теренни измервания, особено в слабо изучени планински региони.

В настоящото изследване се прави сравнение между различни модели за евапотранспирация и реални данни, получени с помощта на микрометеорологичен уред тип IRGASON, инсталиран в района на Националната астрономическа обсерватория (НАО) Рожен (Родопи). Анализираният период обхваща девет години – от 2016 до 2024 г.

Петте различни източника за оценка на евапотранспирацията са оперативната версия на модела ISBA, част от системата за числено време-пространствено моделиране ISBA/SURFEX на Météo-France (в два пространствени мащаба – 8 км и 4 км), продуктът DMET на LSA-SAF, който се базира на сателитни наблюдения от MSG (Meteosat Second Generation), и на анализи от Европейския център за средносрочни прогнози (ECMWF). Всеки от тези модели използва различен подход за изчисляване на ЕТ – от полуемпирични формули и балансови уравнения до спътникови данни, което позволява по-широка оценка на тяхната приложимост в сложни теренни условия.

Изследваната територия се намира в района на Националната астрономическа обсерватория (НАО) Рожен, разположена в Централните Родопи на надморска височина от около 1750 метра. Районът се характеризира с преходно-континентален климат с отчетлив планински микроклимат, обилни валежи през студения сезон и ясно изразен летен максимум на евапотранспирацията. Хетерогенният релеф, наличието на смесени гори и разпръснати открити площи създават добри условия за изследване на пространствените различия в ЕТ и влиянието на терена върху нейната динамика.

Целта на работата е да се оцени доколко различните модели отразяват реално протичащите процеси на ЕТ и какви са потенциалните разминавания, включително в сезонен и между-годишен аспект. Освен сравнителната оценка на моделите, изследването включва и анализ на сезонната динамика и дългосрочната изменчивост на ЕТ с оглед установяване на климатично обусловени аномалии и тенденции. Целта е не само да се прецени точността на отделните продукти, но и да се получи по-добро разбиране за реалните процеси в планинските екосистеми на района около НАО Рожен. Подобен анализ е важен за повишаване на представителността на моделираните оценки и за засилване на доверието в тяхното приложение при оценка на водния баланс и климатични изследвания.

## 2. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

### 2.1. Район на изследване

Изследването е проведено в района на Националната астрономическа обсерватория (НАО) Рожен, разположена в Централните Родопи (41.69°N, 24.74°E) на надморска височина от 1750 m. Районът е характерен с планински климат, със студена и снежна зима и прохладно лято, както и с ясно изразен сезонен ход на валежите и евапотранспирацията. Земното покритие включва иглолистни (основно смърч) и смесени гори, както и открити тревни площи, което създава разнообразни условия за изпарение и транспирация. Представената карта (фигура 1) е ползвана от сайта на „Световен фонд за природата“ ГИС карта на горите в България (WWF - България).



**Fig. 1.** Map of the Rozhen NAO area; the location of the micrometeorological station is marked with a red circle.

**Фиг. 1.** Карта на района на НАО Рожен; с червено кръгче е обозначено разположението на микрометеорологичната станция.

## 2.2. Измервания на евапотранспирация

Евапотранспирацията е измервана чрез микрометеорологична станция, оборудвана с комбиниран уред тип IRGASON (Integrated Open-Path Gas Analyzer and 3D Sonic Anemometer) на фирмата Campbell Scientific (Helbig, 2016). Уредът позволява да се изчислят турбулентните потоците на водна пара и въглероден диоксид (Zawilski, 2020), като измерва с висока честота (20 Hz) и записва на всеки 5 sec данни, които служат за изчисление на 30-минутни средни и дневни стойности на ET. Данните обхващат периода от 2016 до 2024 г., като са приложени стандартни процедури за контрол на качеството и корекции, съгласно методологията на FLUXNET.

За изчисленията посредством моделите ISBA/SURFEX, са използвани данни за валежите, температура и влажност на въздуха, атмосферно налягане, скорост и посока на вятъра и други параметри от наличните в НИМХ анализи със стъпка 3 часа (Gospodinov, 2012) или 1 час (за SURFEX 4 km).

Допълнително с данните за годишните валежи и средногодишните температури е направен анализ, свързан със засушаването в последните години.

