

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Географічний факультет
Кафедра метеорології та кліматології

На правах рукопису

УДК 551.521(477)

Вплив тривалості сонячного сьйва на радіаційний режим
території України

Галузь знань 10 – Природничі науки
Спеціальність 103 – Науки про Землю
Освітня програма Метеорологія

Кваліфікаційна робота магістра
студентки 2 курсу
освітнього рівня магістр
Бунеску Мар'яни Василіївни

Науковий керівник:

к. геогр. наук, доцент кафедри
метеорології та кліматології

Затула Василь Іванович

Київ – 2024

Анотація

Бунеску М.В. Вплив тривалості сонячного сяйва на радіаційний режим території України. Магістерська робота на здобуття ступеня магістра за спеціальністю 103 – Науки про Землю, Київський національний університет імені Тараса Шевченка - Київ, 2024. - с. 64, список джерел із 30 найменувань, 5 розділів.

Дана магістерська робота присвячена дослідженню просторово-часових особливостей розподілу видів сонячної радіації та тривалості сонячного сяйва, а також визначення їх статистичного зв'язку на території України за період 1991 – 2020 років. У перших двох розділах було визначено основні поняття та методика актинометричних спостережень в Україні. Третій та четвертий розділи роботи присвячені дослідженню особливостей розподілу характеристик сонячної радіації та тривалості сонячного сяйва по холодному та теплому сезонах, по десятиріччях та по кліматичним річним періодом. Виявлено особливості розподілу та здійснено просторовий опис. У п'ятому розділі досліджувався статистичний зв'язок між тривалістю сонячного сяйва та характеристик сонячної радіації. Описано та визначено які види сонячної радіації не залежать від тривалості сонячного сяйва.

Ключові слова: актинометричні спостереження, радіаційний режим, сонячна радіація, тривалість сонячного сяйва.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
Розділ 1. Поняття та загальні відомості про сонячну радіацію та тривалість сонячного сяйва.....	9
1.1. Поняття сонячної радіації та її види.....	9
1.2. Поняття тривалості сонячного сяйва.....	11
Висновки до Розділу 1	12
Розділ 2. Спостереження за сонячною радіацією та тривалістю сонячного сяйва	13
2.1. Спостереження за сонячним випромінюванням.....	14
2.2. Строки спостереження.....	15
2.3. Спостереження за тривалістю сонячного сяйва	16
Висновки до розділу 2	17
Розділ 3. Мінливість сонячної радіації та тривалості сонячного сяйва в Україні.....	18
3.1. Розподіл сонячної радіації по сезонах.....	18
3.1.1. Пряма сонячна радіація на нормальну до променя поверхню	18
3.1.2. Пряма сонячна радіація на горизонтальну поверхню	20
3.1.3. Розсіяна сонячна радіація	21
3.1.4. Сумарна сонячна радіація	22
3.1.5. Радіаційний баланс	23
3.1.6. Альbedo підстильної поверхні	25
3.2. Мінливість сонячної радіації за десятирічними періодами	27
3.3. Розподіл сонячної радіації за кліматичним середньорічним значенням	32
Висновки до розділу 3	34
Розділ 4. Тривалість сонячного сяйва в Україні.....	35

4.1. Розподіл тривалості сонячного сьйва по сезонах	35
4.2. Розподіл тривалості сонячного сьйва за десятирічними періодами	36
4.3. Розподіл тривалості сонячного сьйва за кліматичним середньорічним значенням	37
Висновки до розділу 4	38
Розділ 5. Статистичний зв'язок між тривалістю сонячного сьйва та характеристиками сонячної радіації.....	39
5.1. Зв'язки між тривалістю сонячного сьйва та видами радіації для південного регіону	39
5.2. Зв'язки між тривалістю сонячного сьйва та видами радіації для регіону Карпат	42
5.3. Зв'язки між тривалістю сонячного сьйва та видами радіації для північного регіону.....	43
5.4. Зв'язки між тривалістю сонячного сьйва та видами радіації для центрального регіону.....	47
Висновки до розділу 5	48
ВИСНОВКИ	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	52
ДОДАТКИ	57

ВСТУП

Нині визнано, що випромінювання Сонця є важливим джерелом енергії для багатьох природних явищ і процесів, що відбуваються на Землі та в її атмосфері. Сучасні дослідження в галузі зміни клімату неможливі без урахування впливу процесів перенесення сонячної радіації в атмосфері.

В останні десятиліття відбулися значні зміни потоків короткохвильового випромінювання, зумовлені різними природними та антропогенними факторами, такими як умови атмосферного переходу, фізичні властивості, відбиття від поверхні, атмосферна циркуляція та хмарність.

При вивченні кліматичних факторів важливо враховувати роль сонячної радіації, оскільки вона є основним джерелом тепла і має значний вплив на температурний баланс і теплову рівновагу земної поверхні.

Отримана сонячна радіація залежить від ряду факторів, таких як висота Сонця, тривалість дня, прозорість атмосфери і кількість хмарності. Загальна кількість радіації, що поглинається на поверхні Землі, формує альбедо, яке визначається сумарною радіацією та відбивною здатністю поверхні.

Актуальність теми. Вивчення сонячної радіації має велике значення в сучасній науці, особливо для розуміння змін клімату та їхнього впливу на Землю. Недавні дослідження показали, що різні природні та антропогенні фактори можуть суттєво змінювати сонячну енергію, яку отримує Земля. Врахування впливу сонячної радіації має вирішальне значення для розуміння змін клімату та розробки стратегій адаптації до них. Тому вивчення сонячної радіації стало актуальною темою, що цікавить науковців у різних галузях.

Такі вчені, як Семюель Ленглі, Густав Кірхгоф, Сванте Арреніус, Соломон Гольдшмідт та Мілутін Міланкович є важливими постатями в історії сонячної радіації та її впливу на Землю. Їхні роботи заклали основи для подальших досліджень сонячної радіації та її впливу на Землю.

Тема сонячної радіації має велике значення в міжнародному науковому співтоваристві. Джерела [15 – 17, 20, 22 – 24] важливі для розуміння мінливості сонячної радіації та її впливу на кліматичні процеси, а також для розробки прогностичних моделей і стратегій використання сонячної енергії.

Серед українських вчених важливу роль у дослідженнях сонячної радіації відіграли Л.С. Рибченко, С.В. Савчук, С.І. Решетченко [2, 4, 7 – 10]. Наукові результати цих вчених мають велике значення для розуміння та вивчення змін режиму сонячної радіації в Україні, його взаємодії з іншими метеорологічними явищами та впливу цих змін на діяльність людини. Також вивченням сонячної радіації займалися Т.О. Ревера та В.І. Затула [3, 5 – 6].

Слід додати, що розуміння процесів, пов'язаних із сонячною радіацією, важливе не тільки для наукових досліджень, але й для практичних цілей. Наприклад, зміни потоків сонячної енергії не лише впливають на кліматичні зони, але й можуть мати наслідки для енергетичної безпеки та розвитку альтернативних джерел енергії.

Крім того, важливо розуміти взаємодію між сонячним випромінюванням і такими компонентами атмосфери, як парникові гази, що сприяють глобальному потеплінню. Тому дослідження сонячної радіації є також важливими для розробки стратегій адаптації до зміни клімату та міжнародного співробітництва в галузі екології та енергетики.

Об'єкт дослідження: процес зміни сонячної радіації та її зв'язок з тривалістю сонячного сяйва.

Предметом дослідження є пряма радіація, пряма на горизонтальну поверхню, розсіяна, сумарна та радіаційний баланс як складові частини сонячної радіації; альbedo; тривалість сонячного сяйва.

Метою дослідження є аналіз просторових змін сонячної радіації, альbedo та тривалості сонячного сяйва за період 1991 – 2020 рр., визначений Всесвітньою метеорологічною організацією (ВМО) як референтний, а також визначення змін прямої сонячної радіації, прямої радіації на горизонтальну поверхню, розсіяної сонячної радіації, сумарної сонячної радіації, радіаційного балансу, альbedo та тривалості сонячного сяйва наприкінці 20 – початку 21 століття.

Відповідно до мети було поставлено низку завдань:

1. Визначити характеристики радіаційного режиму та тривалості сонячного сяйву, описати методику їх спостережень.
2. Описати мінливість характеристик сонячної радіації та тривалості сонячного сяйва за теплий та холодний періоди.
3. Описати мінливість характеристик сонячної радіації та тривалості сонячного сяйва за десятирічні періоди.
4. Описати мінливість характеристик сонячної радіації та тривалості сонячного сяйва за середньорічний кліматичний період.
5. Здійснити опис просторового розподілу.
6. Визначити та проаналізувати статистичні зв'язки між тривалістю сонячного сяйва та характеристиками сонячної радіації.

Використано методи аналізу літературних джерел, статистичний, математичний, камеральні, порівняльний, описовий, аналізу та синтезу, картографічний.

У дослідженні використано дані актинометричних спостережень (1991 – 2020 рр.) з 14 метеорологічних станцій, а саме: пряма сонячна радіація, пряма радіація на горизонтальну поверхню, розсіяна сонячна радіація, сумарна сонячна радіація, альbedo, радіаційний баланс та тривалості сонячного саява.

Магістерська робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури (30 найменувань) та семи додатків. Загальний обсяг наукової роботи 64 сторінок.

Розділ 1. Поняття та загальні відомості про сонячну радіацію та тривалість сонячного саява

1.1. Поняття сонячної радіації та її види

Теплова енергія сонячного випромінювання, що досягає поверхні Землі, це переважно видиме світло (довжина хвиль від 0,4 до 0,8 мкм) та інфрачервоне випромінювання (довжина хвиль до 3 мкм).

Лише невелика кількість інфрачервоного випромінювання з довжиною хвилі понад 3 мікрони досягає поверхні Землі. Основним поглиначем ультрафіолетового випромінювання є озон. Атмосферний пил є сильним поглиначем короткохвильового випромінювання від ультрафіолетового до синього. Інфрачервоне випромінювання.

Інфрачервоне випромінювання з довжиною хвилі 0,9-3 мкм значно поглинається атмосферою водяною парою.

Спектральний склад сонячної радіації, що досягає поверхні Землі, залежить від висоти Сонця над горизонтом. Чим вище сонце, тим менше сонячної радіації проходить через атмосферу. Атмосфера більш прозора для червоних променів, ніж для видимих. На висоті близько $0,7 \text{ рад} = 40^\circ$ над Сонцем спектральний склад випромінювання приблизно такий 59 відсотків інфрачервоного, 40 відсотків видимого і 1 відсоток ультрафіолетового. Слід також зазначити, що при наявності хмарного покриву максимум інтенсивності сонячної радіації зміщується в більш довгохвильову частину видимого спектру.

Загальний вплив сонячної радіації складається з прямого сонячного випромінювання (пряма сонячна радіація) і випромінювання від атмосфери, яка розсіює сонячне світло (розсіяна сонячна радіація).

Розсіювання світла атмосферою залежить від її спектрального складу і пропорційне величині, оберненій до довжини хвилі світла. Сині промені розсіюються в п'ять разів сильніше, ніж червоні, а ультрафіолетові - в 30 разів сильніше. Це означає, що

Кількість ультрафіолетових променів у розсіяному світлі відносно невелика порівняно з кількістю ультрафіолетових променів у загальному сонячному випромінюванні.

Відстань, яку проходить сонячне випромінювання в атмосфері, швидко збільшується в міру наближення Сонця до горизонту. У той же час інтенсивність сонячного випромінювання, що досягає поверхні Землі, швидко зменшується.

Випромінювання, яке досягає Землі безпосередньо у вигляді пучка світла, рівновіддаленого від сонячного диска, називається прямою радіацією (S). Інтенсивність прямої радіації залежить від висоти Сонця та прозорості атмосфери і зростає з висотою над рівнем моря.

У середніх широтах максимум прямої радіації можна спостерігати навесні, а не влітку. Це пов'язано зі збільшенням вмісту водяної пари і пилу та зменшенням прозорості атмосфери влітку.

Пряма і розсіяна радіація, що досягає горизонтальної площини, разом утворюють сумарну радіацію. Відношення прямої та розсіяної радіації до сумарної залежить від висоти сонця, хмарності та забруднення атмосфери.

Сумарна радіація, що досягає поверхні Землі, частково відбивається від поверхні і повертається в атмосферу у вигляді відбитої радіації (R). Відношення відбитої частини R до сумарної радіації Q, що досягає поверхні Землі, називається відбивною здатністю або альбедо A земної поверхні.

Частина сонячної радіації, що досягає земної поверхні, відбивається від поверхні, а частина поглинається землею і тому називається поглинутою радіацією (тобто різницею між сумарною і відбитою радіацією) [13].

1.2. Поняття тривалості сонячного сяйва

Тривалість сонячного сяйва є важливою характеристикою режиму сонячної радіації, з одного боку, і режиму хмарності, з іншого. Тривалість сонячного сяйва виражається в місячних або річних годинах прямого сонячного світла, що досягає земної поверхні. Тривалість сонячного сяйва є дуже важливим фактором у визначенні клімату регіону.

Вона залежить від тривалості дня і хмарності. Тривалість дня визначається географічною широтою і порою року. Щільні хмари повністю захищають землю від прямих сонячних променів. Тривалість сонячного сяйва може бути виражена або як кількість годин, або як відсоток від можливої тривалості сонячного сяйва. В останньому випадку чітко видно, що хмарність зменшує кількість годин прямого сонячного світла.

Тривалість сонячного сяйва збільшується від полярних широт до тропіків. В Арктиці відносна кількість сонячних годин не перевищує 25 відсотків від можливої через переважання хмарної погоди. На півночі Європи тривалість світлового дня збільшується до 40%. На півдні Європи пряме сонячне світло становить 50-65% світлового дня. Найдовший сонячний день спостерігається в тропічних пустелях. В Арізоні, наприклад, середньорічна тривалість сонячного сяйва становить 88%, досягаючи 97% у червні. Найдовші відносні години сонячного сяйва – у Східній Антарктиді. У дощовому поясі поблизу екватора вони становлять лише 35%.

Що стосується абсолютної тривалості сонячного сяйва, то в Європі вона коливається від 1000-1200 годин на півночі Шотландії і півночі Євразії до

1843 годин у Києві, 2200 годин у Феодосії та Одесі і 2900 годин у Мадриді. У пустелях кількість годин сонячного саява перевищує 3000 годин.

У гірських регіонах сонячне саяво коротше, ніж на рівнинах, через активну конвекцію на схилах. Особливо це стосується тропічних широт. Взимку високі гірські регіони мають більше сонячних годин, ніж рівнини. У цей період рівень конденсації низький, і шаруваті хмари вкривають нижні гірські пояси. У зв'язку з цим гірські курорти популярні взимку. Більшість днів у Європі взимку немає прямих сонячних променів. У великих промислових районах світловий день може бути на 20 відсотків коротшим через забруднення повітря [5].

Висновки до Розділу 1

Теплове сонячне випромінювання, що досягає Землі, складається переважно з видимого світла та інфрачервоного випромінювання. Частина цього випромінювання поглинається атмосферою. Пряма і розсіяна радіація, які досягають горизонтальної площини, утворюють сумарну радіацію. Частина сонячної радіації відбивається від поверхні, створюючи відбиту радіацію, а інша поглинається.

Тривалість сонячного саява збільшується від полярних широт до тропіків і залежить від хмарності. У середніх широтах кількість сонячних годин зазвичай становить близько 40-65% світлового дня, тоді як у тропіках ця кількість може досягати 88-97%. У дощовому поясі біля екватора вона може бути лише 35%.

У гірських регіонах сонячне саяво може бути коротшим через активну конвекцію на схилах. Промислові райони також можуть мати скорочений світловий день на 20% через забруднення повітря.

Розділ 2. Спостереження за сонячною радіацією та тривалістю сонячного сяйва

У цьому дослідженні були використані дані метеорологічних станцій, включених до Кліматичного кадастру України. Хоча насправді актинометричних станцій набагато більше, лише частина з них зареєстрована в Кліматичному Кадастрі. Це можна пояснити обмеженнями в процесі включення станцій до Кліматичного Кадастру, такими як відсутність відповідного обладнання та методологічних стандартів, а також фінансовими та інфраструктурними обмеженнями. Тому використання даних станцій, включених до Кадастру, залежало від доступності та надійності цих даних для наукових досліджень.

Основною вимогою до раціональної побудови актинометричної мережі є відносна рівномірність розташування метеорологічних станцій по всій території країни.

Місця розташування метеорологічних станцій вибирають за такими умовами:

- місцевість має бути рівною, відкритою і не мати поблизу джерел атмосферного смогу (наприклад, димарів, польових доріг тощо);

- на місці метеорологічних спостережень (далі - "майданчик"), актинометричні прилади встановлюються в місці з природним покриттям на південь від усіх інших приладів та обладнання. Закритість горизонту від місця встановлення актинометричних приладів у напрямку сходу і заходу сонця не повинна перевищувати 5°;

- площа, виділена для актинометричних приладів, повинна бути не менше 8 м x 8 м;

- актинометричні прилади не можна розміщувати поблизу парканів, крутих схилів, нерівних поверхонь землі або світлих стін чи об'єктів, які відбиватимуть сонячне світло на прилад.

