

Міністерство освіти і науки України  
Чернівецький національний університет

імені Юрія Федьковича

Географічний факультет

*Кафедра фізичної географії, геоморфології та палеогеографії*

**МІНЛИВІСТЬ ТРИВАЛОСТІ СОНЯЧНОГО СЯЙВА НАД  
РІВНИННОЮ ТЕРИТОРІЄЮ ЗАХІДНОЇ УКРАЇНИ**

Кваліфікаційна робота

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

***Виконала:***

здобувачка 2-го курсу 611 групи

Спеціальності 106 Географія

Марко Ірина

***Науковий керівник:***

к.геогр.н., доц. Холявчук Д.І.

***Рецензент*** \_\_\_\_\_

*До захисту допущено*

*на засіданні кафедри*

*протокол № 7 від 5.12. 2023 р.*

*Зав. кафедрою* Рідуш *проф. Рідуш Б.Т.*

Чернівці – 2023

## АНОТАЦІЯ

Марко І.В. Мінливість тривалості сонячного сяйва над рівнинною територією західної України. Магістерська робота на здобуття ступеня магістра за спеціальністю 106 “Географія”, Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича - Чернівці 2023. - 65 с. , список джерел із 45 найменувань, 3 розділи, 10 підрозділів.

Магістерська робота присвячена дослідженню просторово-часових особливостей розподілу тривалості сонячного сяйва на рівнинній території західної України впродовж другої половини XX - початку XXI століття. Визначено радіаційні характеристики клімату та охарактеризовано методики спостереження за тривалістю сонячного сяйва. Окрему увагу приділено засобам ДЗЗ, зокрема супутниковим даним EUMETSAT SARAH-3. Оцінено вплив астрономічних, глобальних та місцевих чинників на особливості територіального розподілу тривалості сонячного сяйва. Третій розділ присвячений особливостям тривалості сонячного сяйва за вибраними даними спостережень стаціонарних метеостанцій (1961-1990 рр), визначено кліматичні норми тривалості сонячного сяйва. Розглянуто зміни тривалості сонячного сяйва впродовж наступного досліджуваного періоду (1991-2020 рр). Виявлено особливості сезонного розподілу тривалості сонячного сяйва у відсотковому значенні протягом року. Здійснено просторовий опис значень на основі даних супутникових спостережень, що вказує на азональний вплив гірського масиву Карпат та широтний розподіл в теплі сезони.

**Ключові слова:** тривалість сонячного сяйва, актинометричні спостереження, цикли сонячної активності, Західна Україна, зміни клімату.

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів наукових досліджень інших авторів мають пошани на відповідне джерело.

М.В. Марко І.В.

## ABSTRACT

Marko I.V. Variability of sunshine duration over the plain territory of western Ukraine. Master's thesis for a master's degree in specialty 106 "Geography", Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University - Chernivtsi 2023. - 64 p., list of references of 26 titles, 3 sections, 10 subsections.

The master's thesis is devoted to the study of spatial and temporal features of the distribution of sunshine duration on the plain territory of western Ukraine during the second half of the twentieth and early twenty-first centuries. The radiation characteristics of the climate are determined and the methods of monitoring the duration of sunshine are characterized. Particular attention is paid to remote sensing tools, in particular, EUMETSAT SARA-3 satellite data. The influence of astronomical, global, and local factors on the peculiarities of the spatial distribution of the duration of sunshine is assessed. The third section is devoted to the peculiarities of the duration of sunshine according to selected data from observations of stationary meteorological stations (1961-1990), and climatic norms of the duration of sunshine are determined. Changes in the duration of sunshine during the next study period (1991-2020) are considered. The peculiarities of the seasonal distribution of the sunshine duration in percentage terms throughout the year are revealed. A spatial description of the values based on satellite observations is made, which indicates the zonal influence of the Carpathian mountain range and the latitudinal distribution in warm seasons.

*Keywords: duration of sunshine, actinometric observations, solar activity cycles, Western Ukraine, climate change.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ СОНЯЧНОГО СЯЙВА.....	8
1.1. Радіаційні характеристики клімату.....	8
1.2. Методи спостереження за сонячною радіацією та тривалістю сонячного саява.....	11
Висновки до розділу 1.....	15
РОЗДІЛ 2. ЧИННИКИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ТРИВАЛІСТЬ СОНЯЧНОГО СЯЙВА.....	17
2.1. Астрономічні чинники.....	17
2.2. Регіональна циркуляція атмосфери та хмарність.....	28
2.3. Підстилаюча поверхня.....	31
Висновки до розділу 2.....	35
РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ ТРИВАЛОСТІ СОНЯЧНОГО СЯЙВА ЗА ДАНИМИ СТАЦІОНАРНИХ МЕТЕОСТАНЦІЙ (1961-1990 РР.).....	37
3.1. Кліматичні норми тривалості сонячного саява (1961-1990 РР.).....	37
3.2. Розподіл тривалості сонячного саява по місяцях на основі даних ННГФО ім. Ю. Федьковича (2000-2020 рр).....	40
3.3. Розподіл тривалості сонячного саява по сезонах.....	49
3.4. Зміни тривалості сонячного саява (порівняно з кліматичною нормою).....	51
3.5. Просторовий розподіл тривалості сонячного саява.....	54
Висновки до розділу 3.....	55
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59

## ВСТУП

Сучасні зміни в кліматі та вплив господарської діяльності людини на Землі викликають потребу в обширних наукових дослідженнях динаміки показників для розуміння та прогнозування змін у кліматичних умовах різних регіонів. Одним з ключових факторів, що визначає кліматичні зміни, є тривалість сонячного саява - важливий параметр, що впливає на енергетичний баланс та тепловий режим планети. Актуальність дослідження тривалості сонячного саява на рівнинній території Західної України виявляється в кількох ключових аспектах, це:

- вплив на аграрний сектор (вивчення мінливості тривалості сонячного саява дозволяє визначити можливі впливи на аграрні культури та оптимізувати сільськогосподарські практики, визначати періоди вегетативного розвитку рослин та розробляти методи покращення врожайності відносно регіонів);
- визначення періодів кліматичних змін (дослідження мінливості тривалості сонячного саява може допомогти виявити періодичність та закономірності кліматичних змін в регіоні, це важливо для прогнозування та адаптації до можливих змін у кліматі);
- вплив на екологію та екосистеми (створення єдиного реєстру даних для подальшого прогнозування та адаптації до можливих змін у кліматі, вплив на подальший розвиток екосистем, їх можливе поширення або скорочення);
- розвиток альтернативних джерел енергетики (знання про тривалість сонячного саява має важливе значення для розробки та оптимізації сонячних енергетичних систем. Актуальні дані про мінливість тривалості сонячного саява на західних районах України можуть сприяти ефективній інтеграції відновлювальних джерел енергії);

*Об'єктом дослідження є* тривалість сонячного сяйва на рівнинній території Західної України.

*Предметом* виступають просторово-часові характеристики тривалості сонячного сяйва упродовж другої половини XX - початку XXI століття над рівнинною територією Західної України.

*Мета магістерської роботи:* виявити просторово-часові особливості розподілу тривалості сонячного сяйва на рівнинній території західної України впродовж другої половини XX - початку XXI століття.

Відповідно до мети було поставлено низку завдань:

1. Означити радіаційні характеристики клімату, описати методику їх спостереження;
2. Оцінити вплив чинників, що визначають розподіл тривалості сонячного сяйва;
3. Охарактеризувати мінливість тривалості сонячного сяйва у розрізі місяців впродовж 2000-2020 рр. за даними метеостанцій;
4. Описати розподіл тривалості сонячного сяйва по сезонах;
5. Визначити кліматичні норми тривалості сонячного сяйва в регіоні;
6. Виконати описово-статистичний аналіз річної тривалості сонячного сяйва з 1985 по 2020 рр.
7. Здійснити опис просторового розподілу тривалості сонячного сяйва

Матеріалами для написання магістерської роботи слугували літературні джерела, архівні та статистичні дані ННГФО ім. Ю. Федьковича (ТМ-1 за період 1985-2020 рр.), дані кліматичного кадастру (за період 1961-1990 рр.) та супутникові дані організації EUMETSAT супутника третього покоління SARAH-3.

