

Кихтенко Я. В., Тимофєєв В.Є.

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, м.Київ

ПОРІВНЯННЯ СУПУТНИКОВИХ ТА НАЗЕМНИХ ДАНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТРИВАЛОСТІ СОНЯЧНОГО СЯЙВА НА ПРИКЛАДІ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

У даній статті визначається порівняння супутникових та наземних даних тривалості сонячного саява на прикладі території України за період календарного літа 2011 – 2019 років. Зокрема встановлено, що значення коефіцієнта кореляції супутникових та наземних давних тривалості сонячного саява знаходиться в межах 0.50 - 0.80, що відповідає помірній та значущій кореляції, а отже й достатньо великій залежності між цими видами отримання метеорологічної та актинометричної інформації досліджуваного параметра. Також акцентується увага на можливості поліпшення точності наземних даних з використанням універсальних багатопільових датчиків сонячного випромінювання, наприклад датчиків типу BF5; та підтверджується висока точність супутникових даних.

Визначена середня сумарна похибка тривалості сонячного саява за супутниковими даними та даними наземних метеостанцій. Отримані результати свідчать про те, що наземні метеостанції мають в рази меншу точність вимірювань, на відміну від супутникових даних. Адже середня максимальна сумарна похибка тривалості сонячного саява наземних даних в чотири рази вища, ніж середня максимальна сумарна похибка супутникових даних досліджуваної величини. Це у свою чергу дозволяє використовувати супутникові дані для якісної оцінки тривалості сонячного саява на території України і дозволяє стверджувати, що окрім наземних даних, можна використовувати й супутникові дані тривалості сонячного саява, як досліджуваної величини, а також супутникові дані будь – якої величини загалом.

Крім цього, досліджений вплив погодно – кліматичних аномалій на отримані результати порівняння. У результаті проведеного дослідження відзначено, що переважно місяцям з найкращою кореляцією відповідає більш однорідна аномалія температури повітря та опадів, а місяцям з мінімумом кореляції відзначена значна неоднорідність в просторі аномалій полів цих метеорологічних величин. В територіальному масштабі при проведенні аналізу даних про тривалість сонячного саява необхідна деталізація метеорологічних величин, які залежать від досліджуваного параметра, по регіонах або окремих областях.

Ключові слова. Супутникові дані; наземні дані; тривалість сонячного саява; порівняння тривалості сонячного саява супутникових та наземних даних; кліматичні аномалії.

Вступ (аналіз виконаних досліджень за означеною темою). Тривалість сонячного саява – характеристика радіаційного режиму підстильної поверхні, що зумовлена природними та антропогенними чинниками. Істотні коливання її ходу відбуваються за сучасних умов [2].

На території України тривалість сонячного саява досягає 1800 год. за рік на північному заході та збільшується у південному напрямі до 2300 год. у Криму. В гірських районах Українських Карпат вона знижується до 1500 год. Розподіл тривалості сонячного саява на території України представлений на рис.1 [3].

Тривалість сонячного саява означає час, протягом якого Сонце освітлює підстильну поверхню Землі. Більш формально тривалість сонячного саява визначається як сума періодів часу, в яких пряме сонячне випромінювання осяє підстильну поверхню або перевищує 120 Вт/м². Це важливий показник кількості сонячної радіації, отриманої в регіоні [13], а також важливий вхідний параметр у багатьох додатках, таких як оцінка сумарної сонячної радіації, енергетичного балансу атмосфери [5], теплового навантаження на будівлі, планування врожайності в сільському господарстві, моделей екосистемних процесів, гідрологічних моделей, біофізичних моделей [13] та визначення здоров'я людей і тварин [10]. Отже, точна оцінка тривалості сонячного саява має велике значення, особливо для зміни клімату, еволюції екосистем та соціальної стійкості.

Деякі дослідження показали, що оцінка тривалості сонячного саява в цілому може бути здійснена за допомогою геостационарних супутників, оскільки вони можуть за день записати кілька зображень з одного місця [13].

Поточні супутникові записи даних досягають тривалості понад 30 років, а алгоритми пошуку забезпечують все більш точні результати. Це дає чудову можливість отримати просторове уявлення про відомі параметри і використання супутникових даних для

доповнення даних метеорологічних та гідрологічних станцій. У всьому світі існує кілька сотень станцій спостереження тривалості сонячного сяйва на кліматологічних шкалах часу. Кожна з цих станцій має свою репрезентативність, особливості приладу та зміни в приладах чи характеристиках розташування. Для того, щоб проаналізувати тривалість сонячного сяйва в кліматологічних масштабах часу, необхідно враховувати всі ці особливості. Наприклад, кліматичні дані, що сформовані на основі супутникового запису з тридцятирічною тривалістю для диска Meteosat, зазвичай базуються на близько десяти більш-менш ідентичних інструментах з відомими характеристиками. Це дає можливість проводити дослідження клімату для великих регіонів за допомогою одного набору просторових і часових однорідних даних [9].