2.1. Спостереження за сонячним випромінюванням

Існує три типи програм для точок спостереження за Сонцем:

- строкові спостереження;
- безперервні спостереження (реєстрування);
- визначення сумарного добового випромінювання шляхом інтегрування.

Строкові спостереження передбачають вимірювання ручним способом у встановленні строки за допомогою актинометричних датчиків з приладами, що показують виміряні величини та визначення додаткових характеристик щодо умов спостереження.

За результатами строкових спостережень визначаються значення видів радіації та коефіцієнта прозорості атмосфери за період спостережень та місячні суми значень цих видів випромінювання.

Безперервні спостереження є результатом безперервного (протягом доби) запису сигналів від п'яти актинометричних датчиків на смузі діаграми самописця.

Необхідна також додаткова інформація про тип, тривалість та інтенсивність атмосферних явищ, денний стан підстильної поверхні, тривалість денного сонячного сяйва, денні характеристики прозорості, температуру повітря та швидкість вітру.

За результатами реєстрації визначаються погодинні, добові та місячні суми видів випромінювання, а також коефіцієнт прозорості атмосфери.

Сумарна добова радіація також може бути визначена шляхом інтегрування за допомогою піранометра, підключеного до інтегратора.

Додаткова інформація повинна включати дані про тривалість світлового дня протягом доби, стан субстрату протягом світлового дня і характеристики прозорості протягом дня.

Результати прямих вимірювань зчитуються зі шкали вимірювального приладу (гальванометра або вольтметра), підключеного до актинометричного датчика, і конвертуються у значення випромінювання: миттєве випромінювання в кіловатах на квадратний метр (kВт/м^2) і випромінювання в мегаджоулях на квадратний метр (МДж/м^2). Для цього використовується коефіцієнт перерахунку датчика з вимірювальним приладом або коефіцієнт перерахунку датчика, отриманий під час повірки (залежно від типу вимірювального приладу).

Перерахунок з одиниць, що використовувалися до 1980 року (калорії). Перерахунок в системні одиниці СІ (МДж/м^2) здійснюється за допомогою коефіцієнта перерахунку:

$$1 \text{ кал/см}^2 \text{ хв} = 0,698 \text{ кВт/м}^2;$$

$$1 \text{ кал/см}^2 \text{ хв} = 0,0419 \text{ МДж/м}^2;$$

$$1 \text{ ккал/см}^2 \text{ хв} = 41,9 \text{ МДж/м}^2.$$

2.2. Строки спостереження

Строкові актинометричні спостереження проводяться шість разів на добу в такі години спостережень 00:30, 06:30, 09:30, 12:30 і 15:30 за середнім сонячним часом. Денні спостереження починаються за 30 хвилин до сходу сонця і закінчуються через 30 хвилин після його заходу. Початком часового спостереження вважається перший відлік з актинометричного приладу, а кінцем – останній відлік.

Строкові спостереження включають вимірювання прямої, розсіяної та відбитої сонячної радіації, радіаційного балансу, хмарності, температури

повітря, температури ґрунту, метеорологічної видимості, кольору неба та стану сонячного диска.

Кожен строк спостережень складається з декількох серій вимірювань, кількість яких залежить від умов проведення вимірювань. Кожна серія включає вимірювання, зроблені приладом з інтервалом у 10-15 секунд [4].

2.3. Спостереження за тривалістю сонячного сьйва

Станція з актинометричними спостереженнями також визначає тривалість світлового дня, тобто час, протягом якого світить сонце. Для цього використовують геліографи.

Винятком стала лише станція у Полтаві, через відсутність технічної можливості проведення таких спостережень, для огляду тривалості сонячного сьйва станція у Полтаві була замінена на Веселий Поділ.

У короткі дні, коли сонце перебуває менше дев'яти годин над горизонтом, стрічку змінюють один раз на добу, після заходу сонця. Куля вказує на південь. Якщо тривалість дня становить від 9 до 18 годин, стрічку змінюють двічі на день. При цьому змінюється і положення кулі. Коли стрічка змінюється ввечері, куля дивиться на схід, а коли опівдні - на захід.

Тривалість світлового дня визначається з точністю до 0,1 години за довжиною лінії горіння в кожен часовий інтервал. Потім обчислюють загальну кількість сонячних годин за день, місяць і рік.

Недоліком геліографа є те, що розриви з'являються при інтенсивності випромінювання $150 - 250 \text{ Вт/м}^2$. Прогалини починають з'являтися пізніше сходу Сонця і закінчуються раніше, коли Сонце ще знаходиться над горизонтом. Тому виміряна тривалість сонячного сьйва може бути коротшою за фактичну. У спекотні літні дні, при купчастих хмар, діаметри миттєвих

просвітів на смузі дають перебільшене уявлення про тривалість сонячного сяйва.

Висновки до розділу 2

Існують три типи програм спостережень за Сонцем: строкові, безперервні та інтегрувальні. Строкові спостереження проводяться шість разів на добу з використанням спеціальних датчиків для вимірювання різних параметрів, таких як пряма, розсіяна та відбита сонячна радіація, радіаційний баланс та інші. Безперервні спостереження включають цілодобовий запис сигналів від датчиків. Інтегрувальні програми використовуються для підрахунку сумарного добового випромінювання за допомогою піранометра.

Станції визначають тривалість світлового дня за допомогою геліографів. Вони проводять стрічку змінюваної положення кулі один або два рази на добу, залежно від тривалості дня. Тривалість світлового дня обчислюється точно до 0,1 години за довжиною лінії горіння в кожен часовий інтервал, а потім підраховується загальна кількість сонячних годин за день, місяць і рік. Однак, геліографи можуть давати неточні результати при високій інтенсивності випромінювання, особливо в умовах купчастих хмар.

Розділ 3. Мінливість сонячної радіації та тривалості сонячного сьйва в Україні

Для детального аналізу розподілу сонячної радіації в Україні, вона розглядалася по окремим її складовим, а також допоміжною інформацією - альбедо земної поверхні.

Дані аналізувались як помісячно за кожен рік для визначення загальної тенденції протягом року та її зміни, так і було розділено на три десятиріччя. Також окремо проаналізовано кліматичні середньорічні дані.

3.1. Розподіл сонячної радіації по сезонах

3.1.1. Пряма сонячна радіація на нормальну до променя поверхню

Середньомісячне значення прямої радіації за період 1991 – 2020 рр. наведено на рис. 1 і в табл. 1 (додаток А). Вони показують значні місячні варіації на всіх станціях, які можна пояснити видимим рухом Сонця та місцевими кліматичними умовами.

Як зазначалось раніше, актинометрична мережа спостережень в Україні досить слабо розвинена.

Дані були розділені на класичні періоди, які використовуються в гідрометеорологічній системі: теплий, що являє собою дані з квітня по жовтень, та холодний – з січня по березень та з листопада по грудень.

У теплий період можна простежити максимальні екстремуми значень в різні місяці починаючи з червня в північних районах, до серпня в Карпатах. У центральній та південній частинах України максимумами спостерігаються у липні (рис. 1.б).

Перше, що ми можемо зазначити, згідно з рис. 1.а, значення прямої радіації у березні дуже відрізняється від інших «холодних» місяців і значно їх перевищує. Зростання прямої радіації з півночі на південь помітне в холодний період з мінімальним значенням прямої радіації над Ковелем (41 МДж/м²) та Покошичами (42 МДж/м²) у грудні, і максимальним над Болградом в березні (324 МДж/м²).

Очевидно, що найменші показники, особливо в теплий період, мають гірські та північні райони, а саме Міжгір'я та Ковель. Щодо максимальних показників, то такого чіткого виділення станції, проте видно, що притаманне це південному регіону (додаток А, табл. 1).

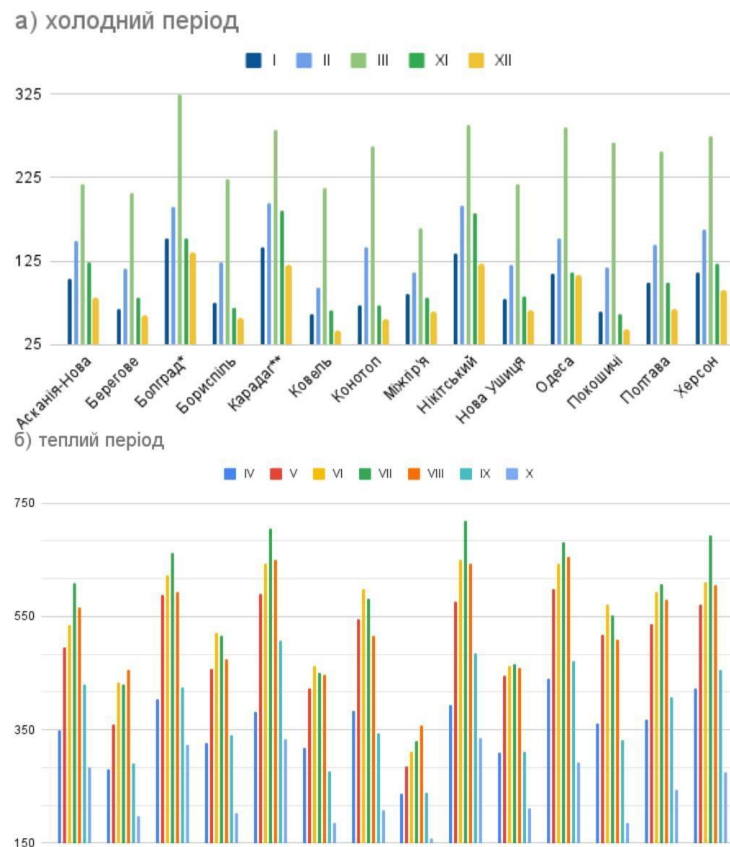


Рисунок 1. Середньомісячні значення прямої радіації (МДж/м²).

1991-2020 рр.

а) холодний період; б) теплий період.

3.1.2. Пряма сонячна радіація на горизонтальну поверхню

Середньомісячне значення прямої радіації на горизонтальну поверхню за період 1991 – 2020 рр. наведено на рис. 2 і в табл. 2 (додаток Б).

З середньомісячного розподілу також спостерігається тенденція до сильного виділення березня у холодному періоді (рис. 2.а). Також без суттєвих змін залишився географічний розподіл максимального екстремуму в теплий період, за винятком Берегове, для якого максимум прямої радіації на горизонтальну поверхню припадає на червень.

У цілому, також простежуються чіткі мінімуми значень переважно в гірському районі (Міжгір'я), максимальні значення також мають чітко виражений географічний район, а саме південь Криму – Нікітський Сад (див. додаток Б).

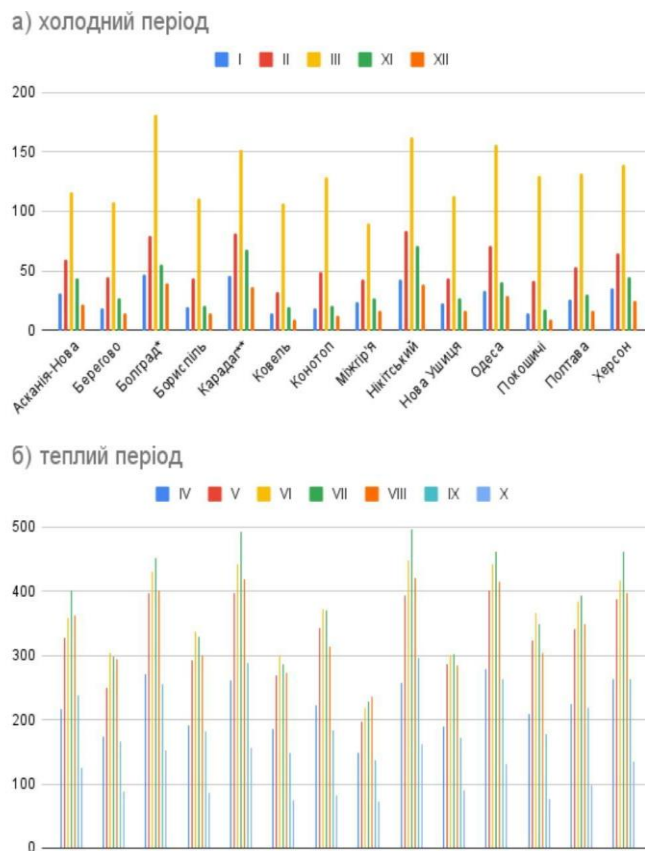


Рисунок 2. Середньомісячні значення прямої радіації на горизонтальну поверхню (МДж/м²). 1991-2020 рр.
а) холодний період; б) теплий період.

3.1.3. Розсіяна сонячна радіація

У частці розподілу розсіяної радіації немає такої значної розбіжності даних по географічному принципу. Протягом року екстремуми спостерігаються в кожній частині України не виділяючи особливо якийсь конкретний регіон (рис. 3, додаток В).

Бачимо також чітке простеження збільшення розсіяної радіації від зими до літа. Це можна пояснити збільшенням тривалості сонячного сйва.

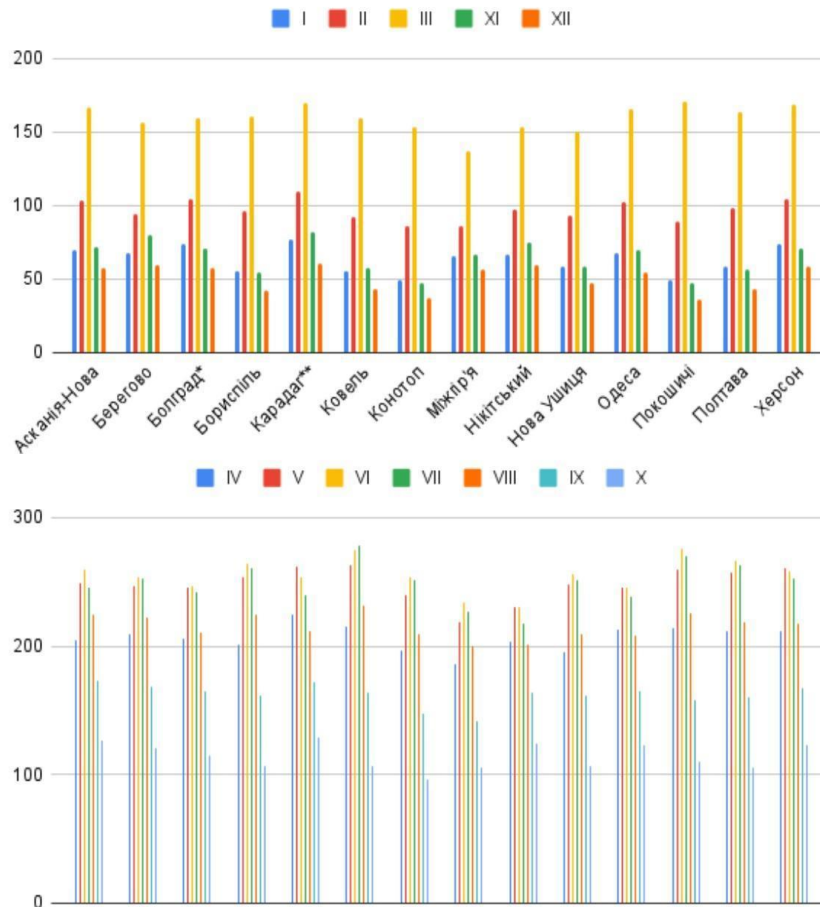


Рисунок 3. Середньомісячні значення розсіяної радіації (МДж/м²).
1991-2020 рр.

а) холодний період; б) теплий період.

3.1.4. Сумарна сонячна радіація

У холодний період значення сумарної радіації змінюється від 43 МДж/м² на півночі (Покошичі) до 337 МДж/м² на півдні (Болград) (додаток Г, рис. 4). Мінімальні значення спостерігаються у грудні та зростають до березня.

Весною змінюється характер хмарності і форми хмар замінюються з зимових шаруватих форм на літні купчасті. За рахунок зменшення хмарності на південь, зростає сумарна радіація.