В ході дослідження були використані такі *методи дослідження*: аналізу літературних джерел, статистичний, математичний, камеральні, порівняльний, описовий, аналізу та синтезу, графічний, картографічного моделювання в ArcGIS.

Магістерська робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаної літератури (26 найменувань). Загальний обсяг наукової роботи 64 ст.

## РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ СОНЯЧНОГО СЯЙВА

### 1.1. Радіаційні характеристики клімату.

Радіація - є важливим елементом для формування та розвитку клімату. Вона є рушійною силою для безліч кліматичних процесів, які відбуваються на Землі. Джерелом радіації для Земної кулі виступає Сонце. Випромінювання поширюється від джерела до периферії під виглядом електромагнітних хвиль зі швидкістю близько 300 000 км/с. Дані хвилі поділяються на ті, що мають видимий спектр - видиме світло, а також ті, які неможливо побачити неозброєним оком: гамма-промені, рентгенові, ультрафіолетові, інфрачервоні промені, радіохвилі. Водночас Земля, її поверхня і атмосфера виділяють температурну радіацію в інших діапазонах хвиль, що разом формують енергетичний баланс планети. Всі дані аспекти, що взаємодіють з Землею та її сферами і визначають тепловий баланс планети та умови життя. Серед них:

- *пряма сонячна радіація* - енергія, яку випромінює Сонце та досягає поверхні Землі без будь-яких відбиттів чи розсіювань в атмосфері. Це те світло, яке перетинає атмосферний шар та напряду доходить до земної поверхні. Для її вимірювання використовують низку приладів, серед них найпоширеніший - пірогеліометр, він складається з чорного та червоного скла, яке піддається сонячному опроміненню, після чого виконується замір температури опроміненого скла. Також для вимірювання прямої сонячної радіації використовуються фотодіоди та фотодетектори - даний метод базується на сприйнятті видимого інтервалу опромінення, після чого сигнал перетворюється на електричний, який можна виміряти. Для визначення хвиль різного спектру використовується спектро радіометр, цей прилад може захоплювати хвилі різної довжини та вимірювати їх



(Антонов,2004). Пряма сонячна радіація визначається також за формулою Планка-Больцмана :

$$P = \frac{\pi R^2 \cdot I}{D^2}$$

де,

P - потужність сонячного випромінювання;

$\pi$  - число Пі ( $\approx 3.14159$ );

R - середній радіус Землі;

I - сонячна константа, яка визначає інтенсивність сонячного випромінювання в космосі ( $\approx 1361$  ватт на квадратний метр);

D - відстань між Сонцем і Землею.

- *розсіяна радіація* - при взаємодії з атмосферою промені розсіюються та поширюються в різних напрямках внаслідок бар'єрної функції вкраплень. Вимірюється розсіяна радіація за допомогою спектрорадіометра, піраметра, та пірогеліометром, за допомогою додаткової оправи. Найновішим приладом для фіксування даного показника є Лідар - базується на основі лазерного променя, що відправляється в атмосферу та відділяє вимірювання розсіяних хвиль від домішок атмосфери (Антонов,2004). Вимірюється розсіяна радіація да допомогою формули Релея:

$$I(\theta) = I_0 \left( 1 + \frac{\cos^2 \theta}{2} \right)$$

де,

$I(\theta)$  - інтенсивність розсіяної радіації під кутом  $\theta$ ;

І<sub>0</sub> - початкова інтенсивність сонячного проміння.

- *сумарна радіація*, що включає в себе пряме і розсіяне сонячне випромінювання. Для її вимірювання використовуються ті ж прилади що і для прямої та розсіяної радіації і розраховується як сума цих двох показників:

$$\text{Сумарна радіація} = \text{Пряма радіація} + \text{Розсіяна радіація}$$

- *радіаційний баланс поверхні* - співвідношення між сонячною радіацією, яка надходить на поверхню Землі, та випромінюванням, яке поверхня віддає в атмосферу та простір. Цей баланс визначає тепловий стан поверхні та є ключовим елементом кліматичних та енергетичних процесів на планеті. Він обчислюється як різниця між потужністю сонячного випромінювання, яке потрапляє на поверхню, і потужністю випромінювання, яке повертається в атмосферу та космос (Антонов, 2004).

- *альbedo*, відношення отриманого та відбитого випромінювання поверхнею та відсоток її поглинання що залежить від фізичних особливостей поверхні. Альbedo можна виміряти за допомогою супутникових приладів, що мають вбудовані спектро радіометри та радіометри, а також стаціонарним приладом - альбедометром, який розміщується безпосередньо на поверхні та фіксує відбиту сонячну радіацію відносно типу поверхні:

$$A = \frac{\text{Відбита сонячна радіація}}{\text{Потужність сонячної радіації, що падає на поверхню}}$$

- *тривалість сонячного саява* - відрізок часу, за який Сонце освітлює поверхню Землі, відносно куту його нахилу. Вимірюється за допомогою геліографа Кемпбела-Стокса за формулою:

$$\text{Тривалість сонячного саява} = 2 \times \arccos(-\tan(\phi) \cdot \tan(\delta))$$

де,

$\phi$ - географічна широта місцезнаходження;

$\delta$  - кут між сонячним променем і площиною екватора.

На вплив радіаційних характеристик впливають ряд чинників, що є складовою географічної оболонки Землі: рельєф, підстилаюча поверхня, водні об'єкти, особливості циркуляції та стану атмосфери. А також чинники глобального рівня: сонячна активність, добове та річне обертання, орбітальна фаза Землі відносно Сонця.

Для нашого дослідження рівнинного регіону Західної України були використані дані п'яти метеостанцій (далі - МС): Нова Ушиця (Хмельницька обл.), Чернівці (Чернівецька обл.), Кам'янець Подільський (Хмельницька обл.), Долина (Івано-Франківська обл.) та Яворів (Львівська обл.). Репрезентативними, можна вважати дані метеостанції, що охоплюють собою територію в радіусі 30 км. Для об'єктивності та охоплення більшої території дослідження було взято точки що знаходяться на різних широтах і охоплюють ряд актинометричних спостережень таких як: тривалість сонячного сьйва, пряма та розсіяна сонячна радіація. Крайньою південною точкою було взято МС Чернівці, північною точкою - Яворів. Також було обрано дві метеостанції, що контролюють ділянки зі складним рельєфом - Кам'янець Подільський та Нова Ушиця (охоплює межі Західноподільської височинної області та Середньо Подільської височинної області на схід від Товтрового кряжу, що характеризується сполученням великих плоских межиріч і глибоких каньйоноподібних долин річок).

## **1.2. Методи спостереження за сонячною радіацією та тривалістю сонячного сьйва.**

Вивчення сонячної радіації та освітлення сонячного проміння є однією з ключових задач в сучасній метеорології та кліматології. Для цього існує ряд методів спостереження. Серед них зустрічаються як класичні - ті якими вели дослідження в давнину, так і сучасні, які базуються на основі супутникових засобів дистанційного зондування Землі.

Класичним і надійним методом спостереження за сонячним сьйвом є фіксування проміння на стрічках геліографа Кемпбела-Стокса. Геліограф - це прилад, що автоматично реєструє тривалість сонячного сьйва протягом світлової доби. У Чернівцях спостереження за тривалістю сонячного сьйва за допомогою цього приладу було започатковано у 1923 р. у тоді вже діючому інституті космічної фізики Чернівецького університету імені короля Фердинанда I. (Сергеева,2015).