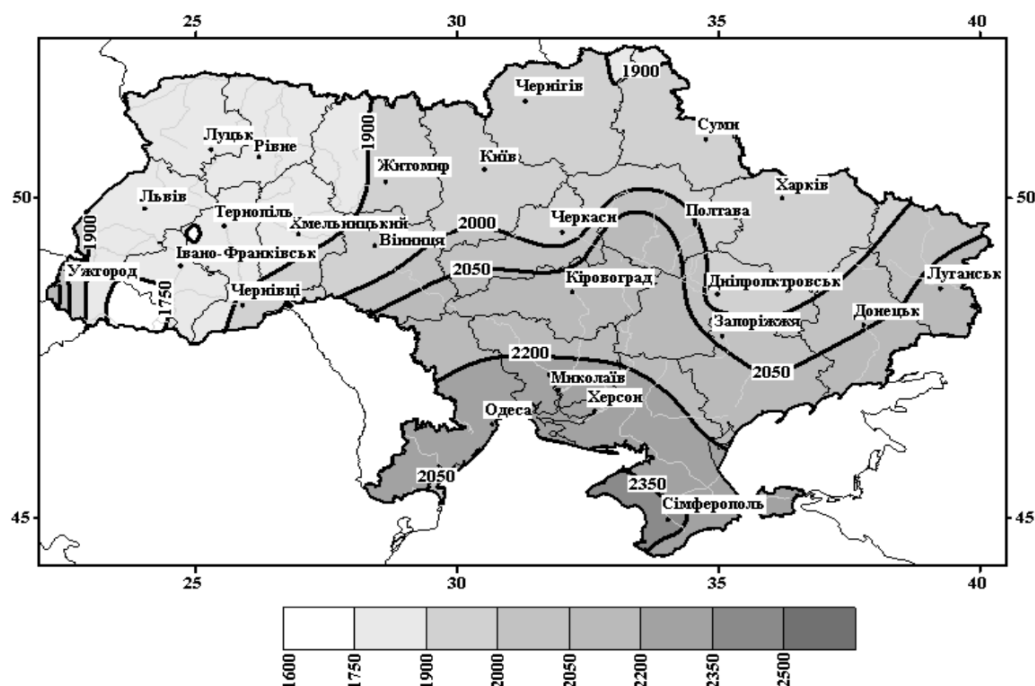


Рис. 1. Річна тривалість сонячного сяйва в Україні (год). 2001–2013 рр. [3]

Геостаціонарні та полярні орбітальні супутники можуть спостерігати і давати зображення областей за допомогою сенсорів, на яких встановлені датчики. Ці зображення різноцільові і можуть бути використані для оцінки сумарної сонячної радіації [8]. Детальне зображення геостаціонарних та полярних орбітальних супутників показано на рис. 2 [4].

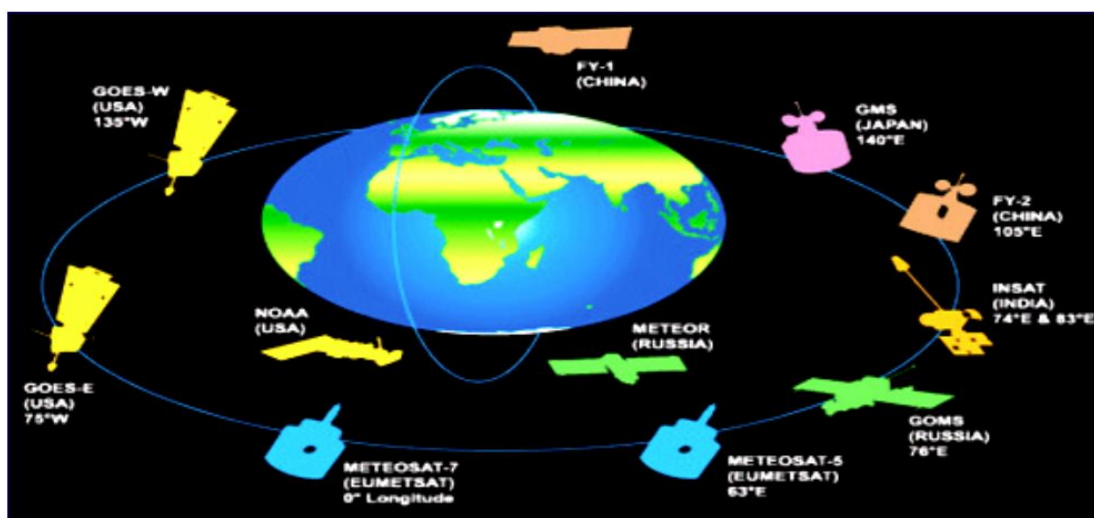


Рис. 2. Мережа космічних спостережень за атмосферою та земною поверхнею [4]

Геостаціонарні супутники мають низьку просторову роздільну здатність через їх велику висоту орбіти, тоді як супутники на полярній орбіті мають високу просторову роздільну здатність, але вони можуть переглядати більшість поверхні Землі лише два рази на день (один при денному світлі і один у темряві) [8].

Погодні умови, які зафіксовані на наземних даних метеостанцій, вважаються золотим стандартом для метеорологічних даних, оскільки вони лише одні, але при цьому мають різні обмеження. При відсутності можливостей для обслуговування, регулярне ведення записів може призвести до значних пропусків даних, що змусить повторити вимірювання або виключити дані про результати, для яких немає збігу. Крім того, метеостанції часто розташовуються в місцях, ключових для їх основного використання в авіації або в моніторингу погоди для великих населених пунктів (тобто міста та аеропорти) і деякі області можуть бути більш географічно репрезентативними, ніж інші [6].

Іноді у даних метеорологічних та гідрологічних станцій погіршується точність отриманих результатів та вимірів. Тому у цьому випадку варто користуватися супутниковими даними.

Крім цього, якщо для проведення дослідження брати дані у точках вузлів із певним кроком сітки на карті деякого масштабу (адже метеостанції розташовуються на великій відстані одна від одної, що в свою чергу погіршує точність отриманих даних, а натомість супутникові дані дозволяють отримати інформацію із будь – якої місцевості різного кроку сітки, навіть найменшого, що формує вищу точність даних), то не обов'язково точка вузла співпадатиме з точкою позначення метеостанції. А якщо покладатися на дані метеостанції, то сформується досить мала вибірка даних. У цьому випадку ліпше застосовувати супутникові дані. Звідси виникає необхідність у порівнянні супутникових і наземних даних спостережень, що й досліджується у цій роботі.

Тому, **метою даної статті** є порівняння супутникових та наземних даних спостережень тривалості сонячного сьйва на території України, визначення впливу погодно – кліматичних аномалій на отримані результати даного порівняння і виявлення більш точного способу отримання даних тривалості сонячного сьйва.

Матеріали та методи дослідження. В даному дослідженні використовуються матеріали супутникових даних з Європейського центру середньострокових прогнозів European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) в місті Болонья, Італія.