## 2.3. Модели и продукти за сравнение

В изследването са използвани пет различни продукта и модели за оценка на дневната евапотранспирация, които са сравнени с измерванията чрез метода на турбулентната ковариация. Избраните източници обхващат както числено моделиране, така и сателитно базирани оценки, с различна пространствена и времева резолюция:

- **ISBA (8 км резолюция)** – числен модел на земната повърхност, част от схемата SURFEX, използван в предишни изследвания за водния баланс в България (Artinyan et al., 2008). Моделът се захранва с атмосферни входни данни и симулира основни потоци между атмосферата и повърхността, включително евапотранспирация.
- **SURFEX (8 км резолюция)** – конфигурация на същата платформа (SURFEX), използвана офлайн със синоптични метеорологични входни данни за оценка на водните ресурси (Artinyan et al., 2017). Различава се от ISBA основно по настройките и източника на входните данни.
- **SURFEX (4 км резолюция)** – съвременна конфигурация с по-висока пространствена резолюция, разработена за по-добро улавяне на локални теренни и климатични особености. Подходяща за райони с хетерогенен релеф, какъвто е този на Рожен.
- **LSA-SAF (DMET - LSA-312)** – сателитно-базиран продукт за реална евапотранспирация, предоставян от EUMETSAT в рамките на проекта Land Surface Analysis Satellite Application Facility. Данните са получени чрез комбинация от радиационни потоци и биофизични параметри от Meteosat Second Generation (MSG) с времева резолюция 30 минути (Ghilain et al., 2011).

- **ECMWF IFS (параметър 182)** – продукт на Европейския център за средносрочни прогнози (ECMWF) (Albergel et al., 2012), с пространствена резолюция  $0.1^\circ$  (~10 км). Базиран на комбиниране на числено моделиране с асимилация на наблюдения, IFS осигурява непрекъснат набор от метеорологични и хидрологични променливи, включително евапотранспирация, на глобално ниво.

Тези продукти предоставят разнообразен набор от оценки за ЕТ, както по произход, така и по методология, което позволява многопластов анализ на надеждността им в условията на планински район с ограничена наблюдателна мрежа.

#### 2.4. Статистически анализ

За оценка на съответствието между измерените и моделираните стойности на евапотранспирацията (ЕТ) са използвани следните статистически показатели:

- коефициент на корелация на Пирсън ( $r$ ),
- нормализирана средноквадратична грешка (NMSE),
- стандартно отклонение (SD),
- индекс на съгласие (DR).

Анализите на данните и изчисляването на статистическите показатели са извършени в програмната среда Microsoft Excel, с използване на стандартни функции за обработка на времеви редове и статистически анализ.

### 3. РЕЗУЛТАТИ

#### 3.1. Съответствие между моделирани и измерени стойности на ЕТ

Сравнителният анализ на дневни стойности на евапотранспирация показва различна степен на съответствие между моделните продукти и наблюдаваните данни. Най-висока стойност на коефициента на корелация с теренните измервания е отчетена за LSA-SAF и ECMWF IFS ( $r = 0.79$ ). От останалите модели най-добро съответствие показва SURFEX 4 km ( $r = 0.69$ ), следван от ISBA 8 km ( $r = 0.63$ ) и SURFEX 8 km ( $r = 0.59$ ).

**Table 1.** Correlation coefficient ( $r$ ) matrix between measured ET and the modelled time series.

**Таблица 1.** Матрица на корелационните коефициенти  $r$  между измерена ЕТ и моделираните редици.

	ET	LSA_SAF	ISBA8km	SFX8km	ECMW_0.1	SFX4km
ET		0.79	0.63	0.59	0.79	0.69
LSA_SAF	0.79		0.56	0.60	0.88	0.85

Стойностите на нормализираната средноквадратична грешка (NMSE) варират между моделите – от 0.23 при LSA-SAF до 0.65 при SURFEX 8 km. ECMWF също показва ниска грешка (0.32), докато ISBA и SURFEX 4 km достигат съответно 0.42 и 0.40. Тези резултати показват, че сателитно-базираният продукт LSA-SAF има най-добро съответствие с измерената евапотранспирация, докато SURFEX 8 km демонстрира най-големи отклонения. По-ниските стойности на NMSE са индикатор за по-висока точност на модела спрямо теренните наблюдения.