В основі геліографу лежить скляна куля діаметром 9,5 см що кріпиться на підставці і збирає в собі сонячне проміння, яке заломлюється і фокусується однієї точці. На певній відстані від кулі розташована чаша у вигляді сфери, котра має пази на внутрішній поверхні для встановлення картонних стрічок, які мають розмітку з годинами та пів годинами. Проміння, сфокусоване кулею в точці, пропалює стрічку - тим самим реєструючи наявність сонячного сьйва. У випадках якщо небо вкрите хмарами стрічка не пропалюється. За допомогою дисків 3 і 4 положення приладу можна змінювати у двох площинах та змінювати кут нахилу системи. Для достовірності результатів при зміні стрічки геліографа над кулею встановлюють тінь, і саму стрічку зберігають попередньо підписавши порядковим номером, що відповідає дню місяця (Антонов, 2004).

Фізичну тривалість сонячного сяйва визначають по пропаленій стрічці геліографа. Одна година розбивається на 0.10 частки, відповідно до відсотка пропаленої поділки результати вносяться в таблицю. Додаючи всі результати за день - отримують добову тривалість сонячного сяйва (Антонов, 2004).

Дані спостереження у Чернівцях продовжуються до нині, і лише за часів радянської влади спостереження велись з деякими перервами. Закордоном, зокрема в США, стандартним для спостережень за сонячним сяйвом був геліограф з використанням диференційованого термометра з електронною реєстрацією сонячного сяйва. До сьогоднішнього часу в цій країні користувались дещо модифікованою моделлю - геліографом з фотографічним записом сонячного сяйва.

Для спостереженням за сонячною радіацією використовують *пірогеліометр* - це прилад що вимірює пряму сонячну радіацію що прямує стало до Землі. Приклад складається зі сфери, має схожу будову до геліографа, проте в ньому сонячне проміння направляєтся на термодатчик або термомпару де і фіксується. Для точних методів вимірювання використовують *трекери сонця*. Дані трекери направляють прилад за сонцем протягом світлового дня, таким чином отримуючи детальніші дані та максимальну ємність сонячної енергії. Для того, щоб отримати радіаційні дані про хвилі різного діапазону та спектру, використовують *спектрорадіометри* що оснащені великим стаціонарним оптичним телескопом, за допомогою якого визначають колірну температуру, світловий потік та ін.

З розвитком науково-технічного прогресу, новим і практичним методом спостережень вважається ДЗЗ. *Дистанційне зондування Землі* - це метод неконтактного спостереження за допомогою авіаційних і космічних засобів, які оснащені приладами для реєстрації

електромагнітного випромінювання Землі в різних діапазонах спектру даного випромінювання. Супутникові спостереження дають можливість довгострокових досліджень на великій за площею території за раз в один часовий відрізок. Вони оснащені спектро радіометрами для визначення сонячної радіації в її спектральних частотах. На основі даних ДЗЗ можна використовувати *метод алгоритмів та моделей* що ґрунтується на математичних розрахунках враховуючи властивості атмосфери та географічні умови.

Для забезпечення мережевого метеорологічного спостереження міжурядовою європейською організацією експлуатації метеорологічних супутників EUMETSAT була створена сітка метеорологічних Супутникових Центрів Застосування (Satellite Application Facility - SAF). Ними були зібрані 38-річні (1983-2020 рр.) безперервні записи даних про приземний радіаційний клімат, що базуються на спостереженнях із супутників Meteosat першого і другого покоління. Ряд космічних супутників спостерігає за атмосферою, поверхнею суші та води цілий рік та 24 години на добу. Збір метеорологічних даних проводиться кожні 8 тижнів та відправляються не пізніше ніж 5 днів після збору даних у місцеві метеорологічні служби для покращення метеорологічних прогнозів, передбачення та контроль небезпечних природних явищ, та інформування пересічних громадян. Проте, такі дані не підходять для моніторингу міжрічної мінливості та тенденцій з високою достовірністю. Для цього актуально використовувати для порівняння наземні дані спостережень.

Збір інформації EUMETSAT відбувається у форматі супутникової проекції. Отримані результати переносяться на градусну сітку широта-довгота за допомогою підпрограми SPECMAGIC. Для наших досліджень ми використали дані показника тривалості сонячного сяйва (Sunshine duration далі - SDU ) - супутника третього покоління SARAH-3.

Можлива тривалість сонячного сьйва розраховується в залежності від дати, довготи та широти з використанням спрощеної моделі випромінювання ясного неба SOLIS для оцінки прямої нормальної освітленості (Direct Normal Irradiance далі - DNI). Також враховуються дані про вкраплення в атмосфері аерозолів та води. SDU розраховується за формулою:

$$SDU = daylength \times \frac{\sum_{i=1}^{iday} (W_i(sunny\ slot_i))}{\#daylight\ slots}$$

де,  $W_i$  - вказує на вагу сонячних проміжків в залежності від кількості навколишніх хмарних і сонячних точок сітки.

*#daylight slots* - описує максимальну кількість спостережень Meteosat (слотів) на точку сітки і за добу протягом світлого часу доби, що виводиться з оцінок DNI для ясного неба.

Денний SDU розраховується лише за умови, що доступно 25% денних слотів (Hollmann, Rainer, 2023).

Важливими супутникові спостереження являються для різних сфер людського життя: будівництва, аграрної промисловості та ін. Вони полегшують процес спостереження за радіаційними характеристиками та основна перевага - мають великий об'єм оцифрованих даних для використання у подальших дослідженнях.

## Висновки до розділу 1

1. Сонячна радіація поступає на Землю у вигляді хвиль різної різної довжини. Радіаційний баланс Землі характеризується прямою, розсіяною та сумарною радіацією, альbedo та тривалістю сонячного сьйва. На розподіл енергії впливає низка чинників: їх можна поділити на внутрішні (елементи географічної оболонки) так і астрономічні (рухи Землі в космосі та цикли Сонячної активності).
2. Для спостереження за сонячною радіацією та тривалістю сонячного сьйва використовують кілька видів методів, серед них: традиційні - фіксування проміння на стрічках геліографа Кемпбела-Стокса та з використанням електронного диференційного термометра, фіксація даних сонячної радіації за допомогою пірогеліометра, спектродіаметра, трекерів сонця, а також новітні - за допомогою системи дистанційного зондування Землі. Традиційні і новітні методи мають похибку, тому є необхідність як космічних засобів спостереження так і наземних водночас для достовірності даних.



## РОЗДІЛ 2. ЧИННИКИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ТРИВАЛІСТЬ СОНЯЧНОГО СЯЙВА

### 2.1. Астрономічні чинники

Наше життя буквально обертається циклами: серією подій, які регулярно повторюються в однаковому порядку. У Всесвіті існують сотні різних типів циклів. Деякі з них є природними: наприклад зміна пір року, щорічні міграції тварин або циркадні ритми які регулюють режим сну. Інші - створені людиною, такі як вирощування та збирання врожаю, музичні ритми чи економічні цикли.

Цикли також відіграють ключову роль у короткочасній погоді на Землі та довгостроковому кліматі. Століття тому сербський учений Мілутін Міланкович висунув гіпотезу про довгострокові колективні наслідки зміни положення Землі щодо Сонця, які є сильним рушієм довгострокового клімату Землі і відповідають за початок і кінець періодів зледеніння. Зокрема, він дослідив, як зміни в трьох типах орбітальних рухів Землі впливають на те, наскільки сонячне випромінювання (відоме як інсоляція) досягає вершини земної атмосфери, а також того, куди сягає інсоляція. Ці циклічні орбітальні рухи, які стали відомими як цикли Міланковича, спричиняють коливання до 25 відсотків кількості вхідної інсоляції в середніх широтах Землі (райони нашої планети, розташовані приблизно між 30 і 60 градусами на північ і на південь від екватора ).