Центри отримання та обробки реаналізних даних, на прикладі Європейського центру середньострокових прогнозів (ECMWF), регулярно обробляють дані з близько 90 супутникових приладів у рамках своєї оперативної щоденної діяльності із засвоєння та моніторингу даних. Отримується 800 мільйонів щоденних спостережень і 60 мільйонів спостережень з контрольованою якістю, що доступні 24 години на добу для використання в Інтегрованій системі прогнозування (IFS). Переважна більшість із них є супутниковими вимірюваннями.

Різноманітність і якість супутникових спостережень швидко змінюються, хоча деякі з них зараз дуже добре вдосконалені. Супутникові прилади дуже складні, часто проводять багато тисяч окремих спостережень одночасно в одному місці і вимагають складних методів для інтерпретації інформації, яку вони містять [7].

Для порівняння супутникових та наземних даних тривалості сонячного сьйва на території України обираються вузли в прямокутнику між 45° та 52° пн.ш. та між 22° та 40° сх.д. з кроком 2° по довготі та 1° по широті. Всього - 57 вузлів, так я. дані з меншим кроком практично не змінюються. Вузли на мапі України розміщені рівномірно, як показано на рис. 3.

Наземні дані метеостанцій використовуються з Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського за сучасний період від 2011 до 2019 року. Координати метеостанцій та найближчий до них вузол наведені в таблиці 1. Метеостанції на мапі України показані на рис. 4.

Метеостанції розміщені нерівномірно із скупченням на крайньому Півдні, Центрі та Півночі. Також практично відсутні дані метеостанцій на північному заході України на території Полісся, на південному заході та сході країни, тобто в районах з різною підстильною поверхнею. Адже Полісся - це переважно ліси, Південь – поля та степ, а Запорізька область – піски.

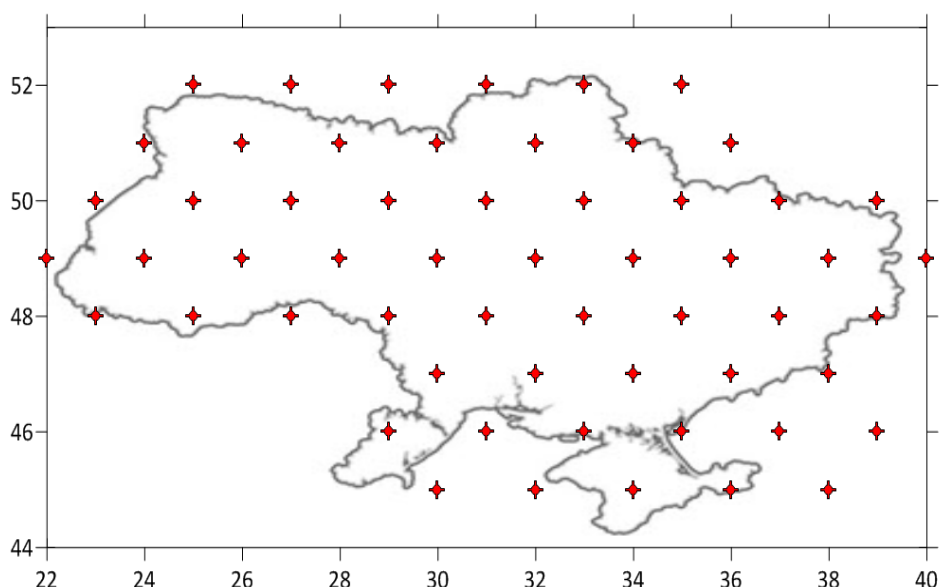


Рис.3. Розміщення вузлів сітки ECMWF ♦ на мапі України

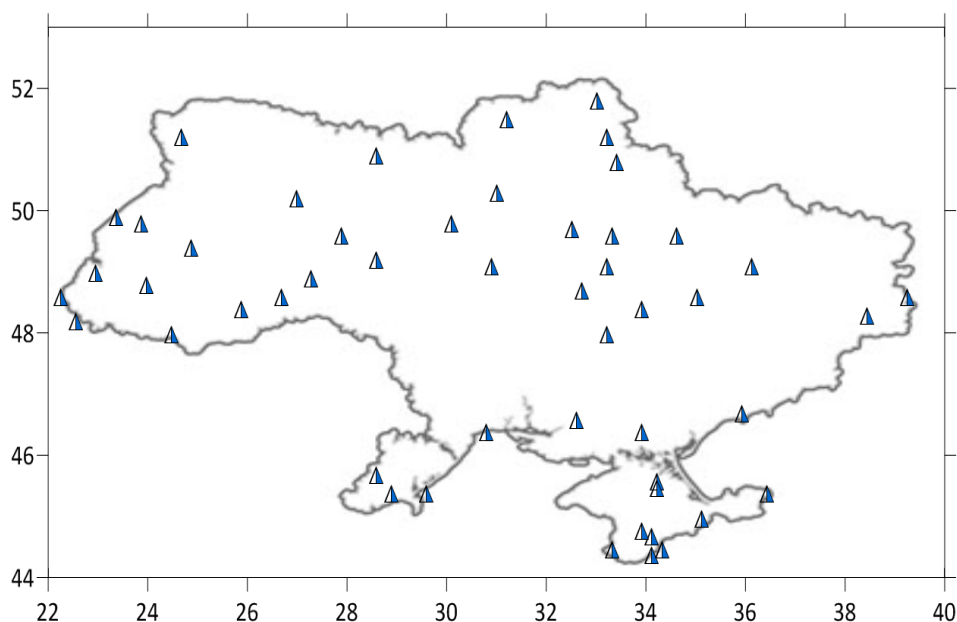


Рис.4. Розміщення метеостанцій з даними тривалості сонячного сйва ▲ на мапі України

Як одиницю тривалості сонячного сйва використовують годину. Вимірювання тривалості сонячного сйва на метеостанціях виконують з точністю до $\pm 0,1$ год [1].