**Table 2.** Normalized mean square error (NMSE) matrix between measured ET and the modelled time series.

**Таблица 2.** Матрица на нормализираната средноквадратична грешка NMSE между измерена ET и моделираните редици.

	ET	LSA_SAF	ISBA8km	SFX8km	ECMW_0.1	SFX4km
ET		0.23	0.42	0.65	0.32	0.40
LSA_SAF	0.23		0.61	0.74	0.26	0.22

Анализът на стандартното отклонение (SD) между измерените стойности на ET и моделните оценки показва сходна картина с останалите метрики. Най-близка до наблюдаваното разсейване е ET от LSA-SAF ( $SD = 0.75$ ), следвана от ECMWF (0.89). По-големи стойности са отчетени при ISBA (1.03), SURFEX 4 km (1.04) и най-висока при SURFEX 8 km (1.29), което подсказва, че тези модели надценяват амплитудата на вариациите в ET спрямо реално измерената. По-ниските стойности на SD са индикатор за по-добро съответствие в изменчивостта между моделираните и измерените редици.

**Table 3.** Standard deviation (SD) matrix between values of measured ET and the modeled time series.

**Таблица 3.** Матрица на стандартното отклонение SD между стойностите от измерена ET и моделираните редици.

	ET	LSA_SAF	ISBA8km	SFX8km	ECMW_0.1	SFX4km
ET		0.75	1.03	1.29	0.89	1.04
LSA_SAF	0.75		1.15	1.25	0.69	0.75

Индексът на съгласие (DR) между измерените и моделираните стойности на ET показва, че продуктите LSA-SAF и ECMWF имат най-висока степен на съгласуваност ( $DR = 0.71$ ), което отразява по-добро качество на прогнозите спрямо реалните данни. Моделите SURFEX 4 km (0.66) и SURFEX 8 km (0.63) демонстрират умерена степен на съгласие, докато ISBA показва най-ниска стойност (0.57). По-високите стойности на DR свидетелстват за по-добро

съвпадение между моделираните и измерените времеви редици на евапотранспирацията.

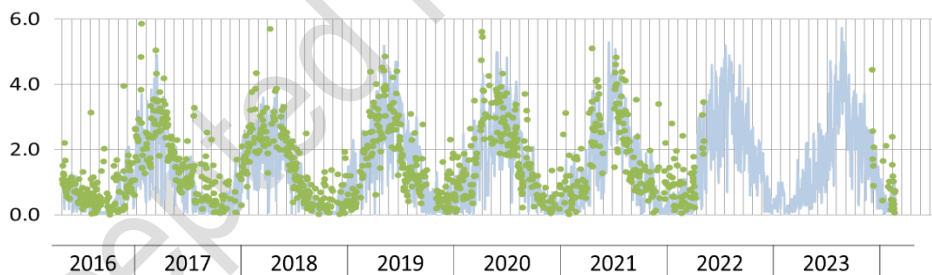
**Table 4.** Index of agreement (DR) matrix between measured ET and the modeled time series.

**Таблица 4.** Матрица на индекса на съгласие DR между измерена ET и моделираните редици.

	ET	LSA_SAF	ISBA8km	SFX8km	ECMW_0.1	SFX4km
ET		0.71	0.57	0.63	0.71	0.66
LSA_SAF	0.71		0.56	0.65	0.72	0.77

Допълнително, на Фигура 2 е представена графика с ежедневните стойности на измерената евапотранспирация, сравнени с резултатите от модела LSA-SAF. От графиката и извършените статистически анализи е видно, че именно този модел демонстрира най-добро съответствие с теренните измервания по всички показатели – корелация, средна и средноквадратична грешка, и индекс на съгласие.

Поради непълната редица на измерената ET в някои периоди от годините, за целите на вътрешно-годишния и между-годишния анализ тя беше попълнена с моделирани стойности от LSA-SAF. Това позволява изграждане на непрекъсната времева редица, въз основа на която са изчислени месечните суми и сезонното разпределение, представени в следващите подпараграфи.



**Fig. 2.** Daily measured evapotranspiration (mm/24h) compared with data from the LSA-SAF model.

**Фиг. 2.** Графика на ежедневното измерено изпарение ET (мм/24ч) съпоставено с данните от модела LSA-SAF.

### 3.2. Вътрешномоделно сравнение

Изчисленията на ET от различните модели са сравнени и помежду си с цел оценка на степента на сходство между тях. Най-висока взаимна корелация е установена между LSA-SAF и ECMWF ( $r = 0.88$ ), което подсказва наличие на общи

характеристики в подхода или използваните входни данни. По-ниски стойности се наблюдават между ISBA и останалите модели.