Зміна орбітальних циклів Землі має довгостроковий прямий вплив на кількість поступлення сонячного проміння та зміну клімату в загальному. Існує три основні способи зміни орбіти Землі впродовж тисяч років: ексцентричність, похилість і працесія.

Орбітальний ексцентриситет Землі полягає у ступені орбітального еліпса. Наслідком цього явища є зміна наближеності планети до Сонця та

отримання більшої і меншої ступені його випромінювання (Див. Рис. 2.4.1.). Точка найменшого наближення Землі до Сонця називається перигелієм, а найвіддаленіша – афелієм. Для повного проходження даного циклу планеті потребується приблизно сто тисяч років. В даний момент орбіта Землі перебуває на рівні ексцентриситетності 0,0167, що означає середню наближеність до сонця, а орбіта Землі є наближеною до округлої (Lourens, 2021).

Ексцентричність є причиною того, що наші сезони мають дещо різну довжину, оскільки літо в Північній півкулі в даний час приблизно на 4,5 дні довше, ніж зима, а весна - приблизно на три дні довше, ніж осінь. У міру зменшення ексцентриситету тривалість наших сезонів поступово вирівнюється.

Різниця у відстані між найближчим наближенням Землі до Сонця (відомим як перигелій), яке відбувається приблизно 3 січня кожного року, та найдальшим відходом від Сонця (відомим як афелій) 4 липня або близько цього періоду, наразі становить близько 5,1 мільйон кілометрів (близько 3,2 мільйона миль), варіація на 3,4 відсотка. Це означає, що кожного січня приблизно 6,8 відсотка більше сонячного випромінювання надходить на Землю, ніж кожного липня.

Загальна зміна глобальної річної інсоляції через цикл ексцентриситету дуже мала. Оскільки коливання ексцентриситету Землі досить незначні, і вони є відносно незначним фактором щорічних сезонних коливань клімату, проте є вагомими у багаторічному розподілі.

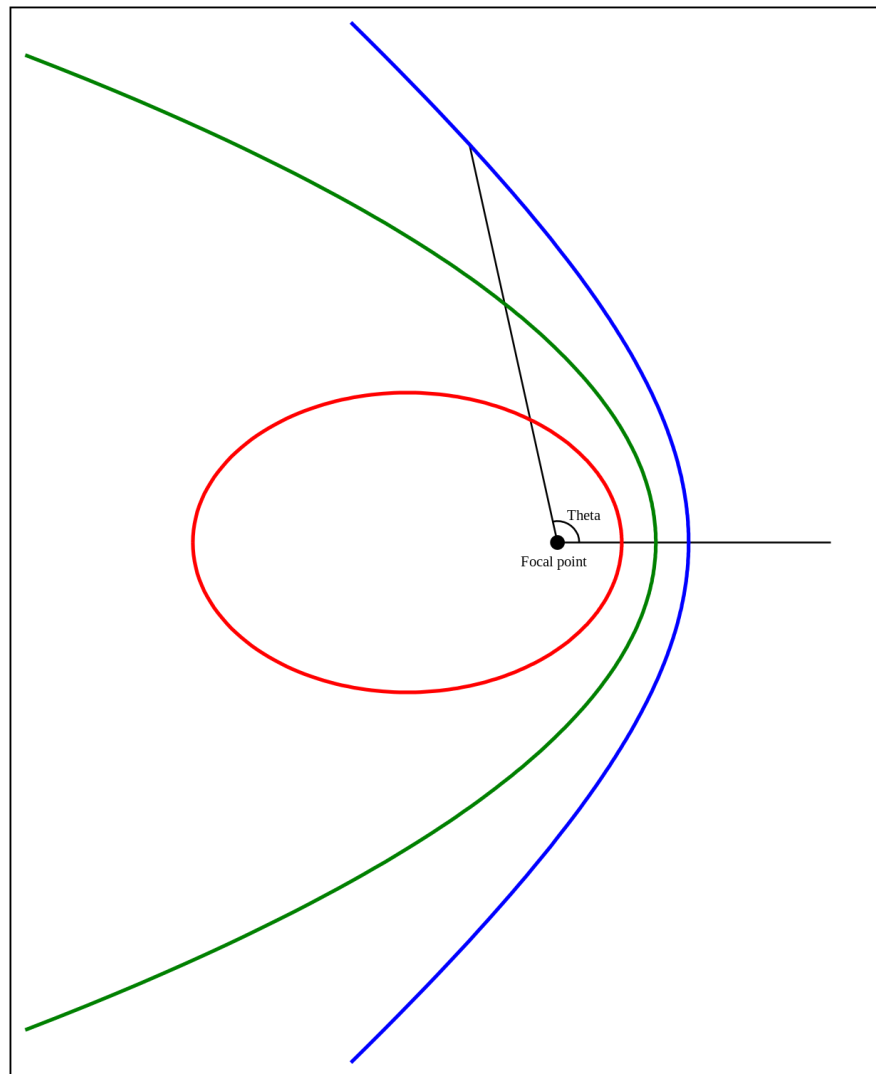


Рис.2.1.1. Ексцентриситет Земної орбіти (Stamcose, 2011)

Земна вісь знаходиться під певним нахилом. Обертання Землі відносно неї викликає змін пір року. Проте, кут нахилу Землі змінюється впродовж 40 000 - річного циклу. Вісь планети корелюється від 22,1 до 24,5 градусів (Див. Рис.2.1.2.). При найвищому нахилі ступінь суворості пір року збільшується. На сьогодні осьова коса Землі розташована приблизно на 23,5 градуса, що відповідає середині циклу і має наближення до фази спадання.

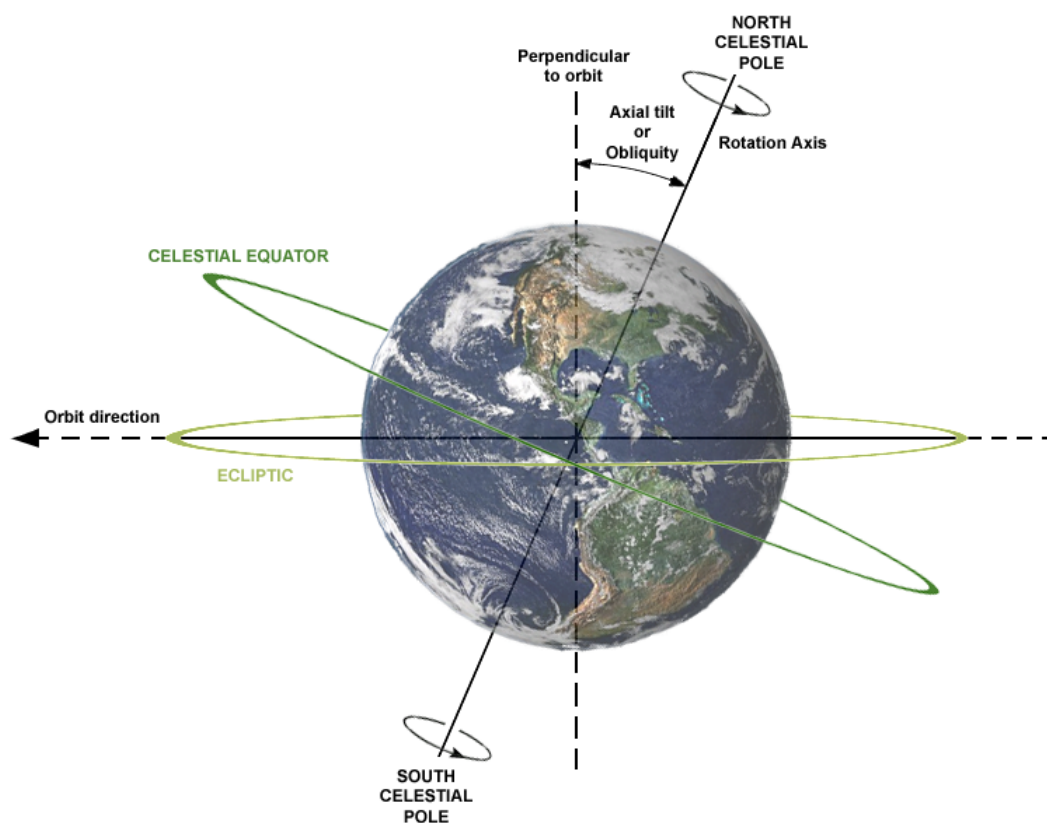


Рис. 2.1.2. Зміна куту нахилу Земної осі (Nilsson,2007)

Прецесія Земної орбіти є найскладнішою з орбітальних змін. В процесі обертання Землі навколо своєї осі певний сезон настає тоді, коли планета розташовується в перигелії і афелії. І це може змінюватись з часом, створюючи велику різницю в суворості сезонів, залежно від півкуль. До прикладу: коли Північна півкуля розташовується в перигелії, залежно від цього літо буде більш екстремальним, ніж випадок, коли Північна півкуля переживатиме літо в афелії. Саме тоді сезонний контраст буде менш відчутним (Див. Рис. 2.1.3.)