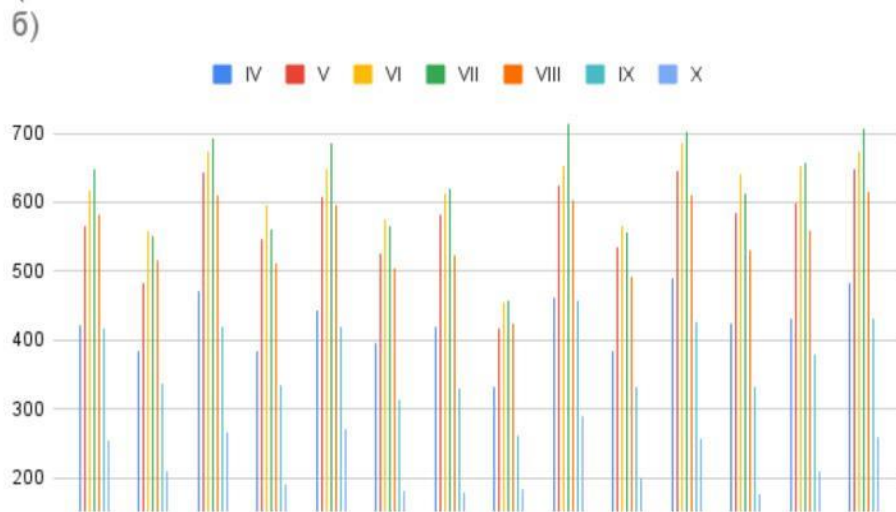
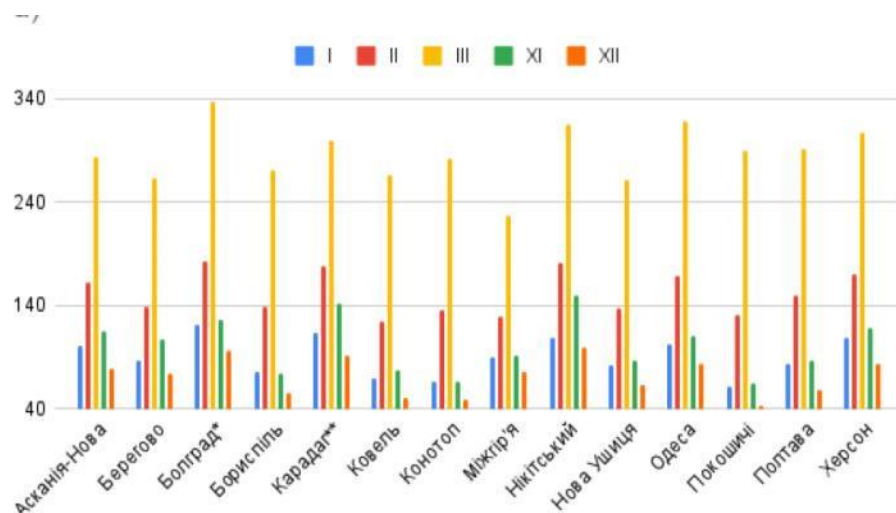


Рисунок 4. Середньомісячні значення сумарної радіації (МДж/м²).
1991-2020 рр.

а) холодний період; б) теплий період

3.1.5. Радіаційний баланс

Найперше, важливо зазначити, що спостереження у Новій Ушиці балансоміром перестали проводити з вересня 2002 року, що ще більше ускладнює порівняння та визначення розподілу радіаційного балансу.

Можна простежити, що на півдні України від’ємні значення радіаційного балансу спостерігаються тільки грудні. У холодний період по всій території України на березень припадає вже додатні значення балансу (рис. 5). Якщо враховувати те, що балансомірні спостереження на Новій Ушиці проводились лише перше десятиріччя, та не брати цей пункт до уваги, бачимо, що найнижчі значення спостерігаються в гірському районі. Далі трохи вищі значення – на півночі.

Мінімальні значення балансу коливаються від -55 МДж/м^2 (з урахуванням Нової Ушиці) або -39 МДж/м^2 (січень, Берегове) до 246 МДж/м^2 (червень, Міжгір’я). Максимальні значення коливаються від -3 МДж/м^2 (грудень, Карадаг) до 395 МДж/м^2 (липень, Нікітський Сад) (додаток Г, табл. 5).

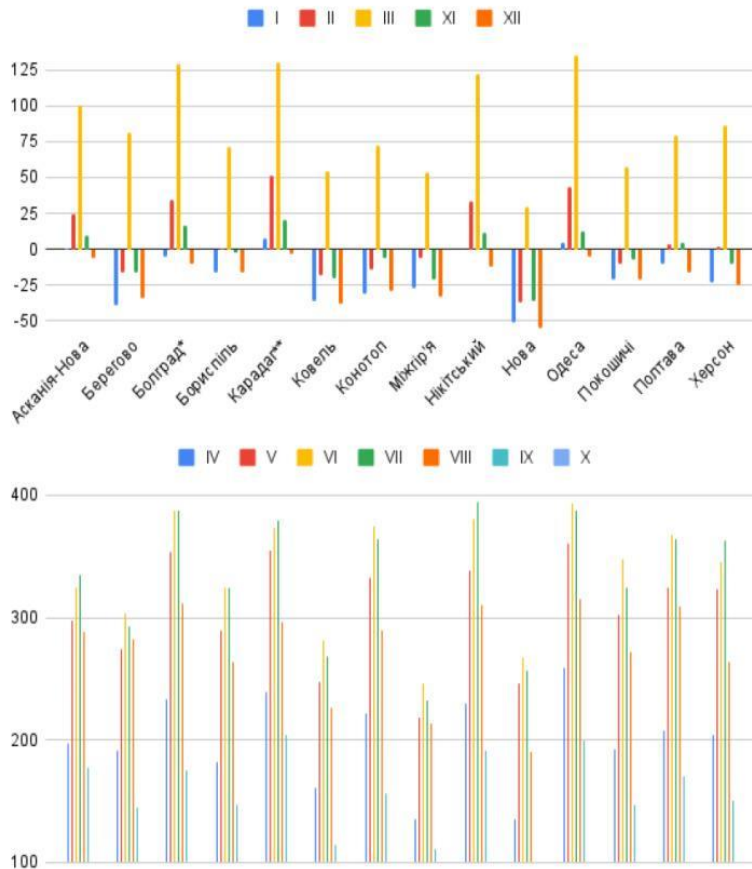


Рисунок 5. Середньомісячні значення радіаційного балансу (МДж/м²).
1991-2020 рр.
а) холодний період; б) теплий період

3.1.6. Альbedo підстильної поверхні

Як відомо, альbedo снігу більше ніж рослинного покриву. Звідси і пояснення того, що в холодний період альbedo значно вище і може досягати 70% (Покошичі). Також зрозумілим є географічний розподіл екстремумів альbedo, що також значно залежить від кількості та характеру атмосферних опадів, які випадають.

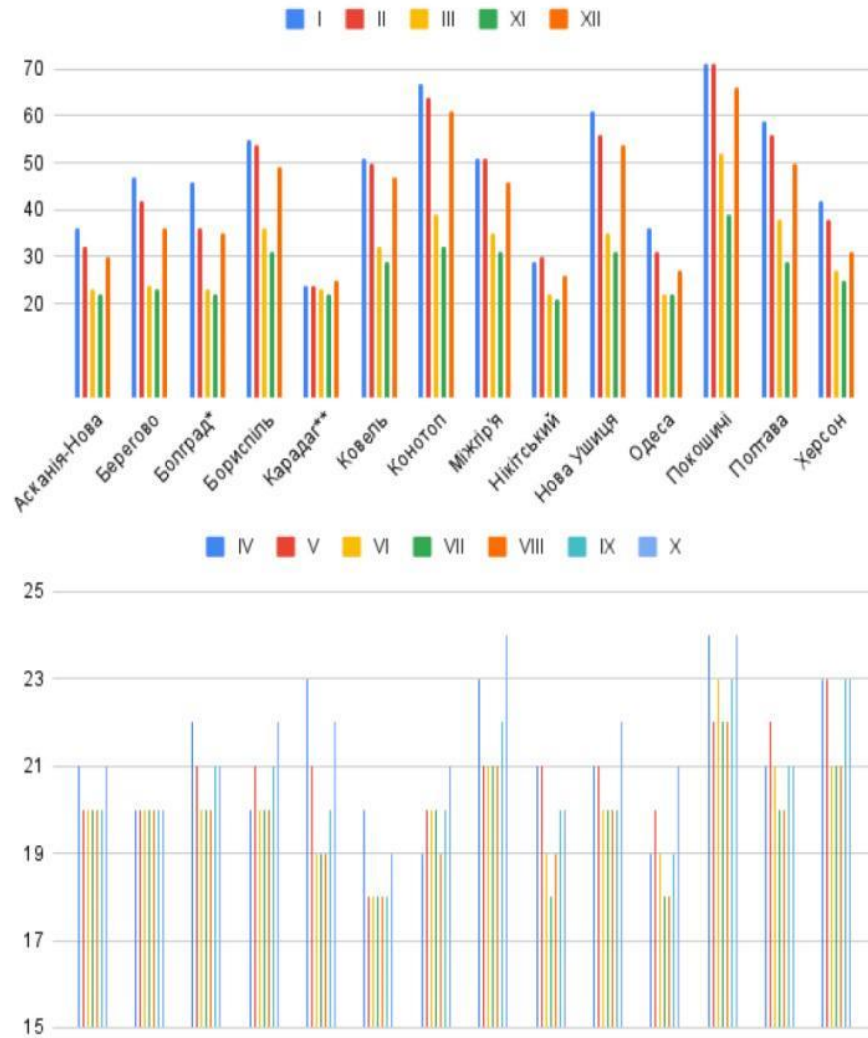


Рисунок 6. Середньомісячні значення альбедо поверхні (%).

1991-2020 рр.

а) холодний період; б) теплий період

3.2. Мінливість сонячної радіації за десятирічними періодами

Також можна зазначити, що протягом тридцяти років хід прямої радіації змінився. Зокрема в останнє десятиріччя пряма сонячна радіація підвищилась на всіх пунктах спостережень, правда дещо з певними особливостями на кожній. Так наприклад, у гірському районі (Берегове та Міжгір'я) видно, що пряма радіація в червні та липні в період 2011 – 2020 рр. має менші значення, ніж в попередні роки. Також в часовому розподілі у більшості районів змістились максимальні значення радіації. На півдні та центрі України протягом останнього періоду значення набули більш рівномірного та плавного характеру з чітко виділеним максимальним значенням (рис. 7).

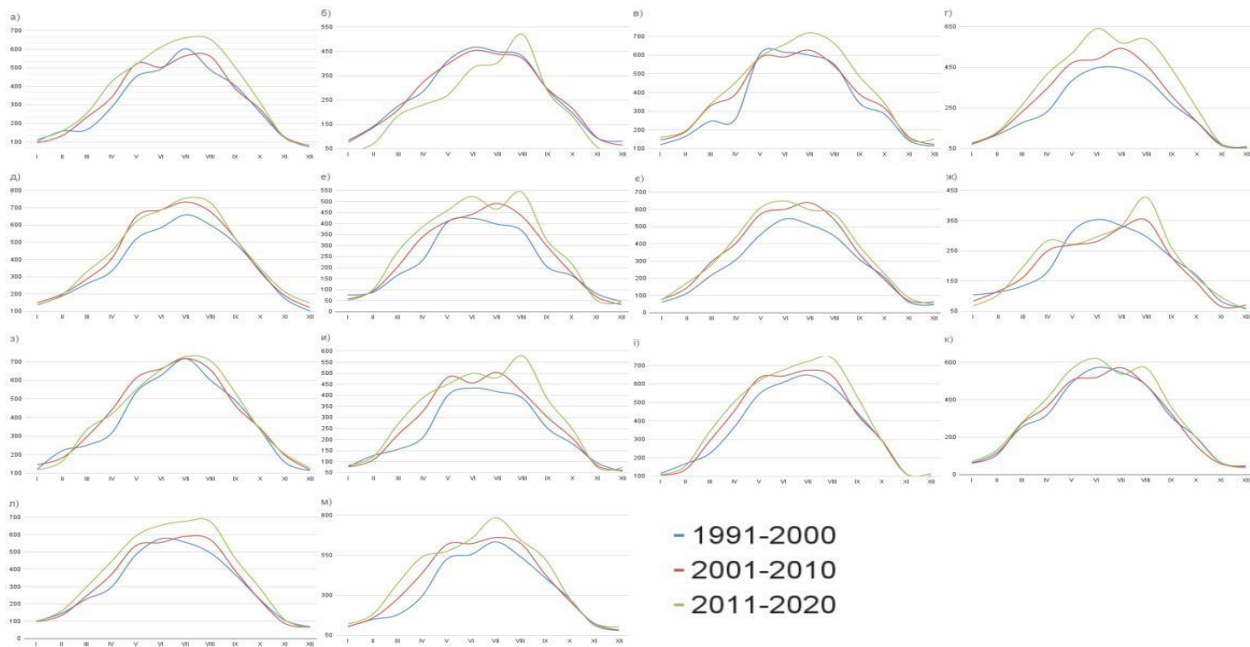


Рисунок 7. Середньомісячні значення прямої радіації (МДж/м²) по десятиріччях.

- а) Асканія-Нова; б) Берегове; в) Болград; г) Бориспіль;
д) Карадаг; е) Ковель; є) Конотоп; ж) Міжгір'я;
з) Нікітський Сад; и) Нова Ушиця; і) Одеса;
к) Покошичі; л) Полтава; м) Херсон

В останнє десятиріччя пряма сонячна радіація на горизонтальну поверхню підвищилась на всіх пунктах спостережень, правда дещо з певними особливостями на кожній. Розподіл цієї складової сонячної енергії не сильно відрізняється від розподілу прямої сонячної радіації на нормальну до променя поверхню, за винятком Болграда, де дуже виділяється перший період причиною чого є значна відсутність даних за цей період (рис. 8).

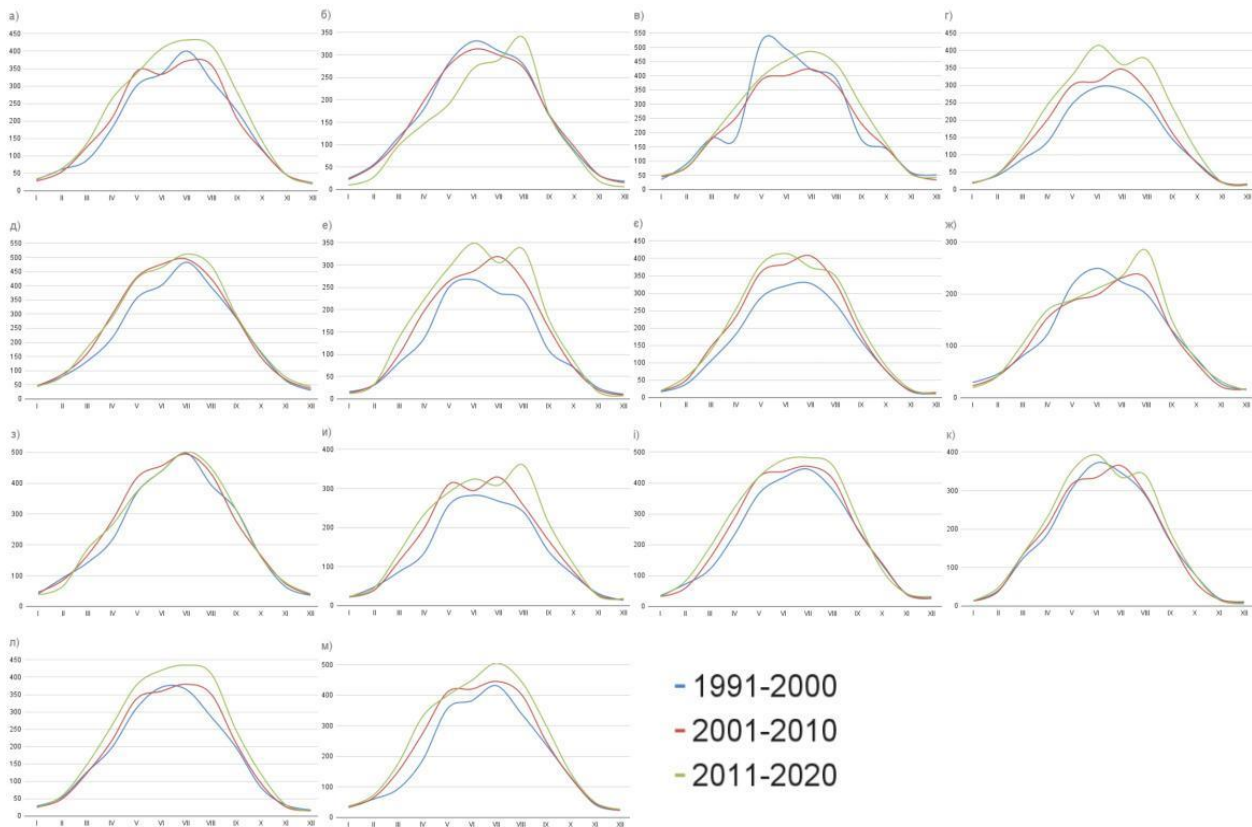


Рисунок 8. Середньомісячні значення прямої радіації на горизонтальну поверхню (МДж/м²) по десятиріччях.

- а) Асканія-Нова; б) Берегове; в) Болград; г) Бориспіль; д) Карадаг; е) Ковель; є) Конотоп; ж) Міжгір'я; з) Нікітський Сад; и) Нова Ушиця; і) Одеса; к) Покошичі; л) Полтава; м) Херсон

Щодо значень розсіяної радіації, то можна сказати, що її графік більш прямий, у порівнянні з графіками прямої радіації. Можемо спостерігати зниження розсіяної радіації на таких пунктах спостережень як Асканія-Нова, Болград, Одеса та Полтава.

У Карадазі, Нікітському Саді, Полтаві та Херсоні в останнє десятиріччя почали простежуватись додаткові максимуми значень розсіяної радіації. Для цих пунктів, крім Полтави, головні максимуми припадають на травень, а додаткові - на липень. Для Полтави навпаки, головний максимум - липень, додатковий - травень.

У цілому, для інших пунктів спостережень хід розсіяної радіації залишається схожим з минулими періодами, з невеликими відмінностями в певні місяці (рис. 9).