### 3.3. Сезонно разпределение

Анализът на месечното разпределение на ЕТ на база данни от LSA-SAF показва ясно изразена сезонност. Най-високи стойности се наблюдават през летните месеци (юни –август), като юли е месецът с най-голям относителен дял (до 21.24% от годишната сума). Пролетните месеци (април–май) също имат значителен принос, докато през зимата (декември–февруари) стойностите падат под 5%.

**Table 5.** Intra-annual distribution of ET by month, based on LSA-SAF data for the period 2016–2024.

**Таблица 5.** Вътрешногодишно разпределение на ЕТ по месеци, изчислено на база данни от LSA-SAF, за периода 2016-2024 година.

ЕТ	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1	2%	1%	2%	0%	2%	1%	1%	2%	1%
2	4%	2%	2%	2%	3%	3%	2%	2%	3%
3	6%	6%	5%	5%	5%	3%	2%	5%	5%
4	13%	9%	12%	6%	7%	7%	8%	6%	10%
5	15%	13%	14%	11%	13%	13%	13%	8%	8%
6	21%	17%	14%	13%	14%	15%	15%	15%	19%
7	15%	19%	15%	17%	18%	21%	19%	21%	17%
8	9%	13%	17%	19%	16%	16%	14%	15%	14%
9	6%	7%	9%	11%	11%	9%	11%	11%	10%
10	5%	8%	6%	10%	7%	6%	8%	9%	8%
11	3%	2%	2%	3%	3%	5%	3%	3%	3%
12	1%	2%	1%	2%	1%	1%	2%	2%	1%

### 3.4. Междугодишни вариации и климатични предпоставки за засушаване

Изследваният период (2016–2024 г.) разкрива отчетливи междугодишни колебания в годишната сума на евапотранспирацията (ЕТ). Забелязва се устойчива тенденция към повишаване на годишната сума след 2018 г. Най-ниски стойности на ЕТ са регистрирани през 2016 (373.0 mm), 2017 (426.5 mm) и 2018 г. (426.8 mm), докато в последните години се наблюдават значителни увеличения – с максимум от 630.4 mm през 2024 г.

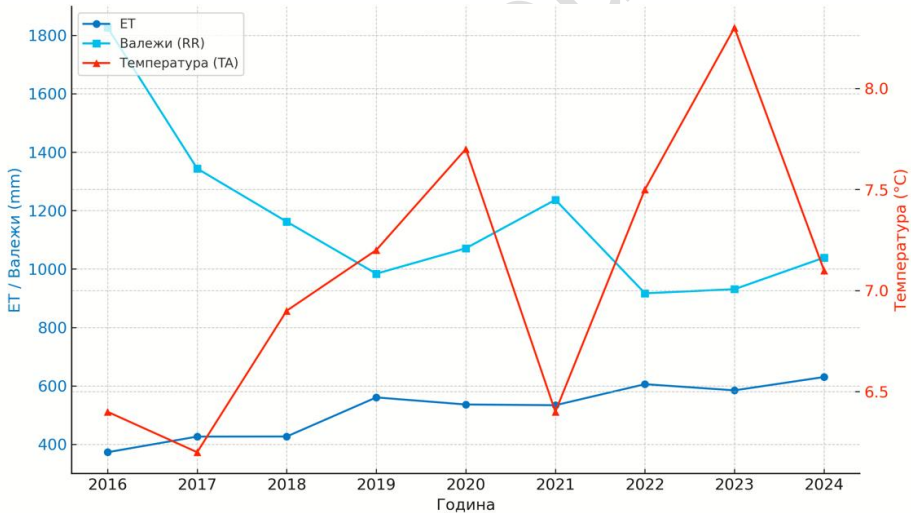
Когато тези данни се разглеждат в контекста на съпътстващите климатични променливи – валежи (RR) и температура на въздуха (TA), се открояват няколко важни тенденции. Валежите показват отчетливо намаление в периода 2016–2020г. (от 1826 mm до 1071 mm), след което остават на сравнително по-ниски нива, с минимум през 2022 г. (917 mm). В същото време се регистрира устойчиво

повишение на средната годишна температура – от 6.2–6.4 °C (2016–2017) до пик от 8.3 °C през 2023 г.