Осьова прецесія також поступово змінює час пори року, змушуючи їх початися раніше з часом, і поступово змінює те, до якої зірки спрямована вісь Землі на Північному полюсі (Полярній зірці). Сьогодні Північними

зірками Землі є Полярис та Полярис Австраліс, але пару тисяч років тому це були Кочаб та Феркад.

Також існує апсидальна прецесія. Не тільки вісь Землі хитається, але і весь орбітальний еліпс Землі хитається нерегулярно, в першу чергу завдяки взаємодії з Юпітером і Сатурном. Цикл апсидальної прецесії охоплює близько 112 000 років. Апсидальна прецесія змінює орієнтацію орбіти Землі щодо еліптичної площини.

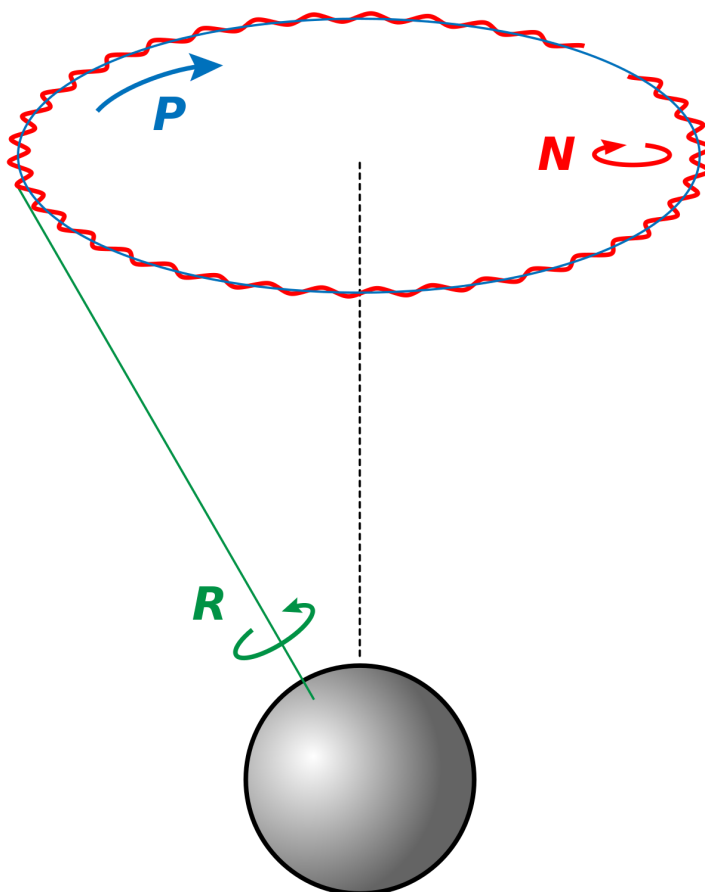


Рис. 2.1.3. Прецесія та нутація Земної орбіти (Sulzer, 2004)

Невеликі зміни, викликані циклами Міланковича, діють окремо і спільно, щоб впливати на клімат Землі протягом дуже тривалих періодів

часу, що призводить до більших змін нашого клімату протягом десятків тисяч і сотень тисяч років. Міланкович поєднав цикли, щоб створити всебічну математичну модель для розрахунку різниці сонячного випромінювання в різних широтах Землі разом із відповідними температурами поверхні. Модель нагадує кліматичну машину часу: її можна запускати назад і вперед, щоб вивчити минулі та майбутні кліматичні умови.

Продовжуються наукові дослідження для кращого розуміння механізмів, що спричиняють зміни в обертанні Землі, та того, як конкретно цикли Міланковича поєднуються для впливу на клімат. Але теорія про те, що вони визначають час льодовикових циклів, добре прийнята.

Як відомо, майже всі процеси що відбуваються на Землі прямо пов'язані з нашим світилом. Сонце є джерелом життя і енергії на планеті. Як і будь яке термічне тіло Сонце має свої фази: періоди зниження активності та його збільшення. Такі фази називаються сонячними циклами. Вони характеризуються періодичним розвитком на Сонці плям, спалахів та викидом протуберанців.

Сонячний цикл охоплює приблизно 11 річний період. Він відміряється по сусідніх максимумах та мінімумах що фіксуються (Charbonneau, 2010).

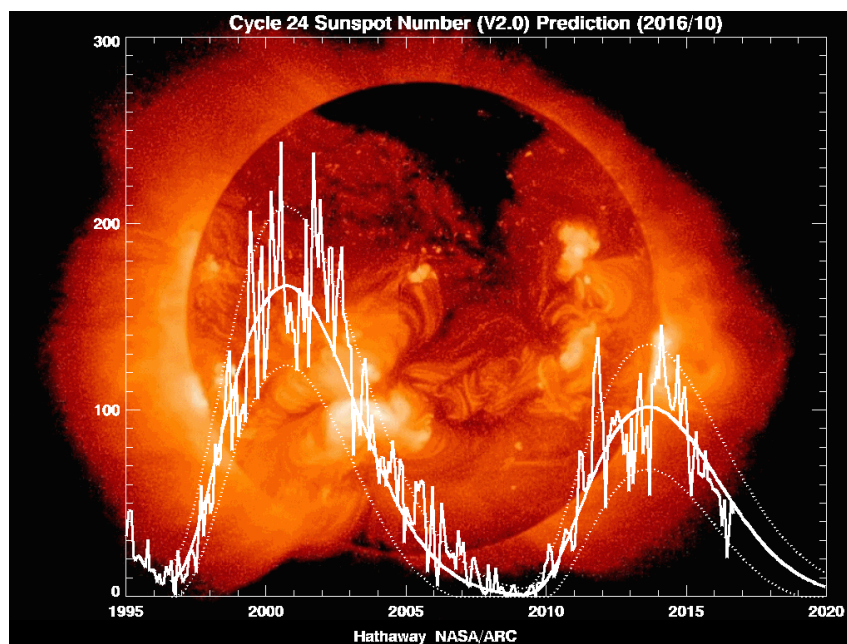


Рис. 2.1.4. Цикли сонячної активності 1995-2020 рр.

[www.nasa.gov](http://www.nasa.gov) (2020 р.)