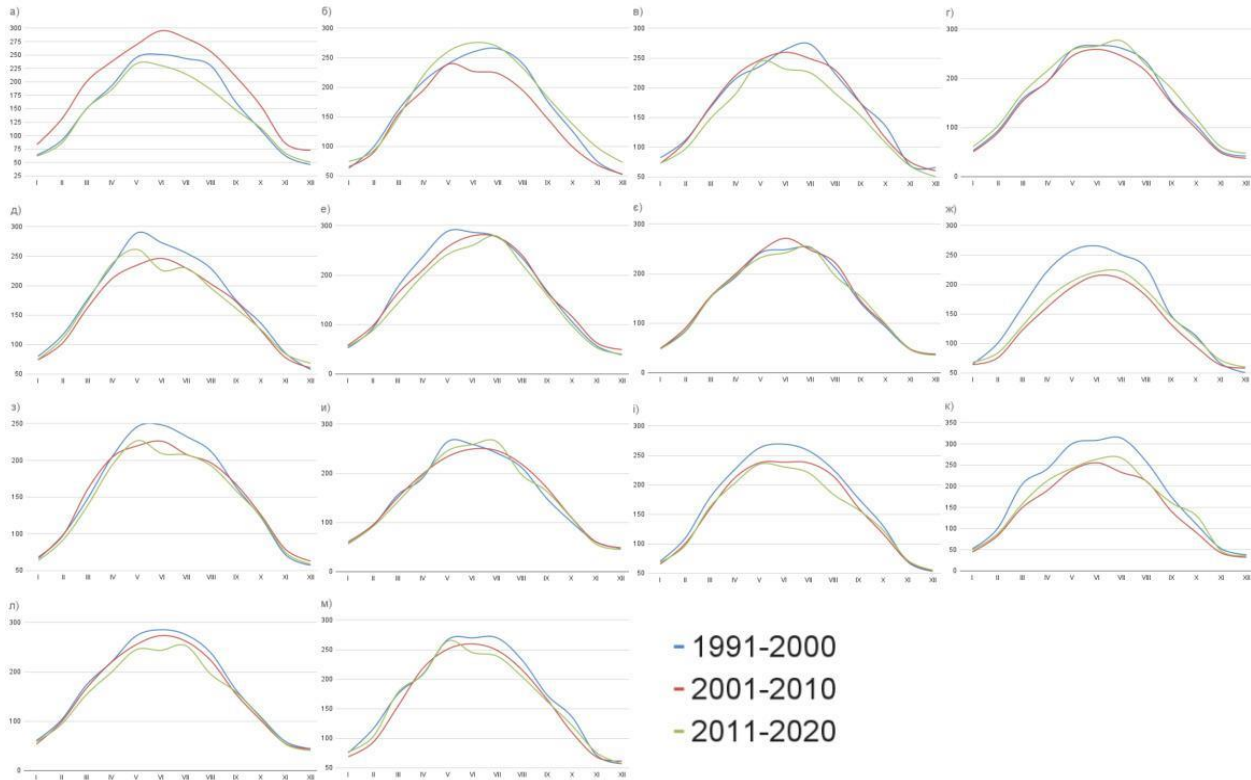


Рисунок 9. Середньомісячні значення розсіяної радіації (МДж/м²) по десятиріччях.

- а) Асканія-Нова; б) Берегове; в) Болград; г) Бориспіль; д) Карадаг; е) Ковель;
 є) Конотоп; ж) Міжгір'я; з) Нікітський Сад; и) Нова Ушиця; і) Одеса;
 к) Покошичі; л) Полтава; м) Херсон

Також можна зазначити, що протягом тридцяти років хід сумарної радіації змінився. Також в часовому розподілі у більшості районів змістились максимальні значення радіації у бік серпня. Зокрема, у гірському районі (Берегове, Міжгір'я) та в Новій Ушиці. У Борисполі почав простежуватись другий максимум значень (головний - у червні, додатковий - у серпні). На півдні та центрі України протягом останнього періоду значення набули більш рівномірного та плавного характеру з чітко виділеним максимальним значенням (рис. 10).

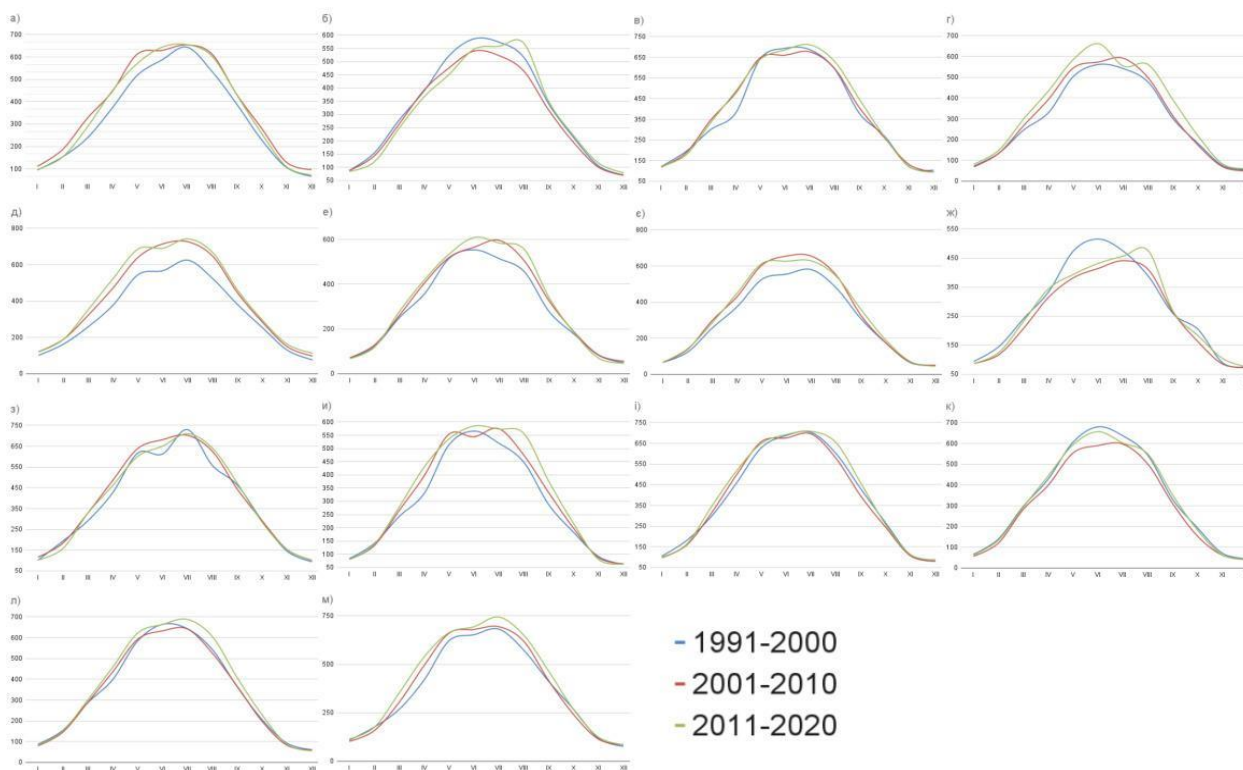


Рисунок 10. Середньомісячні значення сумарної радіації (МДж/м²) по десятиріччях.

- а) Асканія-Нова; б) Берегове; в) Болград; г) Бориспіль; д) Карадаг; е) Ковель;
 є) Конотоп; ж) Міжгір'я; з) Никітський Сад; и) Нова Ушиця; і) Одеса;
 к) Покошичі; л) Полтава; м) Херсон

Зміни відбулися також і в ході радіаційного балансу. Важливо зазначити, що відсутні графіки зі станції Нова Ушиця, адже через технічні питання спостереження за даною характеристикою там припинились та їх порівняння не були б показовими.

Майже на всіх станціях, за винятком Никітського Саду, протягом останніх десяти років значення радіаційного балансу залишились схожими з попередніми десятима роками, або ж зросли. Значне зростання значень радіаційного балансу можна простежити у Борисполі протягом усіх місяців

та в Берегове - в серпні, що стало максимальним значенням протягом усіх тридцяти років. Проте на більшості станціях значення радіаційного балансу все одно залишаються вищими у перше десятиріччя, зокрема в Болграді, Міжгір'ї, Нікітському Саду, Одесі, Покошичах, Полтаві та Херсоні.

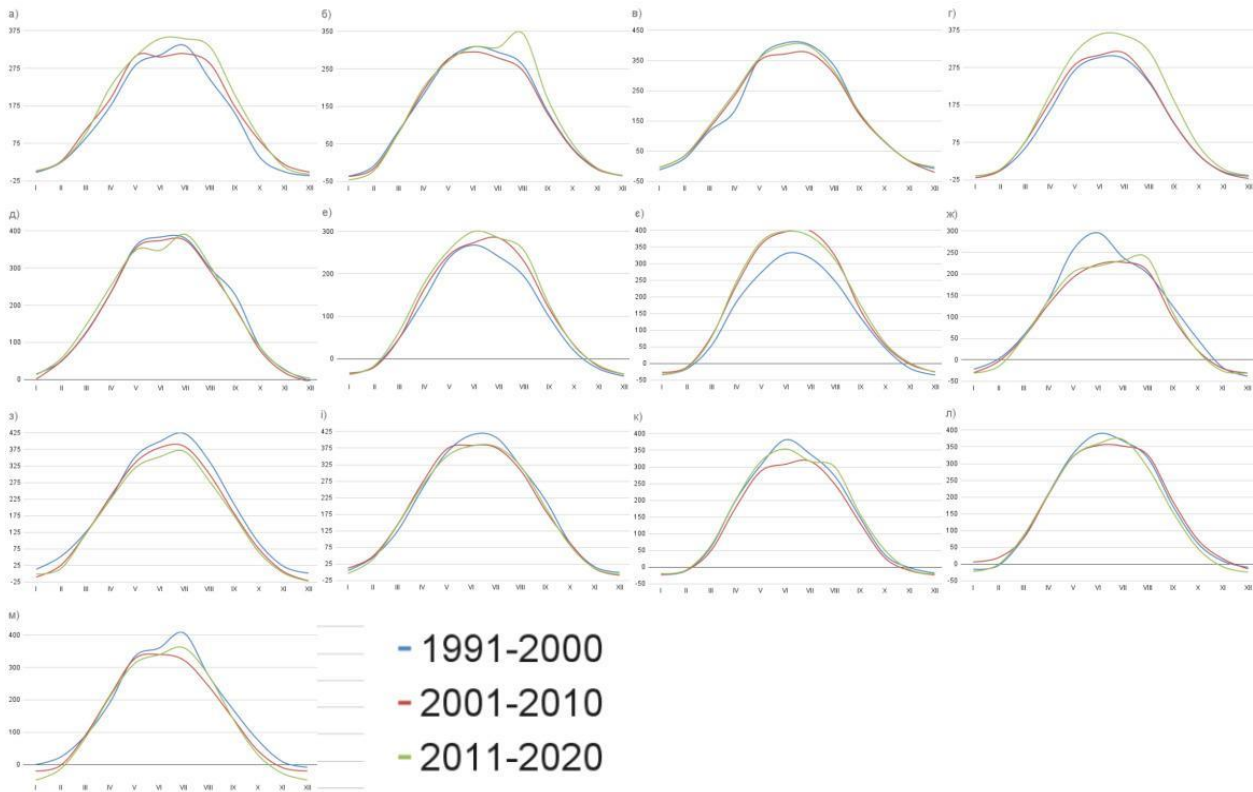


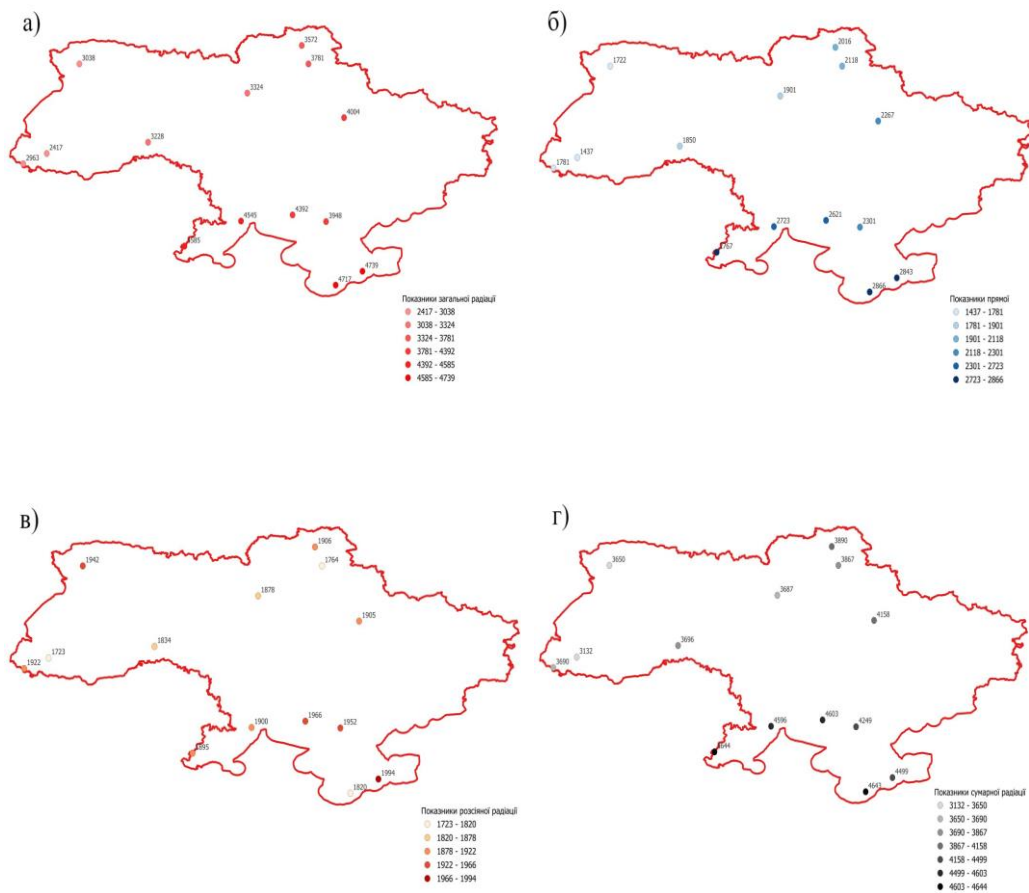
Рисунок 11. Середньомісячні значення радіаційного балансу ($\text{МДж}/\text{м}^2$) по десятиріччях.

- а) Асканія-Нова; б) Берегове; в) Болград; г) Бориспіль; д) Карадаг; е) Ковель;
 є) Конотоп; ж) Міжгір'я; з) Нікітський Сад; і) Одеса;
 к) Покошичі; л) Полтава; м) Херсон

3.3. Розподіл сонячної радіації за кліматичним середньорічним значенням

Для кращого представлення та візуалізації результатів були підготовлені картосхеми за середньорічні кліматичні (рис. 12).

У цілому, значення географічного розподілу сонячної радіації не відрізняється від їх розподілу по місяцях. Найбільші значення сонячної радіації має південний регіон України, який має більш м'який клімат, це такі пункти спостереження як Карадаг, Болград, Одеса, Херсон, найменший – Міжгір'я.



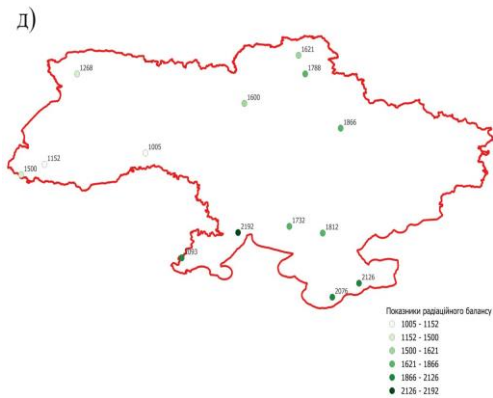


Рисунок 12. Кліматичні середньорічні значення радіації (МДж/м²). 1991-2020 рр.

а) прямої; б) прямої на горизонтальну поверхню; в) розсіяної; г) сумарної; д) радіаційного балансу.

Висновки до розділу 3

Пряма сонячна радіація зросла на всіх пунктах спостережень, хоча в гірських районах її значення влітку 2011–2020 рр. були нижчими, ніж у попередні роки.

На півдні та в центрі України розподіл сонячної радіації став більш рівномірним з чітко вираженими максимумами.

Розсіяна радіація знизилась на деяких пунктах, але з'явилися додаткові максимуми в інших регіонах.

Сумарна радіація змінилась, з максимальними значеннями, що змістились у бік серпня, особливо в гірських районах.

Радіаційний баланс на більшості станцій залишився стабільним або зріс.

Найбільші значення сонячної радіації спостерігаються на півдні України, найменші – в гірських районах.

Розділ 4. Тривалість сонячного сйва в Україні

4.1. Розподіл тривалості сонячного сйва по сезонах

Можна зазначити, що спостерігається поступовий ріст тривалості сонячного сйва до червня місяця, що пов'язано з об'єктивними причинами змін природних сезонів, коли від лютого місяця з 66 годин тривалість збільшується до 348 годин в Одесі (в червні) (рис. 13).

У грудні відмічається річний мінімум тривалості сонячного сйва, а в січні та лютому – зростання через збільшення висоти Сонця та зменшення хмарності.