Для проведення розрахункових робіт використовуються фізико–математичні методи дослідження. Ці методи включають в себе програми Excel та Statistica. Зокрема, в програмі Excel створено базу даних тривалості сонячного сйва за супутниковими спостереженнями у вузлах сітки та відповідні вузлам наземні дані метеорологічних станцій. А в програмі Statistica отримана залежність супутникових та наземних даних тривалості сонячного сйва з використанням методів лінійної регресії. Лінійна регресія подана у вигляді кореляційних графіків, що формує створення регресійного аналізу даного дослідження. При цьому, рівень значимості кореляційного графіку, за якою встановлена залежність, відповідає 95-відсотковому рівню забезпеченості, що відповідає оптимальному рівню значимості, за яким можна побудувати еліпс розсіювання на відповідному графіку.

Таблиця 1. Координати метеостанцій України та найближчий до них вузол

Метеостанція	Координати метеостанції		Найближчий вузол	Метеостанція	Координати метеостанції		Найближчий вузол
	Широта °	Довгота, °			Широта, °	Довгота °	
Покошичі	51,8	33	52х33	Дебальцеве	48,3	38,4	48х39
Чернігів, АМСГ	51,5	31,2	52х31	Дніпропетровськ, АМСГ	48,6	35	48х35
Конотоп	51,2	33,2	51х34	Знаменка	48,7	32,7	48х33
Коростень	50,9	28,6	51х28	Комісарівка	48,4	33,9	48х33
Ковель	51,2	24,7	51х24	Кривий Ріг	48	33,2	48х33
Полтава	49,6	34,6	50х35	Кам'янець-Подільський	48,6	26,7	48х27
Золотоноша	49,7	32,5	50х33	Пожежевська	48	24,5	48х25
Ромни	50,8	33,4	50х33	Чернівці, АМСГ	48,4	25,9	48х25
Веселий Поділ	49,6	33,3	50х33	Берегове	48,2	22,6	48х23
Бориспіль	50,3	31	50х31	Ботієве	46,7	35,9	47х36
Біла Церква	49,8	30,1	50х31	Херсон	46,6	32,6	47х32
Шепетівка	50,2	27	50х27	Асканія Нова	46,4	33,9	46х33
Яворів	49,9	23,4	50х23	Одеса, обсерваторія	46,4	30,8	46х31
Львів, АМСГ	49,8	23,9	50х23	Болград	45,7	28,6	46х29
Харків, АМСГ	49,1	36,1	49х36	Ізмаїл, обсерваторія	45,4	28,9	46х29
Світловодськ	49,1	33,2	49х34	Керч, АМСГ	45,4	36,4	45х36
Звенигородка	49,1	30,9	49х30	Карадаг	45	35,1	45х36
Нова Ушиця	48,9	27,3	49х28	Клепиніне	45,6	34,2	45х34
Хмільник	49,6	27,9	49х28	Сімферополь, АМСГ	44,7	34,1	45х34
Вінниця, АМСГ	49,2	28,6	49х28	Почтове	44,8	33,9	45х34
Бережани	49,4	24,9	49х24	Херсонський маяк	44,5	33,3	45х34
Долина	48,8	24	49х24	Ай-Петрі	44,4	34,1	45х34
Ужгород, АМСГ	48,6	22,3	49х22	Ялта	45,5	34,2	45х34
Межгір'я	49	23	49х22	Нікітський Сад	44,5	34,3	45х34
Луганськ	48,6	39,2	48х39	Вилкове	45,4	29,6	45х30

Виклад основного матеріалу. Для порівняння супутникових та наземних даних спостережень тривалості сонячного сяйва на території України використовуються дані за календарне літо сучасного періоду із 2011 по 2019 роки, так як саме в літні місяці спостерігаються найвищі показники тривалості сонячного сяйва. Враховуються координати метеорологічних станцій, на яких вимірюється тривалість сонячного сяйва. Для цих станцій підбирається найближчий вузол із супутниковими даними. Порівняння супутникових та наземних даних тривалості сонячного сяйва на території України базується на лінійній залежності супутникових (Reanalysis) та наземних (Ground) даних.

Проаналізувавши результати залежності супутникових та наземних даних тривалості сонячного сяйва на території України за визначений період, отримано значення коефіцієнта кореляції в межах 0.50 - 0.80, що відповідає помірній та значущій кореляції, а отже й достатньо великій залежності супутникових та наземних даних на території України.

Кореляційний графік порівняння супутникових та наземних даних тривалості сонячного сяйва 2012 року з найвищим коефіцієнтом кореляції показаний на рис. 5.

Для створення кореляції використовується залежність між вузлом сітки і найближчою до даного вузла метеостанцією для кожного місяця календарного літа кожного року. Потім

визначається середнє значення коефіцієнта кореляції за ці 3 місяці кожного року. Коефіцієнти кореляції за кожен місяць і середні за календарне літо занесені в табл. 2.

Таблиця 2 Коефіцієнти кореляції супутникових та наземних даних тривалості сонячного сйива на території України

Рік	Коефіцієнт кореляції			
	Червень	Липень	Серпень	Середній
2011	0.54	0.88	0.68	0.70
2012	0.81	0.73	0.85	0.80
2013	0.84	0.59	0.74	0.72
2014	0.62	0.81	0.84	0.76
2015	0.51	0.41	0.54	0.49
2016	0.66	0.59	0.62	0.62
2017	0.52	0.47	0.62	0.53
2018	0.80	0.70	0.83	0.78
2019	0.53	0.57	0.59	0.56

Як видно з даної таблиці, найвищий коефіцієнт кореляції припадає на 2012 рік і становить 0.80. Пояснюється він тим, що, протягом літнього сезону 2012 р., з найкращою кореляцією між супутниковими та наземними даними, у всі місяці на більшості території України відзначена від'ємна аномалія температури повітря, а також кількість атмосферних опадів вище або в межах норми [12].