#### Графік кількості сонячних плям протягом сонячного циклу

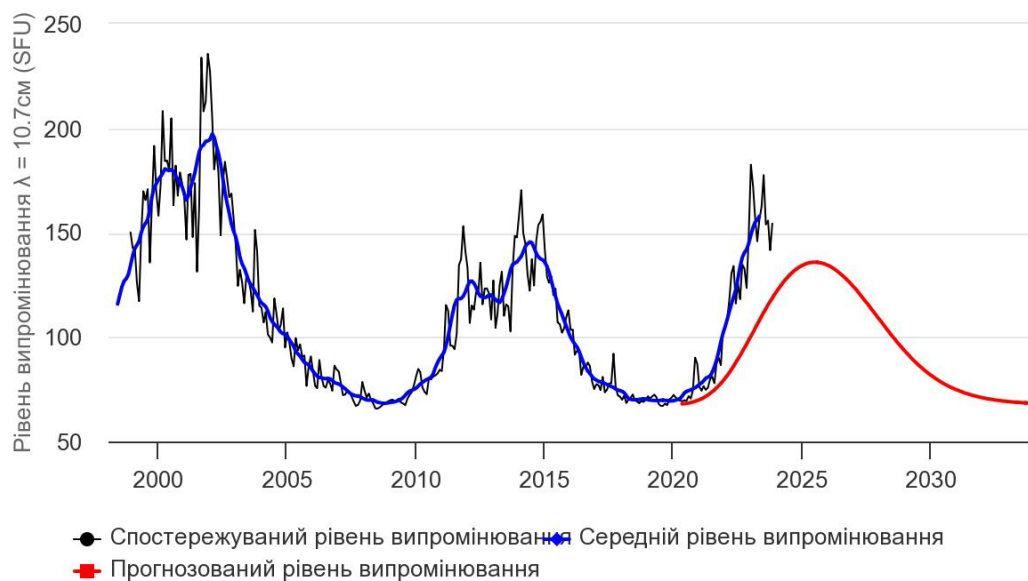


WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels

Рис. 2.1.5. Графік циклу сонячної активності за даними WDC-SILSO (Royal Observatory of Belgium, Brussels)

[www.spaceweatherlive.com](http://www.spaceweatherlive.com) (2023 рік)

### Графік рівня випромінювання $\lambda = 10.7\text{см}$ (SFU) протягом сонячного циклу



SpaceWeatherLive.com

Рис. 2.1.6. Графік рівня випромінювання протягом сонячного циклу

[www.spaceweatherlive.com](http://www.spaceweatherlive.com) (2023 рік)

Стан сонячної активності характеризується числами Вольфа (відносні числа плям на диску сонця) і розраховується за формулою:

$$W=10g + f$$

Де,  $g$ - це кількість згрупованих плям;

$f$ - сумарна кількість сонячних плям, які спостерігаються в даний момент на сонячному диску.

Активність на сонці визначається також за загальною площею плям, радіо потоком та ін. Для розуміння еволюції сонячного циклу протягом часових відрізків слід звернути увагу на кількість спалахів відносно кількості сонячних плям. Нижче на рис. 2.1.7. наведено графік кількості сонячних спалахів С, М і Х-класу в розрізі років.



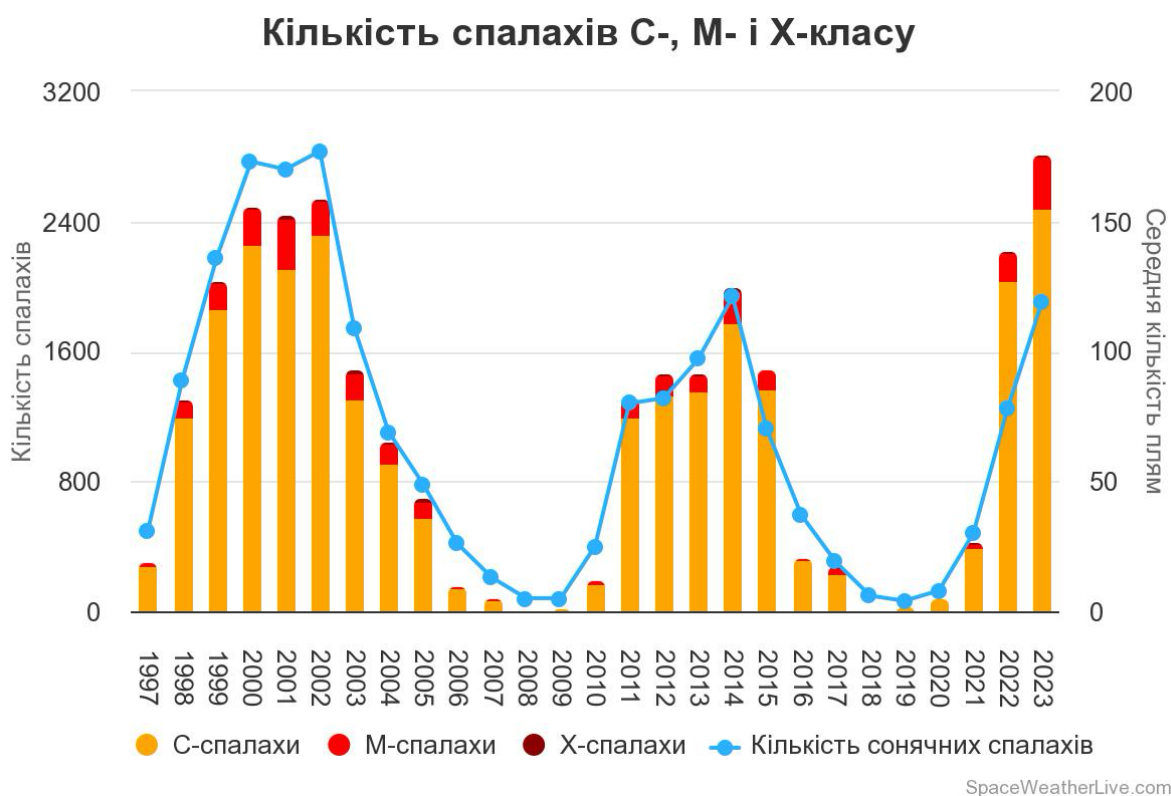


Рис. 2.1.7. Кількість спалахів на Сонці впродовж 1997-2023 рр.

[www.spaceweatherlive.com](http://www.spaceweatherlive.com) (2023 рік)

Розподіл сонячних плям впродовж циклу відбувається від полюсів, і під час максимумів плями наближаються до екватора. Рух речовини в них відбувається за законом Коріоліса, як і рух речовин на Землі, з відхиленнями у північній півкулі вправо і в південній вліво. Додатково максимумами та мінімумами сонячної активності характеризуються витягнутістю сонячної корони. При мінімальних значеннях корона витягується, а її проміння пролягає вздовж лінії екватора. Тим часом на полюсах утворюються так звані «полярні щітки». При максимальних значеннях кількість плям на диску сонця збільшується, а корона стає округлою з випромінюванням в поперечному напрямку (Lourens, 2021).

Аналізуючи хід циклів за 250 років, найкоротший період займав 9 років, а най триваліший цикл продовжувався 13,5 років. Останні 80 років інтенсивність сонячного випромінювання значно зростає з кожним періодом, а хід циклів значно скочується від 11,5 до 10,5 років (Lourens, 2021). Закономірності поведження даних періодів вказують на існування глобальної системи сонячної активності, яка по підрахункам триває 80-90 років.

Не до кінця розуміючи, як магнітне поле, яке рухає сонячною активністю, рухається всередині Сонця, вченим доводиться робити деякі припущення. Існує багато підходів до моделювання Сонця з метою розробки прогнозів сонячного циклу. Деякі моделі використовують наземні спостереження, що тривають сотні років; інші можуть використовувати супутникові дані, які були доступні лише протягом останніх чотирьох десятиліть або близько того. В останні роки деякі дослідники застосували тактику машинного навчання. Моделі можуть бути зосереджені на різних попередниках, які, як виявили вчені, пов'язані з сонячною активністю: найпоширенішим є магнітне поле Землі, яке реагує на Сонце, та сила магнітного поля на полюсах Сонця.