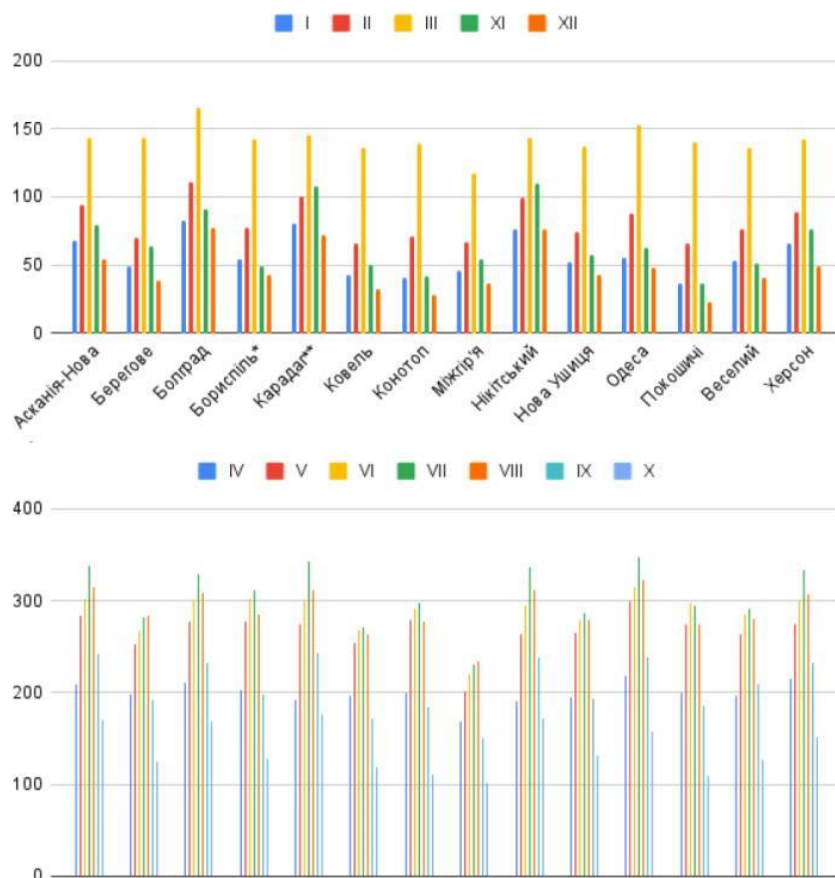


Рисунок 13. Середньомісячні значення тривалості сонячного сйва (год).

1991-2020 рр.

а) холодний період; б) теплий період

4.2. Розподіл тривалості сонячного сяйва за десятирічними періодами

У часовому розподілі у більшості районів протягом останніх десяти років змістились максимальні значення радіації у бік серпня. У більшості станцій в травні значення більші в попередній період (рис. 14).

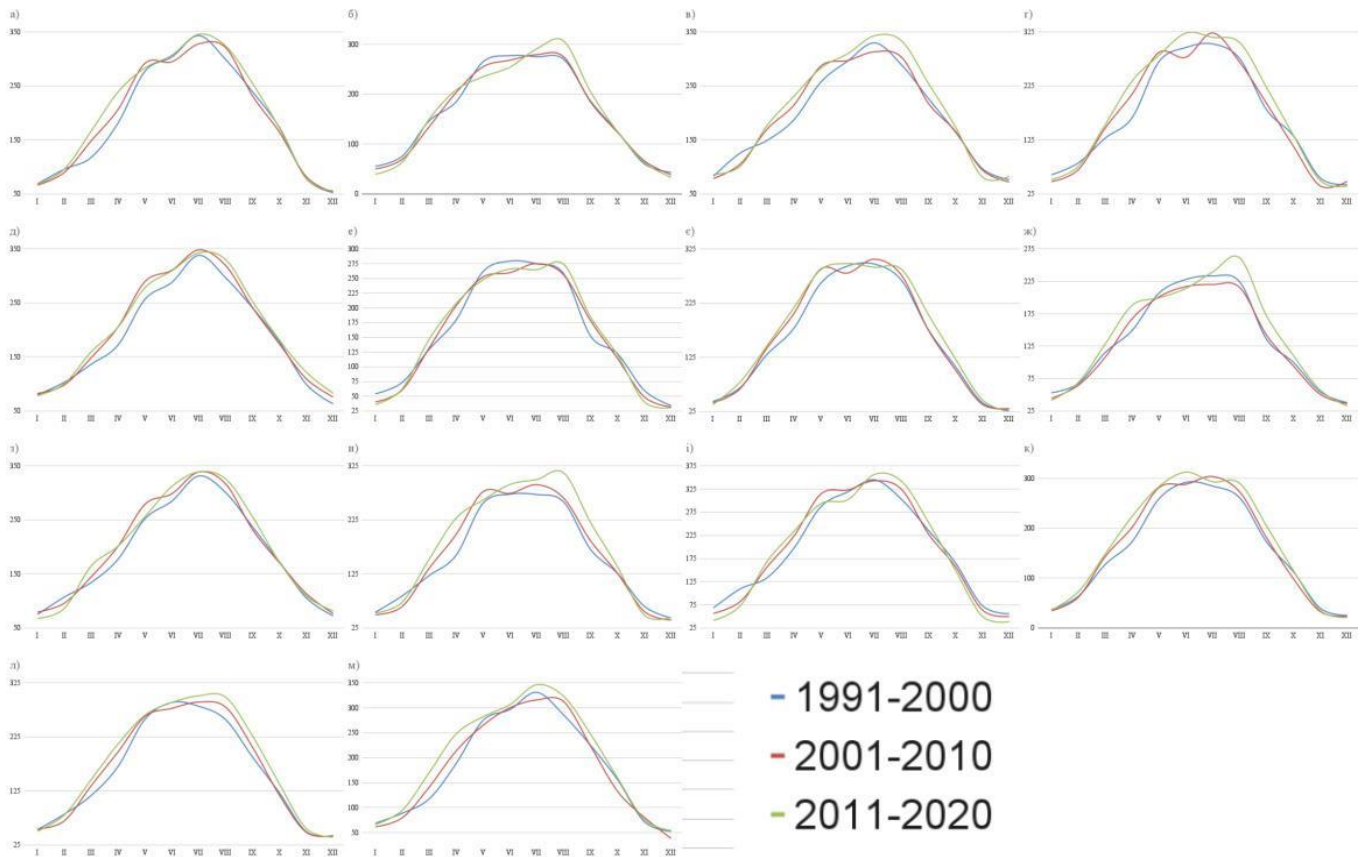


Рисунок 14. Середньомісячні значення тривалості сонячного сяйва (год) по періодах.

- а) Асканія-Нова; б) Берегове; в) Болград; г) Бориспіль; д) Карадаг; е) Ковель;
є) Конотоп; ж) Міжгір'я; з) Нікітський Сад; и) Нова Ушиця; і) Одеса;
к) Покошичі; л) Полтава; м) Херсон

4.3. Розподіл тривалості сонячного сйва за кліматичним середньорічним значенням

Для кращого представлення та візуалізації результатів були підготовлені картосхеми за середньорічний кліматичний період 1991 - 2020 рр.

При визначенні значення географічного розподілу найбільші значення тривалості сонячного сйва має південний регіон України, зокрема це такі пункти спостереження як Болград (2356 год) та Нікітський Сад (2350 год), найменший – Міжгір'я (127 год) (рис. 15).

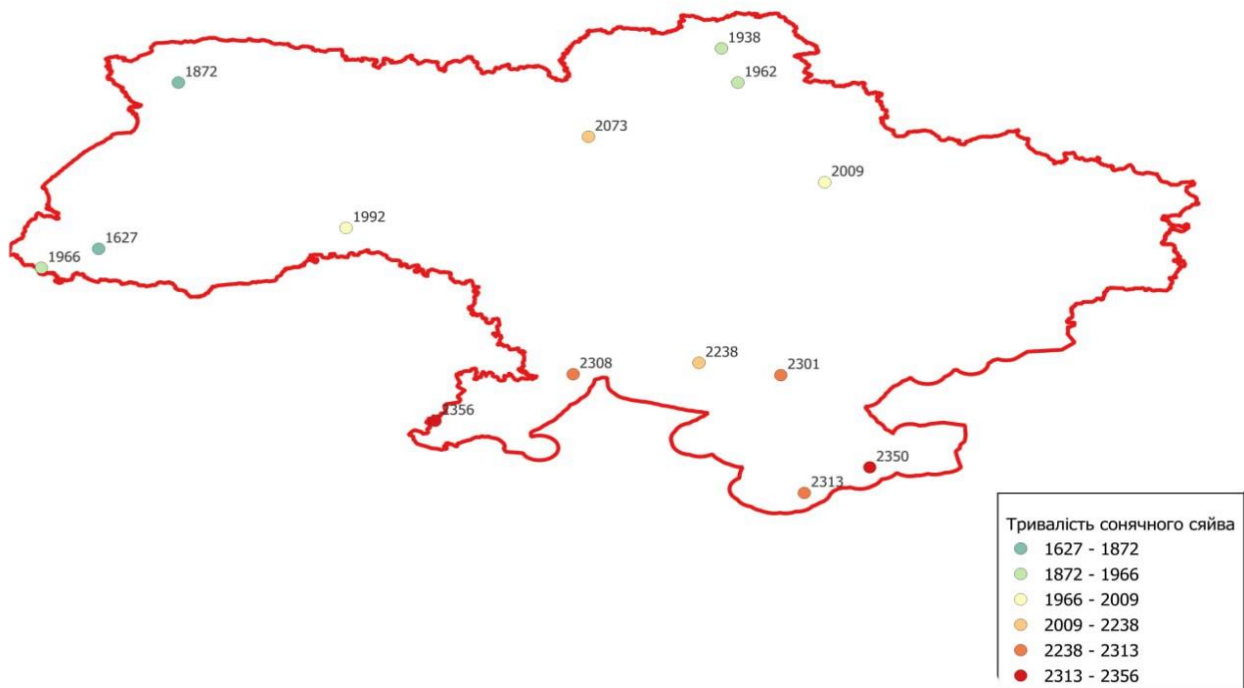


Рисунок 15. Кліматичні середньорічні значення тривалості сонячного сйва (год). 1991-2020 рр.

Висновки до розділу 4

Протягом року спостерігається поступове збільшення тривалості сонячного сяйва до червня, коли, наприклад, в Одесі вона зростає з 66 годин у лютому до 348 годин у червні. У грудні тривалість сонячного сяйва досягає річного мінімуму, але в січні та лютому вона збільшується через зростання висоти Сонця та зменшення хмарності.

Протягом останніх десяти років максимальні значення радіації у багатьох районах змістились на серпень. У травні на більшості станцій значення були більшими в попередній період.

Найбільша тривалість сонячного сяйва спостерігається у південному регіоні України, зокрема в Болграді (2356 год) та Нікітському Саду (2350 год), найменша – в Міжгір'ї (127 год).

Розділ 5. Статистичний зв'язок між тривалістю сонячного сяйва та характеристиками сонячної радіації

5.1. Зв'язки між тривалістю сонячного сяйва та видами радіації для південного регіону

Для південного регіону чітко виділяється сильні взаємозв'язки тривалості сонячного сяйва з прямою радіацією та прямою на горизонтальну поверхню. Взагалі не простежуються сильні зв'язки між тривалістю сонячного сяйва та розсіяною радіацією, та лише два випадки таких зв'язків з радіаційним балансом (у квітні в Карадазі та у травні в Нікітському Саду).

Найбільш сильні статистичні зв'язки спостерігаються у Болграді, особливо в лютому, коли коефіцієнт детермінації (R^2) для прямої радіації на горизонтальну поверхню досягає 0,95. Це свідчить про те, що в цьому місяці зв'язок між тривалістю сонячного сяйва та прямою радіацією на горизонтальну поверхню є найбільш виразним у порівнянні з іншими місяцями (рис. 16).

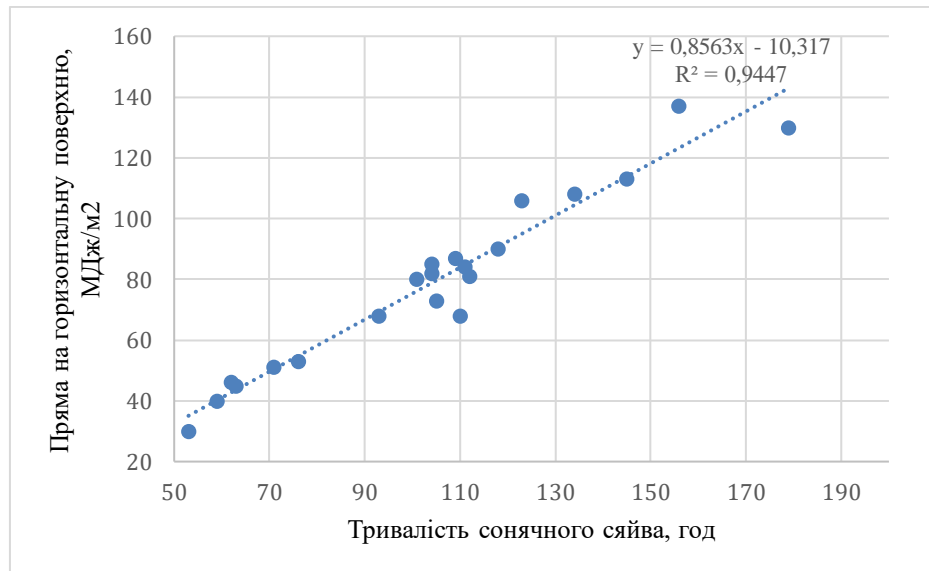


Рисунок 16. Зв'язок тривалості сонячного сяйва та прямої радіації на горизонтальну поверхню. Болград, лютий.

Також слід відзначити Херсон, де виявлено сильні зв'язки у грудні та лютому. Ці місяці видаються особливо важливими з погляду взаємозв'язку між тривалістю сонячного сьйва та прямою радіацією.

У Карадазі зв'язки з прямою та прямою на горизонтальну поверхню радіаціями є у більшій мірі сильними. Винятком став липень, де статистичний зв'язок між тривалістю сонячного сьйва та прямою радіацією виявився слабким.

Нікітський Сад відзначається сильними статистичними зв'язками у більшості місяцях. Проте такж спостерігається слабкий зв'язок у листопаді.

Одеса виявляє сильні зв'язки весною та восени. Це може бути пов'язано зі змінами в погоді та сонячної активності, які відбуваються у цей період.

Асканія Нова демонструє сильні зв'язки у січні, квітні, листопаді та грудні з прямою радіацією. Ці місяці можуть бути ключовими для зрозуміння взаємодії між сонячною активністю та радіаційним балансом (табл. 8)

Таблиця 8.

Значення коефіцієнтів детермінації (R^2) та лінійного тренду (a)

для станцій південного регіону помісячно.

Червоний колір – зв'язок не значущий;

помаранчевий – помірний; зелений – статистично значущий.