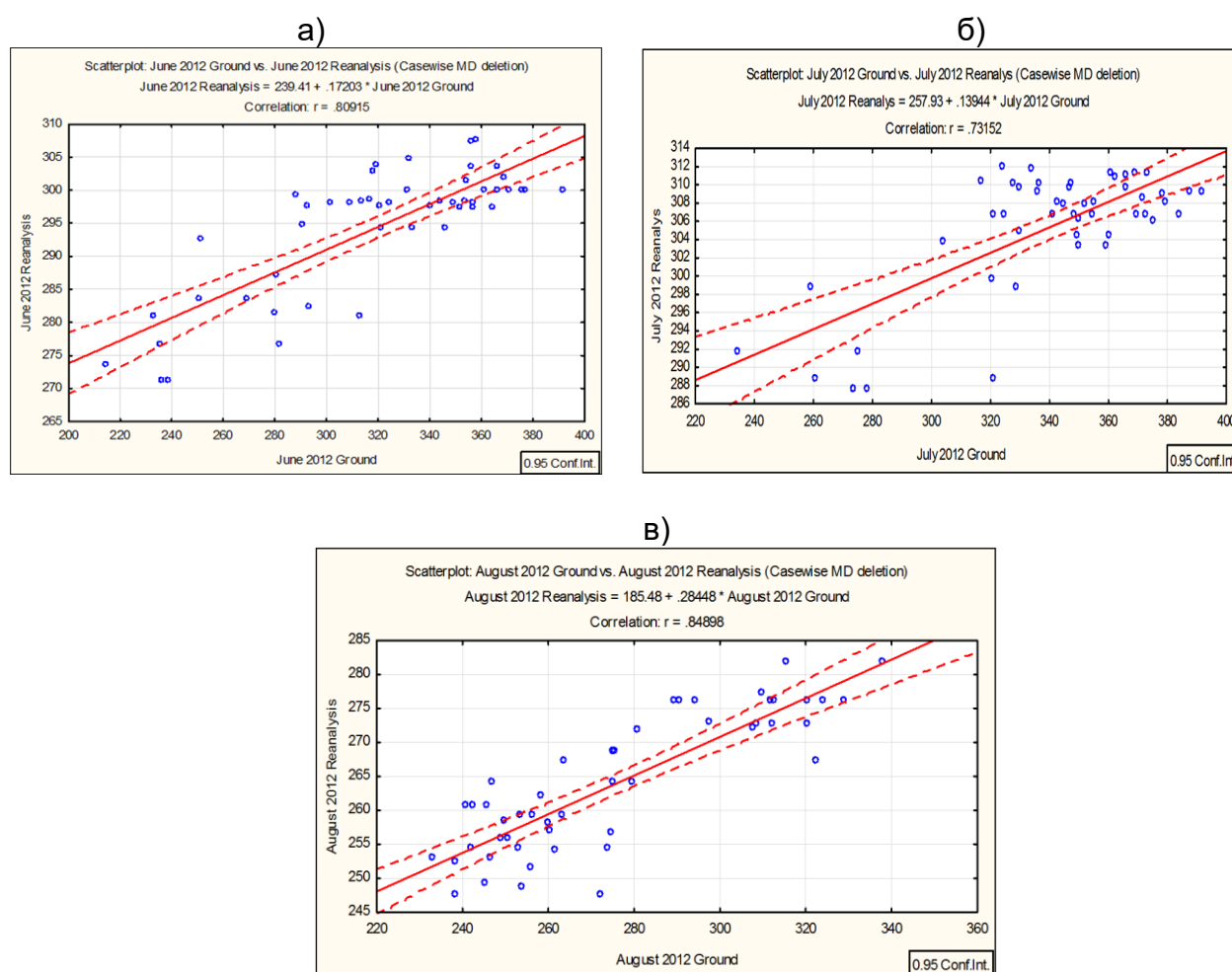


Рис. 5. Порівняння супутникових та наземних даних тривалості сонячного сйива в період а) червень; б) липень; в) серпень 2012 р.

У 2015 р. спостерігається наявність найнижчого значення коефіцієнта кореляції супутникових та наземних даних тривалості сонячного сяйва на території України, що становить 0.49. Пояснюється така найменша залежність у даному році з – поміж інших залежностей у інші роки досліджуваного періоду тим, що протягом літнього сезону 2015 р. з мінімумом кореляції, також відзначена в основному аномалія температури повітря нижче або в межах норми, але при більшій неоднорідності в просторі, при різних знаках аномалії у східних, південних та західних областях [12].

З допомогою програми STATISTICA визначається середнє квадратичне відхилення тривалості сонячного сяйва σ . Тоді сумарна похибка при 95% довірчому рівні має значення 2σ [12]. Значення сумарної похибки для наземних та супутникових даних занесені в таблицю 3. Середня сумарна похибка за календарне літо показана на рис.6.

Таблиця 3. Значення сумарної похибки для наземних та супутникових даних тривалості сонячного сяйва на території України, (год/міс)

Рік	Сумарна похибка, год/міс							
	Червень		Липень		Серпень		Середня	
	Наземні	Супутн.	Наземні	Супутн.	Наземні	Супутн.	Наземні	Супутн.
2011	58.87	13.79	95.67	34.08	70.17	17.28	74.90	21.72
2012	90.21	19.18	71.09	13.55	59.50	19.94	73.60	17.56
2013	81.89	17.24	57.01	7.25	70.59	21.23	69.83	15.24
2014	50.80	15.57	84.59	23.57	78.94	20.99	71.44	20.04
2015	81.88	26.35	57.87	11.81	53.19	12.89	64.31	17.02
2016	59.46	17.38	65.95	16.06	45.10	16.25	56.84	16.57
2017	55.70	10.10	58.54	11.00	40.41	11.39	51.55	10.83
2018	104.97	24.52	81.30	21.59	77.55	12.61	87.94	19.57
2019	58.10	8.03	60.62	5.92	54.25	12.46	57.66	8.80



Рис.6. Середня сумарна похибка за календарне літо для наземних та супутникових даних тривалості сонячного сяйва на території України, год/міс

Як показано на рисунку 6, наземні метеостанції мають меншу точність вимірювань, на відміну від супутникових даних. Адже сумарна похибка тривалості сонячного сяйва на території України для супутникових даних коливається в межах від 8.80 год/міс у 2019 р. до 20.04 год/міс у 2014 р. та 21.72 год/міс у 2011 р. Натомість сумарна похибка тривалості сонячного сяйва для наземних даних метеостанцій знаходиться в межах від 51.55 год/міс у 2017 р. до 87.94 год/міс у 2018 р..