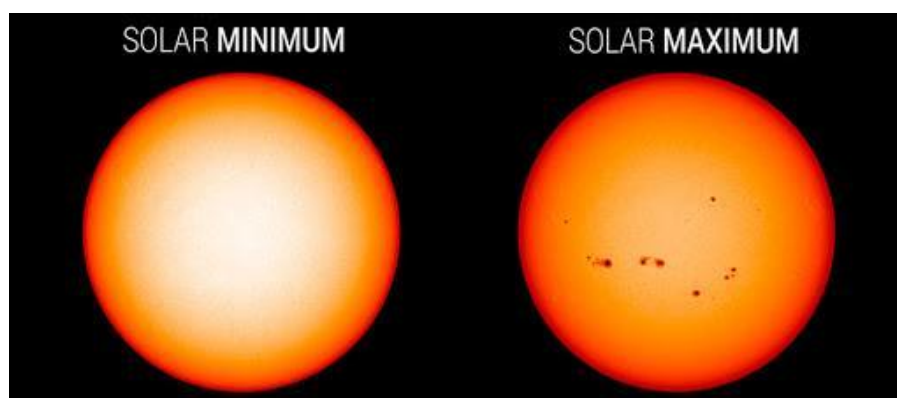


Рис. 2.1.8. Вигляд диску Сонця при мінімальній та максимальній активності

## 2.2. Регіональна циркуляція атмосфери та хмарність

Загальна циркуляція атмосфери в першу чергу означена переміщеннями світового масштабу. Серед них найбільшим є західний перенос повітря обумовлений обертанням Землі та нагріванням повітря на екваторі.

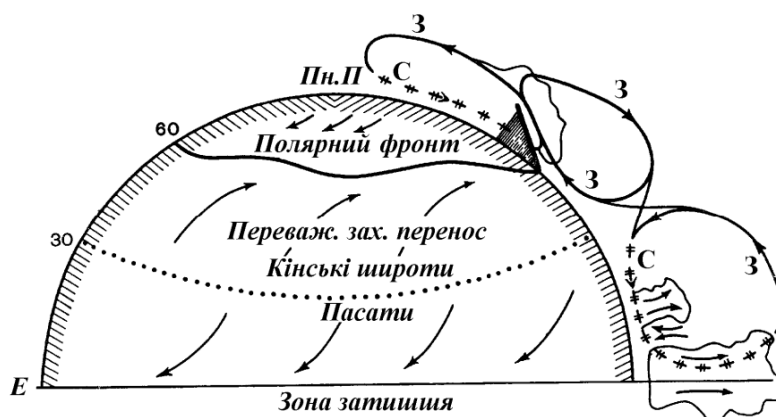


Рис. 2.2.1. Трикоміркова схема системи меридіональної циркуляції  
(Rossby, 1941)

Утворення хмар пов'язане з виникненням в атмосфері областей з високою вологістю. Досліджувана територія розташована в межах помірного континентального клімату, при цьому атмосферна циркуляція над регіоном характеризується значною мінливістю. Переважний вплив тут займають західні вітри що приходять з атлантичного океану. Тому на західній рівнинній території України формуються м'які та вологі погодні умови.

В холодну пору року часто панують циклони що пов'язані з ісландським мінімумом або середземноморським відгалуженням полярного фронту. Саме тут відбувається трансформація морського помірного повітря в континентальне, збільшується кількість опадів та хмарність. У часовий

відрізок з квітня по листопад домінують низькі баричні центри що утворюють нестабільну погоду з опадами. При цьому над територією в холодний період спостерігається насув баричного гребеня та улоговини що збільшує число годин без прямої сонячної радіації. Особливості співвідношень впливу циклонів та антициклонів над рівнинною територією західної України прямо пов'язані з періодами Північноатлантичного колювання. В цей період різко зменшується повторюваність південно-східних вітрів (до 15% всіх випадків). У перехідні сезони року, коли вплив азорського й азіатського антициклонів врівноважується, північно західні та південно-східні вітри мають приблизно однакову повторюваність. Більш яскравими змінами характеризується грудень та січень (Холявчук,2022). Саме сезонність атмосферної регуляції яскраво впливає на хмарність та переважну кількість днів без прямої сонячної радіації:



Рис.2.2.2. Середнє число днів без сонця Нова Ушиця



Рис.2.2.3. Середнє число днів без сонця Чернівці



Рис.2.2.4. Середнє число днів без сонця Кам'янець-Подільський



Рис.2.2.5. Середнє число днів без сонця Долина

Окрім природної хмарності існує інший вид, що спричинений антропогенною діяльністю, або діяльністю природи.

Природними джерелами забруднення атмосферного повітря є викиди попелу і газів вулканами, природні лісові та степові пожежі. Ці явища спричиняють утворенню специфічного бар'єрного екрану в шарах атмосфери, перешкоджаючи проникності сонячного сяйва. До прикладу в середньому з вулкану може надійти понад 29 млрд. тонн пилу, котрий збігається до центрів притягання в атмосфері таких як часточки води та ін.

Людина вносить свій особливий вклад у склад атмосфери. Наявність аерозолів штучного походження, пилу та інших нетипових хімічних елементів створює в повітрі характерний серпанок, який часто плутають з туманом - смог. Смог характерний для міських та промислових районів. Поряд із хмарністю смог перешкоджає проникненню сонячних променів, цим самим зменшуючи тривалість сонячного сяйва.

Джерела антропогенного забруднення поділяють на дві категорії: технічні та хімічні. До технічних забрудників відносять пил, сажу від згорання природних копалин та ін., а до хімічних відносять переважно ті речовини, які можуть вступати в хімічні реакції з компонентами атмосфери. Найбільш небезпечними є сполуки сірки, азоту, хлору та ін. Разом в поєднанні вони створюють токсичні сполуки. При зв'язуванні цих елементів з туманами, утворюється небезпечне явище - фотохімічний смог.

### 2.3. Підстилаюча поверхня

Важливою складовою тривалості сонячного сьйва на певній території є характер підстилаючої поверхні, а саме - ландшафтні особливості території. Грунти, рослинність, сніг або вода неоднаково поглинають і відбивають сонячну радіацію. Це пояснюється обміном тепла і вологи з атмосферою.

Досліджувана територія характеризується великим різноманіттям рельєфу, хоча загалом сам регіон є переважно рівнинним. Особливості місцевої орографії розглянемо відносно досліджуваних метеостанцій та зони, що охоплюється метеорологічною сіткою спостережень.

Місто Чернівці розташоване в рівнинній частині Західної України, в басейні річки Прут. Рельєф характеризується невеликими височинами, річковими долинами та широкими полонинами. Серед височин та низин тут панують Хотинська височина та Дністровська низовина.

Чернівецька область розділена на 3 природні області: Прут-Дністровське межиріччя, Буковинське передгір'я та Буковинські Карпати. Кожна з цих областей отримує різну кількість сонячного сьйва впродовж року а також має індивідуальні відмінності в мікро циркуляції атмосфери.

Місто Кам'янець-Подільський розташоване в історико-географічному регіоні Поділля, яке характеризується різноманітним рельєфом, включаючи височини та низовини, серед них - Кам'янецька височина, Дністровська низовина, Подільська височина.

Рельєф Кам'янець-Подільського регіону включає в себе різноманітні форми, такі як плоскі райони та пониззя, річкові долини та лісисті пагорби. Височини та невеликі виступи можна також виявити в околицях міста. Яскравим орографічним об'єктом тут виступають каньйони річок Смотрич та Дністер. Дані форми рельєфу характеризуються глибоким річкоим



руслom та вираженими виступами материнської породи. Глибини Дністровського каньйону варіюються від 60 до 130 м в різних точках. Смотрицький каньйон характеризується стрімкими схилами до 50 м. Саме тут сформувався особливий мікроклімат, що відрізняється від загального клімату регіону.

Міста Долина та Нова Ушиця розташовані в рівнинній місцевості Дністровського басейну. В рельєфі переважають великі річкові долини та плоскі схили. Висота над рівнем моря тут варіюється в межах 373 м.

Місто Яворів характеризується рівнинним рельєфом та наявністю річкових низин. Схили мають легко виражений характер і домінують висоти в рамках 296 м.