Станція	Місяць	S		S'		D		Q		B	
		a	R ²	a	R ²	a	R ²	a	R ²	a	R ²
Асканія-Нова	I	1.5129	0.8	0.4581	0.7	0.0076	0.6	0.4922	0.4	-0.083	0.6
	II	1.6775	0.6	0.6616	0.6	-0.0964	0.6	0.5678	0.1	0.0025	0.6
	III	1.6788	0.7	0.8732	0.7	0.0881	0.6	0.9558	0.1	0.2908	0.2
	IV	2.3347	0.8	1.3942	0.8	-0.0859	0.6	1.3127	0.6	0.7846	0.6
	V	3.3395	0.8	2.1241	0.7	-0.3216	0.1	2.1651	0.4	0.9617	0.1
	VI	3.078	0.6	2.1252	0.6	-0.7073	0.1	1.4215	0.1	0.8475	0.1
	VII	3.3687	0.5	2.2465	0.5	-0.7445	0.1	1.5024	0.2	0.6315	0.1
	VIII	3.7132	0.6	2.3507	0.6	-0.9803	0.1	1.4061	0.1	1.2384	0.1
	IX	3.105	0.7	1.7651	0.7	-0.1635	0.6	1.5571	0.4	0.6782	0.2
	X	2.2408	0.7	1.0556	0.6	-0.0712	0.6	0.9494	0.4	0.328	0.1
	XI	1.9389	0.9	0.6417	0.8	0.1155	0.6	0.7564	0.5	-0.2375	0.1
	XII	1.6689	0.9	0.4398	0.9	0.356	0.1	0.7996	0.5	-0.1111	0.1
Одеса	I	1.4946	0.7	0.4562	0.7	0.1114	0.1	0.5667	0.5	0.2108	0.1
	II	1.4395	0.7	0.3722	0.2	0.0872	0.6	0.7087	0.7	0.1852	0.1
	III	2.1735	0.8	1.1695	0.7	-0.0175	0.6	1.1201	0.9	0.5452	0.1
	IV	2.8229	0.9	1.6929	0.9	-0.168	0.1	1.5255	0.9	0.6655	0.6
	V	2.723	0.8	1.7437	0.8	-0.2378	0.1	1.5852	0.8	0.8692	0.7
	VI	2.6516	0.7	1.6591	0.6	-0.3963	0.1	1.3954	0.6	0.7944	0.6
	VII	3.0104	0.7	1.9847	0.7	-0.594	0.4	1.4305	0.6	0.2016	0.6
	VIII	2.9206	0.9	1.668	0.7	-0.468	0.3	1.7704	0.4	0.3235	0.1
	IX	2.4582	0.8	1.2393	0.6	-0.1608	0.1	1.1227	0.5	0.4032	0.2
	X	2.2705	0.8	0.9476	0.5	-0.2049	0.1	0.8187	0.4	0.2032	0.1
	XI	1.4319	0.7	0.5118	0.7	0.1345	0.1	0.6614	0.5	0.0831	0.1
	XII	1.9298	0.7	0.5531	0.7	0.1432	0.1	0.6943	0.6	0.0043	0.6
Болград	I	1.993	0.9	0.6384	0.9	0.0049	0.6	0.6289	0.7	0.0764	0.6
	II	2.1358	0.9	0.8563	0.9	0.248	0.1	1.1354	0.8	0.2621	0.1
	III	1.9926	0.9	1.0839	0.9	0.0313	0.6	1.2429	0.7	0.5799	0.7
	IV	2.7325	0.8	1.6951	0.8	-0.0346	0.6	1.7009	0.8	0.836	0.7
	V	2.5574	0.8	1.541	0.7	-0.3833	0.1	1.4093	0.8	0.6079	0.4
	VI	2.4793	0.8	1.6788	0.8	-0.1612	0.6	1.5513	0.7	0.7748	0.5
	VII	2.9614	0.8	1.9231	0.8	-0.4357	0.1	1.4377	0.7	0.508	0.1
	VIII	3.5062	0.8	2.226	0.8	-0.7097	0.5	1.4776	0.7	0.6499	0.1
	IX	2.7188	0.9	1.6906	0.9	-0.3003	0.1	1.3635	0.9	0.4093	0.4
	X	2.1531	0.8	0.9426	0.9	0.0264	0.6	0.9538	0.7	0.0759	0.6
	XI	1.502	0.7	0.4963	0.7	0.175	0.1	0.682	0.7	-0.0951	0.1
	XII	2.1832	0.9	0.6064	0.8	0.0277	0.6	0.6559	0.7	0.0713	0.6
Карадаг	I	2.156	0.9	0.6346	0.8	0.0016	0.6	0.3561	0.1	-0.1148	0.6
	II	1.9764	0.9	0.8484	0.8	0.2139	0.1	0.7297	0.2	0.2425	0.1
	III	1.8697	0.8	1.2157	0.8	0.1516	0.6	0.4892	0.6	0.4216	0.2
	IV	2.2942	0.7	1.7402	0.8	-0.0446	0.6	1.4493	0.1	0.6868	0.8
	V	3.0803	1.0	2.037	1.0	-0.4843	0.5	2.6814	0.5	0.628	0.6
	VI	3.4423	0.8	2.3003	0.8	-0.7212	0.4	1.7837	0.1	0.1129	0.6
	VII	2.0995	0.1	1.8545	0.7	-0.6241	0.4	0.0684	0.6	0.0013	0.6
	VIII	3.022	0.9	1.8896	0.7	-0.5832	0.5	2.1974	0.1	0.0278	0.6
	IX	2.7948	0.9	1.6089	0.7	-0.3075	0.4	-0.0335	0.6	0.3179	0.6
	X	1.8441	0.8	0.8588	0.5	0.0443	0.6	0.5749	0.1	-0.1289	0.1
	XI	1.8068	0.7	0.683	0.6	0.0025	0.6	0.6849	0.2	0.0994	0.6
	XII	2.0898	0.8	0.5893	0.8	0.137	0.1	0.808	0.4	-0.191	0.1
Нікитський Сад	I	2.0274	0.9	0.6285	0.8	0.2297	0.1	0.9274	0.7	-0.1263	0.6
	II	2.0992	0.6	1.052	0.9	0.1713	0.1	1.2065	0.8	0.2464	0.1
	III	2.0676	0.7	1.2468	0.7	-0.0821	0.6	1.1713	0.6	0.2386	0.1
	IV	2.747	0.9	1.7379	0.9	-0.1524	0.1	1.5679	0.8	0.7396	0.6
	V	2.9566	0.9	1.9978	0.9	-0.2685	0.1	1.727	0.9	0.9273	0.8
	VI	2.6687	0.8	1.7737	0.8	-0.5585	0.4	2.2966	0.1	0.3514	0.1
	VII	3.5987	0.7	2.513	0.7	-0.2547	0.1	2.2616	0.7	1.1606	0.1
	VIII	2.5387	0.8	1.6081	0.7	-0.3924	0.5	1.8093	0.6	-0.5433	0.1
	IX	2.6974	0.8	1.9993	0.8	-0.2405	0.1	1.7578	0.8	0.3173	0.1
	X	2.3706	0.8	1.047	0.7	0.1409	0.1	1.2394	0.9	0.2594	0.2
	XI	1.2388	0.1	0.7509	0.6	0.0176	0.6	0.7492	0.7	0.1469	0.6
	XII	1.7449	0.6	0.6243	0.7	0.2502	0.1	0.872	0.7	-0.5264	0.1
Херсон	I	1.4162	0.7	0.4421	0.7	0.4526	0.1	0.8909	0.6	-0.0689	0.6
	II	1.9254	0.8	0.7583	0.8	0.2606	0.1	1.0156	0.7	0.0837	0.6
	III	1.6839	0.1	1.1738	0.8	0.206	0.1	0.374	0.8	0.1196	0.6
	IV	3.0575	0.8	1.7257	0.7	0.0402	0.6	1.5916	0.6	0.5075	0.1
	V	2.695	0.7	1.8796	0.7	-0.336	0.1	0.5563	0.8	0.6546	0.4
	VI	3.0469	0.7	2.1388	0.8	-0.7528	0.4	1.3863	0.6	0.3659	0.1
	VII	3.5102	0.6	2.3943	0.7	-0.4293	0.1	1.814	0.1	-0.3584	0.6
	VIII	1.5022	0.1	1.93	0.8	-0.5052	0.1	1.4295	0.8	0.1021	0.6
	IX	2.2484	0.8	1.3744	0.8	-0.0404	0.6	1.335	0.8	0.3646	0.6
	X	0.9114	0.1	1.0693	0.8	-0.1661	0.6	0.8798	0.6	0.1296	0.6
	XI	1.837	0.7	0.6384	0.8	0.0187	0.6	0.8536	0.7	-0.0505	0.6
	XII	1.7531	0.9	0.4998	0.9	0.2242	0.1	0.6303	0.1	-0.2036	0.6

5.2. Зв'язки між тривалістю сонячного сяйва та видами радіації для регіону Карпат

Пряма та пряма на горизонтальну поверхню радіації показують найвищі статистичні зв'язки для обох станцій, Берегове та Міжгір'я. У Береговому коефіцієнт детермінації (R^2) для прямої (S) та прямої на горизонтальну поверхню (S') радіації коливається від 0,4 до 0,8 протягом року. Наприклад, у січні значення R^2 для обох показників становить 0,6, у березні зростає до 0,7, а в серпні досягає максимуму в 0,8. У Міжгір'ї значення R^2 для S та S' також високі і варіюють від 0,6 до 0,8. У січні значення для обох показників становить 0,8, у травні — 0,8, а у вересні знижується до 0,7.

Статистичний зв'язок для розсіяної радіації (D) значно слабша в обох станціях. У Береговому значення R^2 для D коливаються від 0,0 до 0,2, причому в лютому воно дорівнює 0,0, тобто взаємозв'язку між тривалістю сонячного сяйва та розсіяною радіацією взагалі немає. У Міжгір'ї значення R^2 для D також низькі, зазвичай не перевищують 0,2. Наприклад, у січні значення R^2 складає 0,2, а у квітні — лише 0,1.

Статистичний зв'язок для сумарної (Q), у Береговому варіює від 0,3 до 0,8. У травні значення R^2 для Q становить 0,5, а у вересні підвищується до 0,8. У Міжгір'ї статистичний зв'язок для Q коливається від 0,2 до 0,8. Наприклад, у січні значення R^2 становить 0,8, а у вересні — лише 0,4.

Для радіаційного балансу (B), значення R^2 у Береговому коливаються від 0,0 до 0,8. У травні значення становить 0,8, а у грудні — лише 0,2. У Міжгір'ї значення R^2 для B коливаються від 0,0 до 0,7. Наприклад, у травні значення становить 0,6, а у грудні — лише 0,4 (табл. 9).

Таблиця 9.

Значення коефіцієнтів детермінації (R^2) та лінійного тренду (a)

для станцій регіону Карпат помісячно.

Червоний колір – зв'язок не значущий;

помаранчевий – помірний; зелений – статистично значущий.

станція	Місяць	S		S'		D		Q		B	
		a	R^2	a	R^2	a	R^2	a	R^2	a	R^2
Берегове	I	1,6392	0,6	0,5136	0,6	-0,1885	0,1	0,3203	0,3	-0,1069	0,0
	II	2,2969	0,6	0,8798	0,6	0,0665	0,0	0,9429	0,6	0,0196	0,0
	III	1,7953	0,7	0,9342	0,7	0,0555	0,0	0,9933	0,7	0,5708	0,7
	IV	1,6942	0,5	0,0406	0,5	-0,0016	0,0	0,0386	0,6	0,7493	0,7
	V	2,5803	0,7	1,5969	0,7	-0,3162	0,2	1,1786	0,5	0,8122	0,8
	VI					0,0673	0,0	1,1859	0,4	0,6543	0,3
	VII	1,725	0,5	1,1829	0,5	0,0753	0,0	1,2593	0,5	0,8653	0,6
	VIII	2,3784	0,8	1,4966	0,8	-0,1458	0,0	1,3527	0,7	1,0595	0,6
	IX	1,8512	0,7	0,486	0,7	0,1394	0,1	1,2055	0,8	0,7012	0,7
	X	2,0704	0,4	0,9155	0,4	-0,0997	0,0	0,8162	0,5	0,162	0,2
	XI	1,6382	0,6	0,5522	0,5	0,0005	0,0	0,5532	0,4	-0,1106	0,1
	XII	1,5707	0,4	0,421	0,6	-0,0002	0,0	0,4424	0,3	-0,2286	0,2
станція	Місяць	S		S'		D		Q		B	
		a	R^2	a	R^2	a	R^2	a	R^2	a	R^2
Міжгір'я	I	2,1116	0,8	0,5981	0,8	0,1463	0,2	0,7572	0,8	-0,4535	0,1
	II	2,1692	0,7	0,8579	0,8	0,3156	0,2	1,1697	0,6	0,0378	0,0
	III	1,4821	0,6	0,7858	0,7	0,1976	0,1	0,9831	0,6	0,3119	0,3
	IV	2,3966	0,7	1,3853	0,8	-0,1077	0,1	1,3448	0,7	0,7208	0,6
	V	1,9742	0,8	1,3855	0,8	0,1651	0,0	1,5521	0,7	0,8846	0,6
	VI	2,7813	0,7	1,8977	0,7	0,2333	0,1	2,1131	0,7	1,3988	0,3
	VII	2,164	0,7	1,4762	0,7	0,3331	0,2	1,812	0,8	1,0209	0,7
	VIII	2,2888	0,6	1,5873	0,6	-0,0918	0,0	1,6661	0,5	0,9554	0,5
	IX	2,0148	0,7	1,2193	0,7	0,1878	0,2	1,3273	0,4	0,5815	0,3
	X	2,2032	0,8	0,0148	0,8	0,1393	0,1	1,2504	0,7	0,1597	0,0
	XI	1,7528	0,4	0,5885	0,4	0,1859	0,1	0,585	0,3	-0,4185	0,3
	XII	1,8885	0,7	0,5116	0,7	0,1862	0,1	0,4546	0,2	-0,59574	0,4

5.3. Зв'язки між тривалістю сонячного сяйва та видами радіації для північного регіону

Для станції Бориспіль найвищі статистичні зв'язки спостерігаються для прямої (S). Значення коефіцієнта детермінації (R^2) для S варіюються від 0,3 до 0,8 протягом року. Наприклад, у січні R^2 для S = 0,7, у березні це значення підвищується до 0,7, а у вересні досягає 0,8. Тобто ми бачимо, що наявні навіть слабкі статистичні зв'язки. Для S' значення R^2 помірні, а лютому –

слабкі, і коливаються від 0,3 до 0,8. У січні R^2 для $S' = 0,7$, у квітні це значення досягає 0,7, а у грудні складає 0,7.

У Ковелі статистичний зв'язок для S більш високий і варіює від 0,4 до 0,9. У січні значення R^2 для $S = 0,5$, у квітні воно зростає до 0,8, а у жовтні досягає 0,9. Для прямої на горизонтальну поверхню (S') значення R^2 коливаються від 0,5 до 0,9. У січні R^2 для $S' = 0,7$, у вересні — 0,8, а у жовтні — 0,9.

У Конотопі значення R^2 для S варіюють від 0,6 до 0,9. У січні R^2 для $S = 0,9$, у квітні — 0,9, а у вересні — 0,9. Тобто лише протягом трьох місяців (лютий, червень, липень) зв'язок помірний. Для прямої радіації на горизонтальну поверхню (S') значення R^2 також високі і коливаються від 0,3 до 0,9. У січні R^2 для $S' = 0,9$, у травні — 0,8, а у вересні — 0,9. Слабкий зв'язок (0,3) спостерігається лише в червні.

У Покошичах значення R^2 для S коливаються від 0,7 до 0,9 протягом року. У січні R^2 для $S = 0,8$, у травні — 0,8, а у листопаді — 0,9. Для прямої радіації на горизонталь (S') значення R^2 також високі і варіюють від 0,7 до 0,9. У січні R^2 для $S' = 0,8$, у травні — 0,8, а у листопаді — 0,9.

Статистичний зв'язок для розсіяної радіації значно слабша в усіх станціях. У Борисполі значення R^2 для D коливаються від 0,0 до 0,4. Наприклад, у січні значення R^2 для $D = 0,0$, а у травні — 0,4.

У Ковелі значення R^2 для D також низькі, зазвичай не перевищують 0,1. У Конотопі значення R^2 для D варіюють від 0,0 до 0,3. У Покошичах значення R^2 не перевищують 0,4. Тобто ми можемо сказати, що статистичний зв'язок між тривалістю сонячного сяйва та розсіяною радіацією відсутній.

Статистичний зв'язок для сумарної радіації (Q) в Борисполі варіює від 0,1 до 0,5. Наприклад, у січні значення R^2 для $Q = 0,2$, у травні — 0,3, а у грудні — 0,5.

У Ковелі значення R^2 для Q коливаються від 0,1 до 0,8. Наприклад, у січні значення R^2 для $Q = 0,2$, а у жовтні — 0,8. У Конотопі значення R^2 для Q варіюють від 0,2 до 0,9. Наприклад, у січні значення R^2 для $Q = 0,5$, а у вересні — 0,9. У Покошичах значення R^2 для Q коливаються від 0,2 до 0,7. Наприклад, у січні значення R^2 для $Q = 0,5$, а у грудні — 0,7.

Статистичний зв'язок для радіаційного балансу (B) в Борисполі варіює від 0,1 до 0,5. Наприклад, у січні значення R^2 для $B = 0,2$, у травні — 0,1, а у грудні — 0,5. У Ковелі значення R^2 для B коливаються від 0,0 до 0,6. Наприклад, у січні значення R^2 для $B = 0,0$, а у вересні — 0,5. У Конотопі значення R^2 для B варіюють від 0,0 до 0,7. Наприклад, у січні значення R^2 для $B = 0,4$, а у вересні — 0,6. У Покошичах значення R^2 для B коливаються від 0,0 до 0,6. Наприклад, у січні значення R^2 для $B = 0,1$, а у вересні — 0,6 (табл. 10).

Таблиця 10.

Значення коефіцієнтів детермінації (R^2) та лінійного тренду (а) для станцій північного регіону помісячно.

Червоний колір – зв'язок не значущий;
помаранчевий – помірний; зелений – статистично значущий.