Сумарна похибка тривалості сонячного сяйва як супутникових, так і наземних даних на території України у 2011 та 2014 рр. пояснюється значним сплеском сонячної активності у ці роки, що досягає показника у розмірі 150 кількості сонячних спалахів і становить найбільший показник даних спалахів за період із 2010 по 2020 рр. [11]. Проте, незважаючи на це, сумарна похибка тривалості сонячного сяйва супутникових даних все рівно в рази

менша, ніж сумарна похибка наземних даних досліджуваної величини. Детальніше кількість сонячних спалахів показана на рис. 7 [11].

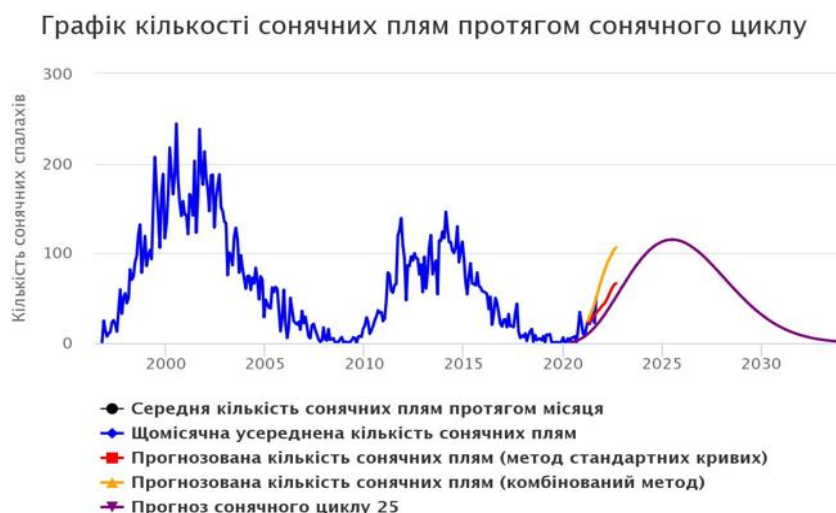


Рис.7. Графік кількості сонячних спалахів за 23 – 24 сонячні цикли та прогноз на 25 сонячний цикл [11]

При врахуванні погодних умов та типів синоптичної ситуації в тропосфері, у 2011, 2014 роки – максимуму сонячної активності, навпаки, - в Україні та східній Європі в цілому відзначається тепліша погода, з температурою повітря вище норми, крім областей Сходу, що супроводжується дефіцитом опадів на більшості території [12].

У посушливі місяці, як, наприклад, серпень 2018 р., підвищена температура повітря разом з дефіцитом опадів спостерігається в центрі та Лівобережжі, тобто не на всій території, у той час як у західних областях спостерігалася прохолодніша погода з опадами вище за кліматичну норму [12]. Це говорить про те, що при проведенні аналізу даних про тривалість сонячного саява необхідна деталізація по регіонах або окремих областях.

За результатами досліджень, проведених у відділі кліматичних досліджень та довгострокових прогнозів погоди Українського гідрометеорологічного інституту, посуха серпня 2018 року характеризується пороговим значенням тривалості сонячного саява, що становить вище 11.6 годин за добу. Таке велике значення тривалості сонячного саява відповідно і зумовлює найбільшу похибку досліджуваного параметра за наземними даними метеостанцій за період із 2011 по 2019 роки. Розподіл тривалості сонячного саява при наявності визначеного порогового значення цієї величини для серпня 2018 року зображено на рис. 8.

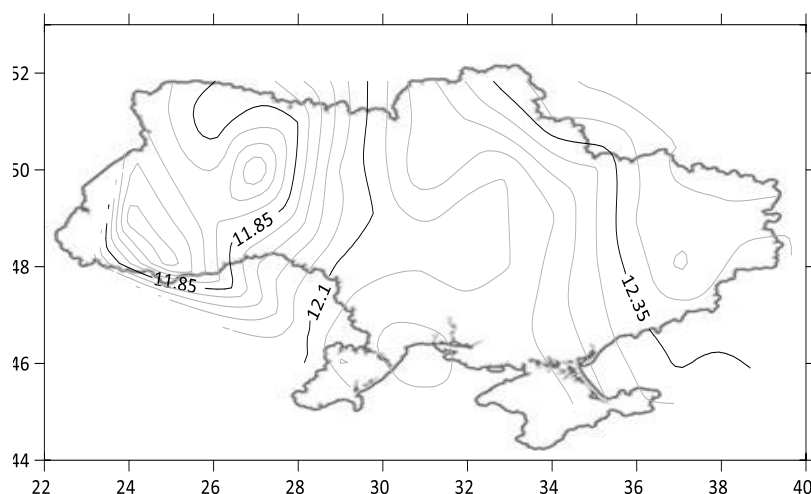


Рис.8. Розподіл тривалості сонячного саява з пороговим значенням вище 11.6 годин за добу на території України в період посухи серпня 2018 р.

Неоднорідність розподілу багатьох метеорологічних характеристик по території України пояснюється особливостями сезонної синоптичної ситуації, зокрема впливом Європейської улоговини на західні області та субтропічного антициклону, тому посушливі явища, що супроводжуються безхмарною погодою, частіше реєструються на сході країни. Відповідно, зростає тривалість сонячного саява та надходження прямої сонячної радіації, тобто існує зворотній зв'язок між полями хмарності та сонячними параметрами. Пошук зв'язків між метеорологічними величинами та параметрами сонячної радіації є однією з практично важливих задач, що може допомогти у вирішенні проблеми довгострокових прогнозів, у тому числі небезпечних явищ.

Крім цього, великі похибки наземних даних метеостанцій тривалості сонячного саява пояснюються й можливою відсутністю у певний період наземних даних тривалості сонячного саява, а процес відновлення пропущених даних дає не точну, а приблизну інформацію. За рахунок цього, наземні дані показують лише приблизний розподіл тривалості сонячного саява, на відміну від супутникових даних, що може призвести до неточності оцінки тривалості сонячного саява на території України.