Комбинацията от намалени валежи и повишени температури води до засилен воден стрес чрез увеличено изпарение при ограничени почвени запаси – ситуация, при която високата евапотранспирация (ET) не е индикатор за изобилие, а за атмосферна суша (Allen et al., 1998; Vicente-Serrano et al., 2010; Trenberth et al., 2014). Това явление е характерно за агроклиматични и екологични засушавания.

Особено показателен е периодът 2022–2023 г., в който валежите остават ниски (917–931 mm), температурите – високи (7.5–8.3 °C), а ET – над 580 mm. През 2024г. се отчита леко възстановяване на валежите (1039 mm) и понижение на температурата (7.1 °C), което вероятно обяснява рекордната ET за периода – съчетание от достатъчна влага и благоприятни радиационни условия.

Следва обаче да се подчертае, че при отсъствие на данни за оттока и почвената влага не може да се направи пълна хидрологична оценка на засушаването в района. Настоящият анализ отразява само климатичните условия и тяхното въздействие върху евапотранспирационния режим. За цялостна оценка на водния дефицит е необходим допълнителен мониторинг на хидрологични параметри.



**Fig. 3.** Interannual variations in evapotranspiration (ET), precipitation (RR), and mean annual air temperature (TA) for the area of NAO Rozhen during the period 2016–2024. ET values are based on observations and the LSA-SAF model.

**Фиг. 3.** Междугодишни промени в евапотранспирацията (ET), валежите (RR) и средногодишната температура на въздуха (TA) за района на НАО Рожен за периода 2016–2024 г. Данните за ET са изчислени на база наблюдения и модел LSA-SAF.

#### **4. ДИСКУСИЯ**

Резултатите от сравнението между моделираната и измерената евапотранспирация подчертават силните и слабите страни на отделните подходи. Най-високото съответствие, отчетено при LSA-SAF (DMET) и ECMWF (Evaporation), може да се обясни с високата пространствена и времева резолюция на първия от продуктите, както и с факта, че и двата използват сателитни (асимилирани) наблюдения. Сателитните данни позволяват по-добро улавяне на краткосрочната динамика, особено в райони със сложен релеф, какъвто е районът около НАО Рожен.

По-слабото представяне на ISBA и SURFEX 4 km вероятно се дължи на по-ограничената резолюция в сравнение с DMET и липсата на адаптация в реално време посредством асимилиране на сателитни данни за растителността. Отчетените систематични подценявания през пролетните и летните месеци показват, че моделите не отчитат достатъчно ефективно вегетационното развитие, слънчевата радиация и почвената влажност – ключови фактори за определяне на ЕТ в активния вегетационен период.

Вътрешномоделното сравнение разкрива групиране на моделите според използваните методологии. Например, високата корелация между DMET и ECMWF – IFS е показателна за сходни входни параметри или подходи при оценката на повърхностните потоци. Това съвпадение обаче не гарантира висока точност спрямо реални измервания, което се потвърждава от по-слабите резултати при други продукти, използващи подобни източници на данни.

Анализът на сезонното разпределение на ЕТ показва типична годишна структура с ясно изразен летен максимум. Това е в съответствие с климатичните особености на района, но различните модели имат затруднения да възпроизведат коректно амплитудата и началото на активния период. В някои случаи това води до подценяване на ЕТ през пролетта и преувеличаване на стойностите през лятото, което е показателно за недобре адаптирана сезонна параметризация.

Анализът на между-годишната изменчивост, базиран на допълнителни данни от метеорологичната станция на НИМХ, разкрива въздействието на климатичната променливост върху водния баланс на екосистемата. Периодът 2022–2023 г. се откроява с намалени валежи, високи температури и високи стойности на ЕТ – съчетание, характерно за метеорологично засушаване. Макар да липсват директни данни за речен отток и почвена влага, наблюдаваните тенденции предполагат повишен риск от воден дефицит, особено в почвено-растителния слой.