станція	Місяць	S		S'		D		Q		B	
		a	R ²	a	R ²	a	R ²	a	R ²	a	R ²
Бориспіль	I	1,4659	0,7	0,3833	0,7	-0,0532	0,0	0,3374	0,2	-0,351x	0,2
	II	1,3227	0,3	0,4284	0,3	-0,0521	0,0	0,3694	0,1	-0,3296	0,1
	III	1,8064	0,7	0,8855	0,6	0,0049	0,0	0,8667	0,3	0,3187	0,1
	IV	2,2878	0,8	1,297	0,7	0,3272	0,1	1,3026	0,5	0,9078	0,2
	V	2,7314	0,7	1,7146	0,7	-0,6773	0,4	1,0356	0,3	0,3982	0,1
	VI	3,1527	0,5	2,0129	0,5	-0,1766	0,0	1,6339	0,3	0,9078	0,2
	VII	3,0851	0,7	2,0082	0,7	0,0052	0,0	1,5324	0,2	1,1665	0,3
	VIII	2,8839	0,6	2,0008	0,6	0,2471	0,0	2,7362	0,4	1,3843	0,4
	IX	2,7374	0,8	1,4648	0,7	0,2754	0,1	1,6596	0,5	-0,2206	0,3
	X	2,0235	0,8	0,8224	0,7	0,1201	0,0	1,0161	0,4	0,2542	0,2
	XI	1,7292	0,8	0,495	0,8	0,2318	0,1	0,7323	0,5	-0,2206	0,3
	XII	1,4704	0,7	0,4872	0,7	0,1964	0,1	0,5474	0,5	-0,4775	0,5
Ковель	I	1,6182	0,5	0,3871	0,7	-0,0391	0,0	0,3555	0,2	-0,1001	0,0
	II	1,4668	0,4	0,551	0,5	-0,1156	0,0	0,4321	0,1	0,137	0,0
	III	2,0702	0,7	1,0708	0,7	-0,0164	0,0	1,1152	0,5	0,516	0,3
	IV	2,9453	0,8	1,7032	0,8	-0,3027	0,1	1,4461	0,7	0,633	0,6
	V	2,43	0,7	1,7225	0,7	-0,3466	0,1	1,4872	0,7	0,611	0,5
	VI	2,3781	0,4	1,5203	0,4	0,1345	0,0	1,6537	0,5	0,6914	0,3
	VII	2,2036	0,5	1,4916	0,6	0,0238	0,0	1,5184	0,6	0,6828	0,4
	VIII	3,1261	0,5	1,9252	0,5	-0,3787	0,1	1,5475	0,4	0,7054	0,2
	IX	2,0928	0,8	1,1081	0,8	0,0161	0,0	1,1264	0,8	0,3714	0,5
	X	2,2492	0,9	0,8891	0,9	0,0706	0,0	0,9599	0,8	0,1575	0,2
	XI	1,5783	0,8	0,4646	0,8	0,0863	0,1	0,5439	0,6	-0,1576	0,2
	XII	1,4628	0,7	0,3679	0,5	0,173	0,1	0,5048	0,5	-0,3561	0,4
Конотоп	I	1,9517	0,9	0,5201	0,9	0,1107	0,0	0,5948	0,5	-0,4261	0,4
	II	2,6118	0,7	0,8657	0,7	-0,0549	0,0	0,8071	0,4	-0,1855	0,0
	III	2,3017	0,8	1,136	0,8	-0,1077	0,1	1,0235	0,6	0,5379	0,2
	IV	2,6186	0,9	1,4629	0,8	0,0399	0,0	1,5015	0,8	0,9906	0,7
	V	3,0185	0,9	1,8806	0,8	-0,0801	0,0	1,7958	0,8	1,2474	0,6
	VI	2,7458	0,6	1,5382	0,3	-0,3175	0,2	1,8644	0,2	0,9742	0,3
	VII	2,2676	0,6	1,476	0,6	-0,46	0,3	1,0169	0,4	0,3958	0,1
	VIII	3,2302	0,8	2,044	0,8	0,2668	0,1	1,7738	0,7	1,1434	0,5
	IX	2,2577	0,9	1,2023	0,9	0,1101	0,1	1,3166	0,9	0,6083	0,6
	X	2,2619	0,9	0,9448	0,8	-0,035	0,0	0,8994	0,8	0,2049	0,3
	XI	1,8432	0,9	0,5251	0,9	0,064	0,0	0,5915	0,7	-0,3066	0,3
	XII	1,8568	0,9	0,4378	0,9	0,1941	0,3	0,6302	0,8	-0,3683	0,3
Покошичі	I	1,7119	0,8	0,3975	0,8	0,1681	0,1	0,5625	0,5	-0,1702	0,1
	II	2,1336	0,7	0,773	0,7	0,0954	0,0	0,8694	0,4	0,8694	0,4
	III	2,196	0,8	1,0889	0,8	-0,2254	0,0	0,8497	0,2	0,4786	0,1
	IV	2,12	0,7	1,1685	0,7	-0,1059	0,0	1,0584	0,4	0,5776	0,4
	V	2,5774	0,8	1,6302	0,8	-0,2074	0,0	1,4228	0,5	0,942	0,5
	VI	2,7698	0,7	1,7988	0,7	-0,425	0,1	1,3749	0,3	0,7839	0,2
	VII	2,7852	0,8	1,7847	0,8	-0,2788	0,0	1,5542	0,5	0,9644	0,5
	VIII	2,8964	0,8	1,7234	0,7	-0,0227	0,0	1,6924	0,6	1,1642	0,6
	IX	1,9652	0,7	1,0503	0,6	0,0145	0,0	1,013	0,4	0,4621	0,1
	X	2,4908	0,8	1,0138	0,8	0,8911	0,3	1,0978	0,7	0,472	0,6
	XI	1,9175	0,9	0,5767	0,9	0,3002	0,2	0,8276	0,6	-0,1515	0,0
	XII	1,9611	0,8	0,5331	0,7	0,4704	0,4	0,85	0,7	0,1155	0,0

5.4. Зв'язки між тривалістю сонячного сьйва та видами радіації для центрального регіону

У Новій Ушиці пряма радіація (S) має високий рівень взаємозв'язку протягом року, зі значеннями коефіцієнта детермінації (R^2) від 0,5 до 0,9. Наприклад, у січні R^2 для S становить 0,8, а в квітні і вересні досягає 0,9, що свідчить про високий рівень кореляції в ці місяці. Пряма радіація на горизонтальну поверхню (S') також демонструє високий рівень кореляції зі значеннями R^2 від 0,4 до 0,9, зокрема в січні та грудні, де R^2 дорівнює 0,8, а в квітні і вересні — 0,9.

Розсіяна радіація (D) в Новій Ушиці має низький рівень кореляції, зазвичай не перевищуючи 0,2. У січні R^2 для D дорівнює 0,0, а в березні піднімається до 0,2. Сумарна радіація (Q), має значення R^2 від 0,0 до 0,9. У січні R^2 для Q становить 0,5, а у вересні досягає 0,9, що вказує на високу кореляцію у вересні. Радіаційний баланс (B), варіює від 0,0 до 0,8, зі значенням R^2 у січні 0,0, а в грудні — 0,8, що свідчить про сильний зв'язок в цей місяць.

У Полтаві/Веселому Подолі пряма радіація (S) має значення R^2 від 0,5 до 0,9 протягом року. У січні та грудні R^2 для S становить 0,8, а в жовтні — 0,9. Пряма на горизонтальну поверхню (S') коливається від 0,5 до 0,8, зокрема в січні та лютому, де R^2 дорівнює 0,8, а в жовтні — 0,5.

Розсіяна радіація (D) у Полтаві/Веселому Подолі також має низький рівень зв'язку, зі значеннями R^2 від 0,0 до 0,4. У січні R^2 для D дорівнює 0,1, а в травні піднімається до 0,4. Сумарна радіація (Q), має значення R^2 від 0,1 до 0,7. У січні R^2 для Q становить 0,7, а в жовтні — 0,7. Радіаційний баланс (B), варіює від 0,0 до 0,8, з найвищим значенням R^2 у січні 0,8, а в березні — 0,3, що вказує на середній рівень кореляції в березні (табл. 11).

Таблиця 11.

Значення коефіцієнтів детермінації (R^2) та лінійного тренду (a) для станцій центрального регіону помісячно.

Червоний колір – зв'язок не значущий;
помаранчевий – помірний; зелений – статистично значущий.

станція	Місяць	S		S'		D		Q		B	
		a	R ²	a	R ²	a	R ²	a	R ²	a	R ²
Нова Ушиця	I	1,785	0,8	0,5263	0,8	0,088	0,0	0,6411	0,5	0,0396	0,0
	II	1,1663	0,5	0,3889	0,4	-0,1944	0,0	0,1272	0,0	0,2097	0,0
	III	1,9719	0,7	0,9106	0,7	-0,3629	0,2	0,549	0,3	0,5191	0,1
	IV	2,4221	0,9	1,3653	0,9	0,0272	0,0	1,377	0,8	0,2275	0,1
	V	2,5821	0,7	1,7147	0,7	-0,2338	0,1	1,4898	0,6	0,6369	0,4
	VI	2,8937	0,8	1,8565	0,8	-0,2809	0,1	1,3917	0,4	1,7204	0,6
	VII	2,3181	0,6	1,471	0,6	0,2023	0,0	1,5391	0,6	0,6498	0,4
	VIII	2,719	0,8	1,7064	0,8	-0,0106	0,0	1,7038	0,7	1,1098	0,5
	IX	2,4303	0,9	1,3622	0,9	-0,0237	0,0	1,3923	0,9	0,576	0,6
	X	2,1445	0,8	0,9192	0,8	0,1044	0,1	1,0319	0,7	-0,0922	0,0
	XI	1,7201	0,8	0,5626	0,7	0,1166	0,1	0,6877	0,7	-0,5603	0,6
	XII	1,759	0,9	0,4542	0,9	0,171	0,2	0,6242	0,7	-0,8751	0,8
станція	Місяць	S		S'		D		Q		B	
		a	R ²	a	R ²	a	R ²	a	R ²	a	R ²
Полтава/ Веселий Поділ	I	2,3198	0,8	0,6314	0,8	0,2088	0,1	0,8234	0,7	0,3812	0,8
	II	1,8181	0,8	0,6735	0,8	-0,0326	0,0	0,6614	0,5	0,3812	0,3
	III	2,0886	0,8	0,9186	0,6	-0,0989	0,0	0,9385	0,6	0,4508	0,3
	IV	2,2579	0,7	1,1907	0,5	-0,1813	0,1	1,1031	0,7	0,4743	0,2
	V	2,6587	0,8	1,6992	0,8	-0,3384	0,4	1,3714	0,7	0,7208	0,4
	VI	2,7232	0,5	1,7482	0,5	-0,29	0,1	1,4659	0,6	0,6894	0,2
	VII	2,488	0,6	1,5509	0,6	-0,1555	0,0	1,4197	0,6	0,4969	0,3
	VIII	2,5614	0,7	1,5308	0,5	-0,3883	0,3	1,0252	0,1	-0,3039	0,0
	IX	1,9037	0,6	1,0183	0,6	-0,0481	0,0	0,9559	0,6	0,1323	0,2
	X	2,6302	0,9	0,8238	0,5	-0,1206	0,1	0,9655	0,7	0,224	0,1
	XI	1,849	0,7	0,5715	0,7	0,1913	0,2	0,7266	0,6	0,1311	0,0
	XII	1,7076	0,9	0,3884	0,8	0,1003	0,1	0,4997	0,7	-0,3493	0,1

Висновки до розділу 5

У південному регіоні спостерігаються сильні зв'язки між тривалістю сонячного сяйва та прямою радіацією, як в Болграді, Херсоні, Асканії Новій та Нікітському Саду, так і в Одесі та Карадазі. Пряма та пряма на горизонтальну поверхню радіації високо корелюють зі значеннями R^2 від 0,4 до 0,9 у Береговому та Міжгір'ї. Проте статистичний зв'язок для розсіяної

радіації є слабшою, а статистичний зв'язок для сумарної радіації та радіаційного балансу варіюється від 0,0 до 0,9. На метеостанції Нова Ушиця високий рівень зв'язку простежується для прямої та прямої на горизонтальну радіації, у той час як розсіяна радіація має низький рівень значущості. У Полтаві/Веселому Подолі також спостерігаються сильні зв'язки для прямої радіації, проте розсіяна радіація показує слабший зв'язок. Сумарна радіація та радіаційний баланс також варіюються у різні місяці, показуючи різні рівні значущості протягом року.

ВИСНОВКИ

При дослідженні було виявлено такі основні тези:

- пряма сонячна радіація: найвищі значення спостерігаються влітку, зазвичай з червня по серпень; найнижчі значення спостерігаються взимку, зазвичай з грудня по лютий. Наприклад, у Болграді максимальне значення прямої сонячної радіації (324 МДж/м^2) спостерігається в серпні, а мінімальне (152 МДж/м^2) – у грудні;
- пряма радіація в горизонтальній площині: Як і у випадку з прямою радіацією, найвищі значення спостерігаються влітку, а найнижчі – взимку. Наприклад, в Одесі максимальне значення (279 МДж/м^2) спостерігається в червні, а мінімальне (156 МДж/м^2) – у січні;
- розсіяна радіація: розсіяна радіація є більш стабільною, але може зростати влітку, коли інтенсивність сонячного світла збільшується. Наприклад, у Берегові значення розсіяної радіації в липні (254 МДж/м^2) трохи вище, ніж у грудні (209 МДж/м^2);
- тривалість сонячного саява: сонячне саяво найдовше влітку і найкоротше взимку. Наприклад, сонячне саяво в Асканії-Нова найдовше в червні (339 годин) і найкоротше в грудні (144 години).

Щодо середньорічного розподілу клімату, то тенденція до географічного розмежування залишається без змін. Для усієї радіації та тривалості сонячного саява характерні максимальні значення на півдні (Карадаг, Болград, Одеса, Херсон), тоді як у Міжгір'ї вона є найнижчою через гірський рельєф і високу хмарність. У південному регіоні спостерігаються сильні статистичні зв'язки між тривалістю сонячного саява та прямою радіацією. У

Береговому та Міжгір'ї пряма та пряма на горизонтальну поверхню радіації показують високий рівень взаємозв'язків, що підтверджується значеннями R^2 від 0,4 до 0,9. Зв'язок для розсіяної радіації є менш вираженим у цих регіонах. Також виявлено, що статистичний зв'язок для сумарної радіації та радіаційного балансу варіюється від 0,0 до 0,9, підкреслюючи різні ступені впливу цих факторів. У центральному регіоні спостерігається високий рівень зв'язку між прямою та прямою на горизонтальну поверхню радіацією на пунктах Нова Ушиця та Полтава/Веселе Поділля. Проте розсіяна радіація на цих пунктах демонструє менш виражений зв'язок з іншими параметрами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дмитренко Л. Геліоенергетичні ресурси. *Клімат України. За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко*. Київ, 2005. С. 267–274.
2. Дмитренко Л., Барандіч С. Оцінка кліматичних ресурсів сонячної енергії в Україні. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2007. № 256. С. 121–129.
3. Затула В. Врахування режиму хмарності при оцінці природної освітленості земної поверхні. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2013. № 3 (30). С. 105–111.
4. КД 52.4.6.01-11 Настанова гідрометеорологічним станціям і постам Випуск 5. Частина 1. Актинометричні спостереження на станціях. 2011
5. Проценко Г. Метеорологія та кліматологія : навч. посіб. Київ, 2007.
6. Решетченко С., Кітченко В. Особливості радіаційного режиму міста Полтава. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2014. № 20. С. 107–111.
URL: <https://periodicals.karazin.ua/pbgok/article/view/2795>.
7. Рибченко Л., Ревера Т. Сонячна радіація в Києві та Одесі за ясного неба. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2012. № 261. С. 72–86.
8. Рибченко Л., Ревера Т. Сумарна сонячна радіація та альbedo підстильної поверхні в Україні. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2007. № 256. 99-111.

9. Рибченко Л., Савчук С. Визначення змін складових радіаційного режиму сонячної радіації в Україні у періоди глобального потепління для виявлення їх впливу на сталий розвиток економіки країни. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 3 (54). С. 148–150.
10. Рибченко Л., Савчук С. Визначення змін складових радіаційного режиму сонячної радіації за 1991-2020 рр. відносно 1961-1990 рр. в Україні. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2022. № 3(65). С. 96–104. URL: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.3.7>.
11. Рибченко Л., Савчук С. Потенціал геліоенергетичних кліматичних ресурсів сонячної радіації в Україні. *Укр. геогр. журн.* 2015. № 4. С. 16–23. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/UGJ_2015_4_5.
12. Рибченко Л., Савчук С. Радіаційний режим в умовах інтенсивних засух 2001-2010 рр. в Україні. *Укр. геогр. журн.* 2013. № 1. С. 5–11. URL: <https://doi.org/10.15407/ugz2013.01.005>.
13. Сніжко С., Паламарчук Л., Затула В. *Метеорологія : підручник*. Київ : Видавничо-полігр. центр "Київ. ун-т", 2010. 592 с.
14. Холявчук Д. Радіаційні характеристики клімату Західної України: можливості ідентифікації змін. *Фізична географія та геоморфологія*. № 94 (2). С. 45–51. URL: <https://phgg.knu.ua/index.php/PhGG/article/view/8>.
15. A state of art review on estimation of solar radiation with various models / A. E. Gürel et al. *Heliyon*. 2023. P. e13167. URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13167>.

16. Adaramola M. S. Estimating global solar radiation using common meteorological data in Akure, Nigeria. *Renewable energy*. 2012. Vol. 47. P. 38–44. URL: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.04.005> (date of access: 13.05.2024).
17. Almorox J., Hontoria C., Benito M. Models for obtaining daily global solar radiation with measured air temperature data in Madrid (Spain). *Applied Energy*. 2011. Vol. 88, no. 5. P. 1703–1709. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.11.003>.
18. Dmytrenko L. V., Barandich S. L. Assessment of solar power climatic resources in Ukraine. *Naukovi pratsi UkrNDHMI - Scientific papers the UkrSRHI*, 2007, issue 256, pp. 121-129. (In Ukrainian).
19. Evaluation of atmosphere clearness and cloudiness parameters in the southern regions of Ukraine using statistical analysis / V. Zatula et al. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv national university, series "geology. geography. ecology"*. 2021. No. 55. P. 159–173. URL: <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/18397>.
20. Evaluation of empirical models for predicting monthly mean horizontal diffuse solar radiation / M. Despotovic et al. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2016. Vol. 56. P. 246–260. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.058> (date of access: 13.05.2024).
21. Identification of solar radiation effect on climatic indicators of the territory of Ukraine / S. Reshetchenko et al. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv national*

university, series "geology. geography. ecology. No. 49. P. 160–168.
URL: <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/12434/11827>.