Дискусія та пропозиції. Також ще однією причиною того, що дані метеостанцій мають дещо меншу точність є оцінка тривалості сонячного саява за окремими метеостанціями. Оскільки метеостанції розташовані на значній відстані одна від одної, в той же час як супутникові дані дозволяють отримати тривалість сонячного саява із навіть незначної за площею ділянки території, то формується менша вибірка наземних даних, у порівнянні з супутниковими даними. Це в свою чергу погіршує точність отриманих наземних даних тривалості сонячного саява.

На наземних метеостанціях для вимірювання тривалості сонячного саява в основному використовують геліограф ГУ–1. Геліограф має бути зорієнтований уздовж географічного меридіану і за географічною широтою станції. При неправильному встановленні геліографа відносно меридіану виникає розходження між часом знімання стрічки і часом закінчення запису на одній стрічці та початком запису на наступній [1]. Це у свою чергу виступає ще одним фактором погіршення точності наземних даних тривалості сонячного саява.

На метеостанціях, похибки реєстратора геліографа обумовлені головним чином залежністю утворення пропалів від температури та вологості стрічки, а також ефектом посиленого пропалення, особливо у разі розірваних хмар. Значення, отримані вранці в середніх і високих широтах, часто обумовлені обмерзанням чи відпітнінням скляної кулі [12].

Тривалість затінення виявляють візуально за наявністю сонячного саява безпосередньо біля геліографа. Якщо через затінення геліографа втрата запису в сумі перевищує 0,2 год, цей запис доповнюють даними візуальних спостережень. Тут може виникнути неточність наземних даних за рахунок механічної помилки спостерігача.

Необхідно також пам'ятати, що початок і кінець реєстрації сонячного саява на стрічці не збігаються зі справжнім часом сходу і заходу Сонця через інерцію кульової скляної лінзи та умов установлення геліографа. Це призводить до значних похибок отриманих даних тривалості сонячного саява на метеостанціях [1].

З 1980-х рр. на метеорологічних мережах закордонних країн почали використовуватись автоматизовані прилади. На українській антарктичній станції «Академік Вернадський» з 1996 р. використовувався датчик тривалості сонячного саява Haenni Solar 111B фірми Kipp&Zonen. Враховуючи дані геліографа, на станції накопичений один з найдовших в Антарктиці безперервний ряд за період 1957-2007 років. Деяким недоліком цього типу приладів була наявність рухомих частин з тінювими кільцями.

На сучасному рівні розвитку технологій тривалість сонячного саява вимірюється універсальними багатоцільовими датчиками сонячного випромінювання типу BF5. Вони використовують масив фотодіодів з унікальною комп'ютерною схемою затінення для вимірювання падаючої сонячної радіації. Мікропроцесор розраховує глобальну (сумарну) та дифузну (розсіяну) складові випромінювання та визначає стан сонячного саява.

Датчик сонячного світла BF5 не потрібно регулювати або переміщувати, щоб відстежувати Сонце – це явна перевага перед пристроями з тінювими кільцями. Немає складних електромеханічних вузлів і доріжок спаленого паперу для інтерпретації.

Використовуючи такого типу прилади, можна підвищити точність наземних даних метеостанцій, зокрема тривалості сонячного сяйва. І тоді, при поліпшеній точності наземних даних вони також дозволять якісно оцінити тривалість сонячного сяйва на рівні з супутниковими даними.

Висновки.

1. Отримані результати дослідження свідчать про значну кореляцію, а отже й велику залежність між супутниковими та наземними даними тривалості сонячного сяйва на території України. Це в свою чергу підтверджує високу точність супутникових даних, що дозволяє якісно оцінювати розподіл тривалості сонячного сяйва на території нашої держави.

2. Загалом отримані результати підтверджують факт того, що для якісної оцінки метеорологічних та гідрологічних параметрів одночасно з наземними даними метеостанцій можна також використовувати супутникові дані. При цьому точність параметрів не лише не зменшиться, а, й, навіть, зросте, про що свідчать результати середньої сумарної похибки досліджуваного параметра тривалості сонячного сяйва на території України.

3. Наземні дані метеостанцій України ще потребують підвищення точності задля правильної оцінки досліджуваного параметра. Використовуючи універсальні багатоцільові датчики сонячного випромінювання типу BF5, можна підвищити точність наземних даних метеостанцій, зокрема тривалості сонячного сяйва. І тоді, при поліпшеній точності наземних даних вони також дозволять якісно оцінити тривалість сонячного сяйва на рівні з супутниковими даними.

4. Проведено співставлення аномалій окремих метеорологічних величин та явищ у місяці та роки з різною кореляцією між супутниковими та наземними даними тривалості сонячного сяйва. Відзначено, що місяцям з найкращою кореляцією відповідає більш однорідна аномалія температури повітря та опадів на теренах України з переважно від'ємною аномалією температури повітря, а у місяці з мінімумом кореляції відзначена значна неоднорідність в просторі при різних знаках аномалії у східних, південних та західних областях. Загалом зроблено висновок про необхідність деталізації даних тривалості сонячного сяйва по регіонах або окремих областях при проведенні аналізу в роки із значними кліматичними аномаліями, наприклад, у посушливі місяці або періоди із значними опадами.