Тези резултати подчертават значението на локалната верификация на модели за ЕТ, особено в планински и слабо изучени райони. Комбинираният подход – теренни измервания, сателитни данни и числено моделиране – демонстрира висока приложимост не само за оценка на точността на ЕТ моделите, но и за идентифициране на климатично обусловени рискове. Такава интеграция е особено ценна за хидроложкото моделиране, управлението на водните ресурси и адаптацията към климатичните промени.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изследването представя сравнение между измерена чрез микрометеорологични методи евапотранспирация и моделирани стойности от пет различни продукта в района на НАО Рожен за периода 2016–2024 г. Получените резултати показват значителни различия в точността на моделите, като най-добро съответствие с теренните наблюдения е установено при сателитния продукт DMET (LSA-SAF) и продукта Evaporation (параметър 182) произвеждан от ECMWF IFS. В същото време модели като ISBA и SURFEX 4 km показват по-ниска степен на съответствие, особено в сезоните с висока динамика на атмосферните и биофизичните условия.

Сезонният анализ разкрива ясно изразен максимум на ЕТ през летните месеци, с отчетливи междугодишни вариации, които отразяват както климатичната променливост, така и ограниченията на моделите при улавяне на локалните особености на терена и земното покритие.

Получените резултати подчертават необходимостта от локална верификация на моделни оценки на ЕТ, особено в планински райони с ограничена наблюдателна инфраструктура. Комбинираният подход, включващ теренни измервания, сателитни данни и числено моделиране, се потвърждава като ефективен инструмент за подобряване на оценките на ЕТ и за тяхното приложение в хидроложко моделиране и управление на водните ресурси.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторът изказва своята благодарност на доц. д-р Ерам Артинян за предоставените данни и научното ръководство по време на разработването на настоящото изследване. Работата по статията е част от проекта на НИМХ „Експериментално измерване и моделно симулиране на евапотранспирацията и инфилтрацията в зоната на иглолистна гора в района на метеорологична обсерватория – МО Рожен“.

## ЛИТЕРАТУРА

- Albergel, C., Balsamo, G., de Rosnay, P., Muñoz-Sabater, J., and Boussetta, S. (2012). A bare ground evaporation revision in the ECMWF land-surface scheme: Evaluation of its impact using ground soil moisture and satellite microwave data. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 3607–3620. <https://doi.org/10.5194/hess-16-3607-2012>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome: FAO. <https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>
- Artinyan, E., Dimitrov, D., Kroumova, K., and Rankova, M. (2017). Annual water resources assessment using different observations and models. In: XXVII Conference of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management, Golden Sands, Bulgaria, September 2017.

- Artinyan, E., Habets, F., Noilhan, J., Ledoux, E., Dimitrov, D., Martin, E., and Le Moigne, P. (2008). Modelling the water budget and the riverflows of the Maritsa basin in Bulgaria. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12, 21–37. <https://doi.org/10.5194/hess-12-21-2008>
- Ghilain, N., Arboleda, A., and Gellens-Meulenberghs, F. (2011). Evapotranspiration modelling at large scale using remote sensing: Evaluation of the SAF MSG ET product. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(2), 771–786. <https://doi.org/10.5194/hess-15-771-2011>
- Gospodinov, I. (2012). National High Resolution Meteorological Analysis (NHRMA). Technical report, NIMH–MOEW Annual Contract, Sofia, Bulgaria (in Bulgarian).
- Helbig M., Wischnowski, K., Gosselin, G.H., Biraud, S.C., Bogoev, I., Chan, W.S., Euskirchen, E.S., Glenn, A.J., March, P.M., Quinton, W.L., Sonnentag, O. 2016. Addressing a systematic bias in carbon dioxide flux measurements with the EC150 and the IRGASON open-path gas analyzers. *Ag and Forest Meteorol.*, 228-229, 349-359
- Trenberth, K. E., Dai, A., van der Schrier, G., Jones, P. D., Barichivich, J., Briffa, K. R., and Sheffield, J. (2014). Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change*, 4(1), 17–22. <https://doi.org/10.1038/nclimate2067>
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., and López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI). *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- WWF – България, ГИС карта на горите в България, <https://www.wwf.bg/kakvo-pravim/gori/gis-karta>
- Zawilski, B. M. (2020). On evapotranspiration and eddy covariance measurements. *Biogeosciences Discussions*, 2020, 1–25. <https://doi.org/10.5194/bg-2020-43>