22. Impact of meteorological parameters on solar radiation over langtang National Park, Nepal / P. M. Shrestha et al. *Patan pragya*. 2023. Vol. 12, no. 01. P. 63–72. URL: <https://doi.org/10.3126/pragya.v12i01.61477>.
23. Impacts of meteorological conditions on the plummeting surface-reaching solar radiation over a sub-tropical station – Pune, India / A. V. Jadhav et al. *Energy for sustainable development*. 2024. Vol. 80. P. 101444. URL: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2024.101444>.
24. Pfeifroth, Uwe; Kothe, Steffen; Drücke, Jaqueline; Trentmann, Jörg; Schröder, Marc; Selbach, Nathalie; Hollmann, Rainer (2023): Surface Radiation Data Set - Heliosat (SARAH) - Edition 3, Satellite Application Facility on Climate Monitoring, DOI:10.5676/EUM_SAF_CM/SARAH/V003.
25. Rybchenko L. Radiation state under the condition of intense droughts 2001 – 2010 yrs. in Ukraine. *Ukrainian geographical journal*. 2013. T. 2013, № 1. C. 05–11. URL: <https://doi.org/10.15407/ugz2013.01.005>.
26. Safi S., Zeroual A., Hassani M. Prediction of global daily solar radiation using higher order statistics. *Renewable energy*. 2002. Vol. 27, no. 4. P. 647–666. URL: [https://doi.org/10.1016/s0960-1481\(01\)00153-7](https://doi.org/10.1016/s0960-1481(01)00153-7) (date of access: 13.05.2024).
27. Saltuk M. F. Estimation of the hourly solar radiation. *Energy storage and conversion*. 2023. Vol. 1, no. 1. URL: <https://doi.org/10.59400/esc.v1i1.214> (date of access: 13.05.2024).

28. Solar radiation prediction using different techniques: model evaluation and comparison / L. Wang et al. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2016. Vol. 61. P. 384–397.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.024> (date of access: 13.05.2024).
29. Trends and Variability of Surface Solar Radiation in Europe Based On Surface- and Satellite-Based Data Records / U. Pfeifroth et al. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2018. Vol. 123, no. 3. P. 1735–1754.
URL: <https://doi.org/10.1002/2017jd027418>.
30. Understanding the climatology and long-term trends in solar radiation using ground based in-situ observations in India / S. Kumar et al. *Mausam*. 2024. No. 75 (2). P. 349–372.
URL: https://www.researchgate.net/publication/379447981_Understanding_the_climatology_and_long-term_trends_in_solar_radiation_using_ground_based_in-situ_observations_in_India.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця 1. Місячні показники прямої сонячної радіації (МДж/м²) та екстремуми. 1991-2020 рр.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	сума
Асканія-Нова	104	150	217	350	496	535	609	567	431	284	124	80	3948
Берегове	68	116	207	280	359	434	430	456	291	198	81	59	2963
Болград*	152	190	324	405	589	623	663	593	425	324	153	135	4585
Бориспіль	75	124	223	327	458	522	517	475	340	203	69	56	3324
Карадаг**	142	194	283	382	591	644	705	651	508	334	186	119	4739
Ковель	62	93	213	318	424	463	451	448	277	186	67	41	3038
Конотоп	72	142	263	384	546	598	582	517	344	209	72	54	3781
Міжгір'я	86	111	165	238	285	311	331	358	239	159	82	63	2417
Нікітський Сад***	134	192	289	395	576	650	719	643	485	336	183	120	4717
Нова Ушиця	80	120	217	310	445	463	467	459	311	211	83	64	3228
Одеса	110	152	285	441	598	643	682	655	471	293	112	107	4545
Покошичі	64	117	267	361	518	571	552	509	333	186	62	42	3572
Полтава	100	145	256	368	537	594	607	580	408	245	100	67	4004
Херсон	111	163	275	424	571	611	693	605	456	275	122	89	4392
min	62	93	165	238	285	311	331	358	239	159	62	41	2417
станція	Ковель	Ковель	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Покошичі	Ковель	Міжгір'я
max	152	194	324	441	598	650	719	655	508	336	186	135	4739
станція	Болград	Карадаг	Болград	Одеса	Одеса	Нік. Сад	Нік. Сад	Одеса	Карадаг	Нік. Сад	Карадаг	Болград	Карадаг

- Примітки:
- * - відсутні дані з січня 1992 по червень 1999 включно;
 - ** - відсутні дані з 2015 року включно;
 - *** - відсутні дані з січня 1992 по червень 1994 включно та з 2015 року включно.

Додаток Б

Таблиця 2. Місячні показники прямої сонячної
радіації на горизонтальну поверхню (МДж/м²)
та екстремуми. 1991-2020 рр.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	сума
Асканія-Нова	31	59	116	216	327	359	402	362	238	125	44	22	2301
Берегово	19	45	108	174	249	305	299	295	166	88	27	14	1781
Болград*	47	79	181	271	397	431	451	402	255	152	55	40	2767
Бориспіль	20	44	111	192	292	337	330	300	182	87	21	14	1901
Карадаг**	46	82	152	261	398	443	492	419	289	157	68	36	2843
Ковель	14	32	107	185	270	301	287	273	149	75	20	9	1722
Конотоп	19	49	129	223	343	373	370	314	183	82	21	12	2118
Міжгір'я	24	43	90	148	197	219	229	237	137	72	27	16	1437
Нікітський Сад***	43	84	163	257	394	449	497	420	297	163	71	39	2866
Нова Ушиця	23	44	113	189	287	301	302	285	172	91	27	16	1850
Одеса	33	71	156	279	402	443	461	415	263	131	41	29	2723
Покошичі	14	42	130	208	324	366	349	305	177	76	17	9	2016
Полтава	26	53	132	224	342	384	393	349	218	99	30	16	2267
Херсон	35	65	139	264	388	417	462	397	264	136	45	25	2621
мін	14	32	90	148	197	219	229	237	137	72	17	9	1437
станція	Ковель	Ковель	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Покошичі	Ковель, Покошичі	Міжгір'я
мак	47	84	181	279	402	449	497	420	297	163	71	40	2866
станція	Болград	Нік. Сад	Болград	Одеса	Одеса	Нік. Сад	Нік. Сад	Нік. Сад	Нік. Сад	Нік. Сад	Нік. Сад	Болград	Нік. Сад

- Примітки:
- * - відсутні дані з січня 1992 по червень 1999 включно;
 - ** - відсутні дані з 2015 року включно;
 - *** - відсутні дані з січня 1992 по червень 1994 включно та з 2015 року включно.

Додаток В

Таблиця 3. Місячні показники розсіяної сонячної радіації (МДж/м²) та екстремуми. 1991-2020 рр.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	сума
Асканія-Нова	70	103	167	205	249	259	246	224	173	127	72	57	1952
Берегово	68	94	156	209	247	254	252	222	168	121	80	60	1922
Болград*	74	104	160	206	245	247	242	211	165	115	71	57	1895
Бориспіль	55	96	161	201	254	264	261	224	161	107	54	42	1878
Карадаг**	77	110	170	225	262	254	240	212	172	129	82	61	1994
Ковель	55	92	160	215	263	275	278	232	164	107	57	43	1942
Конотоп	49	86	153	196	240	254	251	209	147	96	47	37	1764
Міжгір'я	66	86	137	186	219	234	227	200	142	106	67	56	1723
Нікитський Сад***	67	97	153	203	230	230	217	201	164	124	75	60	1820
Нова Ушиця	58	93	150	195	248	256	251	209	162	107	59	47	1834
Одеса	68	102	166	213	245	246	238	208	165	123	70	54	1900
Покошичі	49	89	171	214	260	276	270	226	158	110	47	36	1906
Полтава	58	98	164	212	257	267	263	219	160	106	56	43	1905
Херсон	74	104	169	212	261	258	252	217	167	123	71	59	1966
min	49	86	137	186	219	230	217	200	142	96	47	36	1723
станція	Конотоп	Конотоп, Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Нік. Сад	Нік. Сад	Міжгір'я	Міжгір'я	Конотоп	Конотоп, Покошичі	Покошичі	Міжгір'я
max	77	110	171	225	263	276	278	232	173	129	82	61	1994
станція	Карадаг	Карадаг	Покошичі	Карадаг	Ковель	Покошичі	Ковель	Ковель	Асканія	Карадаг	Карадаг	Карадаг	Карадаг

Примітки: * - відсутні дані з січня 1992 по червень 1999 включно;

** - відсутні дані з 2015 року включно;

*** - відсутні дані з січня 1992 по червень 1994 включно та з 2015 року включно.

Додаток Г

Таблиця 4. Місячні показники сумарної сонячної радіації (МДж/м²) та екстремуми. 1991-2020 рр.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	сума
Асканія-Нова	101	162	283	421	566	618	648	583	417	255	115	79	4249
Берегово	87	139	264	383	482	558	551	517	336	209	107	74	3690
Болград*	121	183	337	471	644	675	693	610	420	266	126	96	4644
Бориспіль	75	139	271	385	546	597	562	511	334	190	74	55	3687
Карадаг**	113	178	300	443	609	649	686	597	419	271	142	91	4499
Ковель	70	125	266	395	525	576	565	505	313	182	77	51	3650
Конотоп	67	135	282	419	582	612	621	523	330	179	67	49	3867
Міжгір'я	90	129	227	331	417	454	457	424	262	183	92	75	3132
Нікітський Сад***	109	182	315	461	624	652	714	604	456	289	150	99	4643
Нова Ушиця	82	137	262	385	535	565	556	493	332	199	86	63	3696
Одеса	102	168	319	490	645	685	702	611	427	256	110	84	4596
Покошичі	62	131	290	423	584	642	612	531	331	176	65	43	3890
Полтава	83	150	292	431	599	654	658	558	379	210	86	59	4158
Херсон	109	170	308	483	648	675	706	614	431	259	118	83	4603
мін	62	125	227	331	417	454	457	424	262	176	65	43	3132
станція	Покошичі	Ковель	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Покошичі	Покошичі	Покошичі	Міжгір'я
макс	121	183	337	490	648	685	714	614	456	289	150	99	4644
станція	Болград	Болград	Болград	Одеса	Херсон	Одеса	Нік. Сад	Херсон	Нік. Сад	Нік. Сад	Нік. Сад	Нік. Сад	Болград

- Примітки:
- * - відсутні дані з січня 1992 по червень 1999 включно;
 - ** - відсутні дані з 2015 року включно;
 - *** - відсутні дані з січня 1992 по червень 1994 включно та з 2015 року включно.

Додаток Г

Таблиця 5. Місячні показники радіаційного балансу (МДж/м²) та екстремуми. 1991-2020 рр.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	сума
Асканія-Нова	1	25	100	197	298	324	335	288	177	70	10	-6	1812
Берегово	-39	-16	81	191	274	304	293	283	145	42	-16	-34	1500
Болград*	-5	34	129	233	354	388	388	312	175	81	17	-10	2093
Бориспіль	-16	1	71	182	289	324	325	264	147	49	-2	-16	1600
Карадаг**	8	51	130	239	355	373	379	296	204	82	21	-3	2126
Ковель	-36	-18	54	161	247	281	269	226	114	27	-20	-38	1268
Конотоп	-31	-14	72	222	333	375	364	290	157	53	-6	-29	1788
Міжгір'я	-27	-6	53	135	218	246	232	214	111	30	-21	-33	1152
Нікитський Сад***	0	33	122	230	338	381	395	310	191	80	12	-12	2076
Нова Ушиця****	-51	-37	29	135	246	267	257	190	85	13	-36	-55	1005
Одеса	5	43	135	259	361	393	388	315	200	85	13	-5	2192
Покошичі	-21	-10	57	193	302	348	324	272	147	38	-7	-21	1621
Полтава	-10	4	79	208	324	368	364	309	171	60	5	-16	1866
Херсон	-23	2	86	204	323	346	363	264	151	50	-10	-25	1732
min	-51	-37	29	135	218	246	232	190	85	13	-36	-55	1005
станція	Н. Ушиця	Н. Ушиця	Н. Ушиця	Міжгір'я, Н. Ушиця	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Н. Ушиця	Н. Ушиця	Н. Ушиця	Н. Ушиця	Н. Ушиця	Н. Ушиця
max	8	51	135	259	361	393	395	315	204	85	21	-3	2192
станція	Карадаг	Карадаг	Одеса	Одеса	Одеса	Одеса	Нік. Сад	Одеса	Карадаг	Одеса	Карадаг	Карадаг	Одеса

- Примітки:
- * - відсутні дані з січня 1992 по червень 1999 включно;
 - ** - відсутні дані з 2015 року включно;
 - *** - відсутні дані з січня 1992 по червень 1994 включно та з 2015 року включно.

Додаток Д

Таблиця 6. Місячні показники альбедо поверхні (%) та екстремуми. 1991-2020 рр.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	середнє
Асканія-Нова	36	32	23	21	20	20	20	20	20	21	22	30	24
Берегово	47	42	24	20	20	20	20	20	20	20	23	36	26
Болград*	46	36	23	22	21	20	20	20	21	21	22	35	26
Бориспіль	55	54	36	20	21	20	20	20	21	22	31	49	31
Карадаг**	24	24	23	23	21	19	19	19	20	22	22	25	22
Ковель	51	50	32	20	18	18	18	18	18	19	29	47	28
Конотоп	67	64	39	19	20	20	20	19	20	21	32	61	34
Міжгір'я	51	51	35	23	21	21	21	21	22	24	31	46	31
Нікітський Сад***	29	30	22	21	21	19	18	19	20	20	21	26	22
Нова Ушиця	61	56	35	21	21	20	20	20	20	22	31	54	32
Одеса	36	31	22	19	20	19	18	18	19	21	22	27	23
Покошичі	71	71	52	24	22	23	22	22	23	24	39	66	38
Полтава	59	56	38	21	22	21	20	20	21	21	29	50	32
Херсон	42	38	27	23	23	21	21	21	23	23	25	31	27
мін	24	24	22	19	18	18	18	18	18	19	21	25	22
станція	Карадаг	Карадаг	Нік. Сад, Одеса	Конотоп, Одеса	Ковель	Ковель	Ковель, Нік. Сад, Одеса	Ковель, Одеса	Ковель	Ковель	Нік. Сад	Карадаг	Карадаг, Нік. Сад
макс	71	71	52	24	23	23	22	22	23	24	39	66	38
станція	Покошичі	Покошичі	Покошичі	Покошичі	Херсон	Покошичі	Покошичі	Покошичі	Покошичі, Херсон	Міжгір'я, Покошичі	Покошичі	Покошичі	Покошичі

- Примітки:
- * - відсутні дані з січня 1992 по червень 1999 включно;
 - ** - відсутні дані з 2015 року включно;
 - *** - відсутні дані з січня 1992 по червень 1994 включно та з 2015 року включно.

Додаток Е

Таблиця 7. Місячні показники тривалості сонячного сйва (год) та екстремуми. 1991-2020 рр.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	сума
Асканія-Нова	68	94	144	209	284	302	339	315	242	170	80	54	2301
Берегове	49	70	144	199	252	267	282	284	192	125	64	38	1966
Болград	83	111	166	211	277	301	329	308	233	169	91	77	2356
Бориспіль*	54	77	142	203	278	302	312	286	199	128	49	43	2073
Карадаг**	81	101	146	192	274	301	343	312	243	177	108	72	2350
Ковель	43	66	136	197	254	268	272	263	172	119	50	32	1872
Конотоп	41	71	139	200	279	291	298	277	185	111	42	28	1962
Міжгір'я	46	67	117	168	202	220	231	234	150	102	54	36	1627
Нікітський Сад***	76	99	144	191	264	295	336	312	238	172	110	76	2313
Нова Ушиця	52	74	137	195	265	279	287	279	193	131	57	43	1992
Одеса	55	88	153	219	299	315	348	323	239	158	63	48	2308
Покошичі	36	66	140	200	275	298	294	275	186	109	36	23	1938
Веселий Поділ****	53	76	136	196	263	285	292	281	209	126	51	41	2009
Херсон	66	89	142	215	275	301	333	307	233	152	76	49	2238
мін	36	66	117	168	202	220	231	234	150	102	36	23	1627
станція	Покошичі	Ковель, Покошичі	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Міжгір'я	Покошичі	Покошичі	Міжгір'я
max	83	111	166	219	299	315	348	323	243	177	110	77	2356
станція	Болград	Болград	Болград	Одеса	Одеса	Одеса	Одеса	Одеса	Карадаг	Карадаг	Нік. Сад	Болград	Болград

- Примітки:
- * - відсутні дані з травня 2007 по серпень 2010 включно;
 - ** - відсутні дані з 2015 року включно;
 - *** - відсутні дані з січня 1992 по червень 1994 включно та з 2015 року включно;
 - **** - відсутні дані з жовтня 1993 по березень 1997.