Список літератури

1. Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Випуск 3. Частина 1. Метеорологічні спостереження на станціях // Державна гідрометеорологічна служба Київ, 2011
 2. Рибченко Л.С., Савчук С.В. Коливання тривалості сонячного сяйва в Україні в сучасних умовах // Міжнародна конференція «Глобальні та регіональні зміни клімату». Київ, Україна. 16-19 листопада 2010
 3. Рибченко Л.С., Савчук С.В. Потенціал геліоенергетичних кліматичних ресурсів сонячної радіації в Україні // Український географічний журнал. 2022.1. С.16-23
 4. Семенова І. Г. Супутникова метеорологія (конспект лекцій) // Одеса «Екологія», ОДЕКУ, 2008
 5. Angstrom A. Solar and terrestrial radiation // Q. J. R. Meteorol. Soc. 1924, 50, 121–125
 6. Colston J.M., Mahopo T.C., Kosek M., Svensen E. Evaluating meteorological data from weather stations, and from satellites and global models for a multi-site epidemiological study // April 2018
 7. Forecasts ECMWF European Centre for Medium-Range Weather. ERA Interim, Daily [Internet]. URL: <https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/>
 8. Kandirmaz H. M. and Kaba K. Estimation of Daily Sunshine Duration from Terra and Aqua MODIS Data // Adana, Turkey. 15 April 2014
 9. Kothe S., Pfeifroth U., Cremer R., Trentmann J. and Hollmann R. A Satellite-Based Sunshine Duration Climate Data Record for Europe and Africa // Deutscher Wetterdienst, 63067 Offenbach, Germany, May 2017
 10. McGrath J.; Selten J.P.; Chant D. Long-term trends in sunshine duration and its association with schizophrenia birth rates and age at first registration-data from Australia and the Netherlands // Schizophr. Res. 2002, 54, 199–212
 11. Sunspot Index and Long-term Solar Observations Royal Observatory of Belgium [Internet] URL: <https://www.bis.sidc.be/silso/dayssnplot>
 12. WMO Library. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3720
- ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2022. № 3 (65)**

13. Zhu X.C.; Qiu X.F.; Zeng Y.; Gao J.Q.; He Y.J. A remote sensing model to estimate sunshine duration in the Ningxia Hui autonomous region, China // J. Meteorol. Res. 2015, 29, 144–154

References

1. Nastanova hidrometeorologichnym stantsiiam i postam. Vypusk 3. Chastyna 1. Meteorologichni sposterezhennia na stantsiiakh. Kerivniy dokument. Derzhavna hidrometeorologichna sluzhba [Regulations on hydrometeorological stations and posts. Governing document. State hydrometeorological service]. Kyiv, 2011
2. Rybchenko L.S., Savchuk S.V. Kolyvannia tryvalosti soniachnoho siaiva v Ukraini v suchasnykh umovakh [Fluctuations in the sunshine duration in Ukraine under modern conditions] // Mizhnarodna konferentsiia «Hlobalni ta rehionalni zminy klimatu». Kyiv, Ukraina. 16-19 lystopada 2010
3. Rybchenko L.S., Savchuk S.V. Potentsial helioenerhetychnykh klimatychnykh resursiv soniachnoi radiatsii v Ukraini [The potential of solar energy climate resources of solar radiation in Ukraine] // Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal. 2022.1. S.16-23
4. Semenova I. H. Suputnykova meteorologhiia (konspekt lektsii) [Satellite meteorology (lecture notes)] // Odesa «Ekologhiia», ODEKU, 2008
5. Angstrom A. Solar and terrestrial radiation // Q. J. R. Meteorol. Soc. 1924, 50, 121–125
6. Colston J.M., Mahopo T.C., Kosek M., Svensen E. Evaluating meteorological data from weather stations, and from satellites and global models for a multi-site epidemiological study // April 2018
7. Forecasts ECMWF European Centre for Medium-Range Weather. ERA Interim, Daily [Internet]. URL: <https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/>
8. Kandirmaz H. M. and Kaba K. Estimation of Daily Sunshine Duration from Terra and Aqua MODIS Data // Adana, Turkey. 15 April 2014
9. Kothe S., Pfeifroth U., Cremer R., Trentmann J. and Hollmann R. A Satellite-Based Sunshine Duration Climate Data Record for Europe and Africa // Deutscher Wetterdienst, 63067 Offenbach, Germany, May 2017
10. McGrath J.; Selten J.P.; Chant D. Long-term trends in sunshine duration and its association with schizophrenia birth rates and age at first registration-data from Australia and the Netherlands // Schizophr. Res. 2002, 54, 199–212
11. Sunspot Index and Long-term Solar Observations Royal Observatory of Belgium [Internet] URL: <https://wwwbis.sidc.be/silso/dayssnplot>
12. WMO Library. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3720
13. Zhu X.C.; Qiu X.F.; Zeng Y.; Gao J.Q.; He Y.J. A remote sensing model to estimate sunshine duration in the Ningxia Hui autonomous region, China // J. Meteorol. Res. 2015, 29, 144–154

Comparison of satellite and terrestrial data of observations of sunshine duration on the example of the territory of Ukraine

Kykhtenko Y.V., Tymofeev V.E

In this article, a comparison of satellite and terrestrial data on the sunshine duration is determined on the example of the territory of Ukraine for the period of the calendar summer of 2011-2019. In particular, it was established that the value of the correlation coefficient of satellite and terrestrial data of sunshine duration is within 0.50 - 0.80, which corresponds to a moderate and significant correlation, and therefore a sufficiently large dependence between these types of obtaining meteorological and actinometric information of the studied parameter. Attention is also focused on the possibilities of improving the accuracy of ground data using universal multi-purpose solar radiation sensors, for example BF5 type sensors; and high accuracy of satellite data is confirmed.

The average total error of the sunshine duration was determined based on satellite data and data from terrestrial weather stations. The obtained results indicate that ground weather stations have several times lower accuracy of measurements, in contrast to satellite data. After all, the average maximum total error of the sunshine duration of terrestrial data is four times higher than the average maximum total error of satellite data of the studied quantity. This, in turn, allows us to use satellite data for a qualitative assessment of the sunshine duration on the territory of Ukraine and allows us to assert that, in addition to ground data, it is possible to use satellite data of the sunshine duration as a studied quantity, as well as satellite data of any quantity in general.

In addition, the influence of weather and climate anomalies on the obtained comparison results was investigated. As a result of the research, it was noted that mostly the months with the best correlation correspond to a more homogeneous anomaly of air temperature and precipitation, and the months with the minimum correlation are marked by significant heterogeneity in the space of anomalies of the fields of these meteorological quantities. On a territorial scale, when analyzing data on the sunshine duration, it is necessary to detail meteorological values that depend on the studied parameter by region or individual areas.

Keywords: Satellite data; terrestrial data; sunshine duration; comparison of the sunshine duration of satellite and terrestrial data; climate anomalies.

Надійшла до редколегії 20.07.2022