Серед височин домінуючою в досліджуваному регіоні є Подільська височина - вона займає собою найбільшу територію та має найвищу точку з параметром висоти в 471 м. (гора Камула) на півночі. На півдні, біля меандр Дністра, простягається Хотинська височина з максимальною точкою 515 м. (гора Берда)

В загальних рисах регіон досягає підвищень у рельєфі з півночі на південь та з сходу на захід, що охарактеризовується тектонічною будовою регіону, а саме взаємодії Українського щита з Волино-Подільською платформою. Панування в м. Кам'янець-Подільському особливих форм рельєфу, каньйонів та підняття, пов'язане з розміщенням території на Західному схилі Українського щиту.

Прослідковується, що рівнинні території отримують на порядок більше сонячного саява, аніж до прикладу гірські та передгірні ландшафти. Гори є природним кліматичним бар'єром. Вони створюють особливі умови переливання повітряного потоку через їх гребні і скочування його по їх схилах (викликаючи місцеві вітри як фени, бора та ін.) і таким чином

формують хмарність. Часто вона утворюється саме з підвітряної сторони гір. Пасмурність утворюється, коли спостерігається вітер, спрямований перпендикулярно гірському масиву, в результаті чого часто виникає два типи хмар: хвилясті та купчасті. Взимку рівень конденсації опускається до нижнього поясу гір. Влітку картина змінюється навпаки - хмарність утворюються біля вершин. Хмари, що утворюються біля підніжжя внаслідок висхідних рухів повітря, часто сприймається як туман, і теж перешкоджають сталому проникненню сонячного сяйва на поверхню. Схожий ефект відбувається у складних формах рельєфу, таких як: западини, річкові долини та котловини.

На відміну від гірських ландшафтів, рівнинні не утворюють бар'єрів. Проте, важливий вклад у відбиванні сонячного проміння та утворенні хмарності над територією відіграють водні об'єкти. Біля морів або річок інтенсивність сонячного сяйва збільшується, внаслідок того, що самі гідрографічні об'єкти створюють дзеркальний ефект та стають центром притягання сонячного сяйва. В цей час, під час нагрівання всіх поверхонь землі, найбільша випаровуваність буде спостерігатись над водними об'єктами, і як результат - утворення суттєвої хмарності та збільшення інтенсивності опадів.

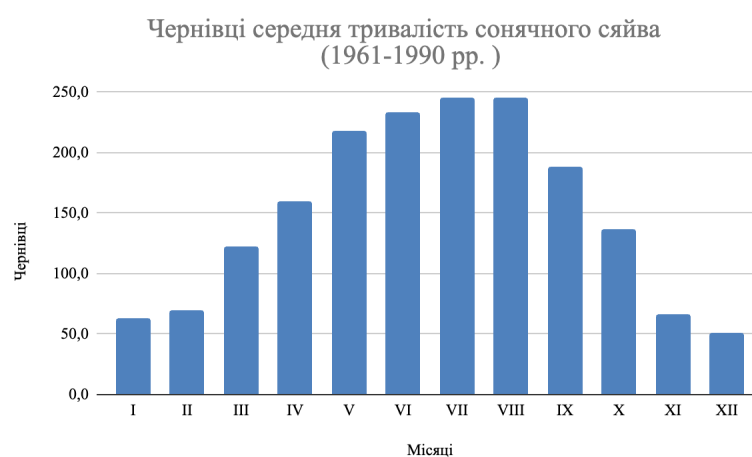
## Висновки до розділу 2

1. Зміна орбітальних фаз Землі є довгостроковим, але вагомим чинником тривалості сонячного саява. Внаслідок ексцентриситету змінюється форма орбіти Землі навколо сонця, формуючи віддалені та близькі фази наближення планети до Сонця. Внаслідок зміни куту нахилу земної осі похилість планети змінюється від 22,1 до 24,5 градусів, призводячи до суворості ключових пір року. Під час прецесії Землі одна півкуля відчуває більш екстремальні сезонні контрасти ніж інша.
2. Хмарність характеризується бар'єрним фактором для прохідності сонячного саява. Досліджувана територія розташована в межах помірною континентального клімату, при цьому атмосферна циркуляція над регіоном характеризується значною мінливістю. Переважний вплив тут займають західні вітри що приходять з атлантичного океану.
3. Підстилаюча поверхня є звязуючим фактором, який впливає на розподіл сонячного саява по поверхні землі: вона формує розподіл повітряних мас, що утворює хмарність, а також виступає перешкодою для останніх, формуючи місцевий мікроклімат. Середні висоти тут варіюються в середньому від 50 до 500 м. над рівнем моря.

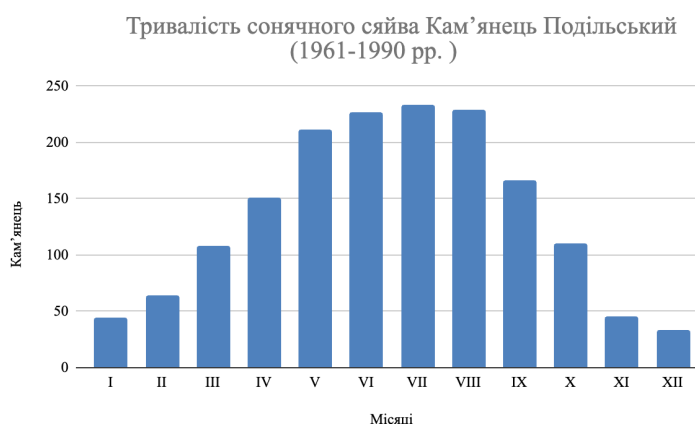
## РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ ТРИВАЛОСТІ СОНЯЧНОГО СЯЙВА ЗА ДАНИМИ СТАЦІОНАРНИХ МЕТЕОСТАНЦІЙ (1961-1990 РР.)

### 3.1. Кліматичні норми тривалості сонячного сяйва (1961-1990 РР.)

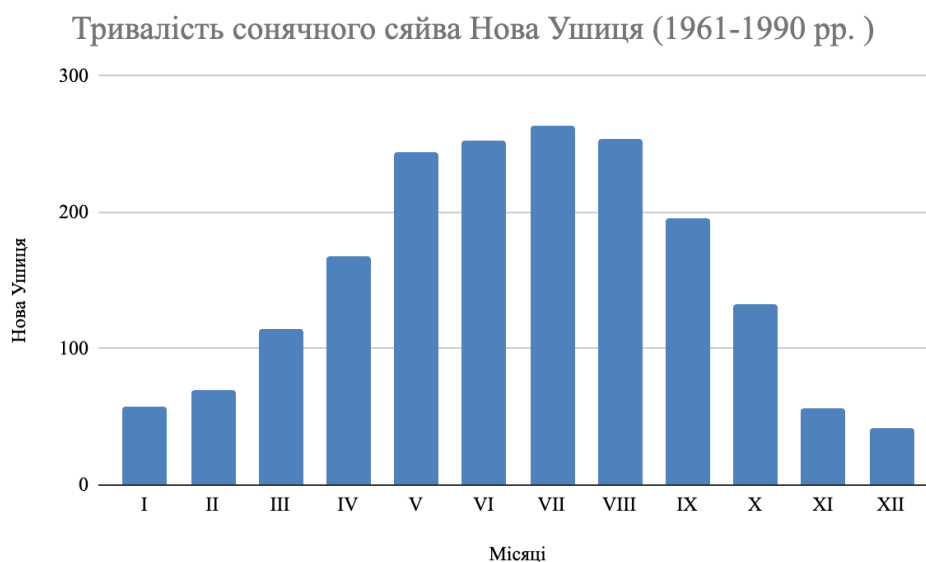
Кліматичні норми визначаються за показниками спостереження за тривалий період часу - 30-40 років. Дані кліматичного кадастру, які ми використали для дослідження, охоплюють собою 29 років спостережень.



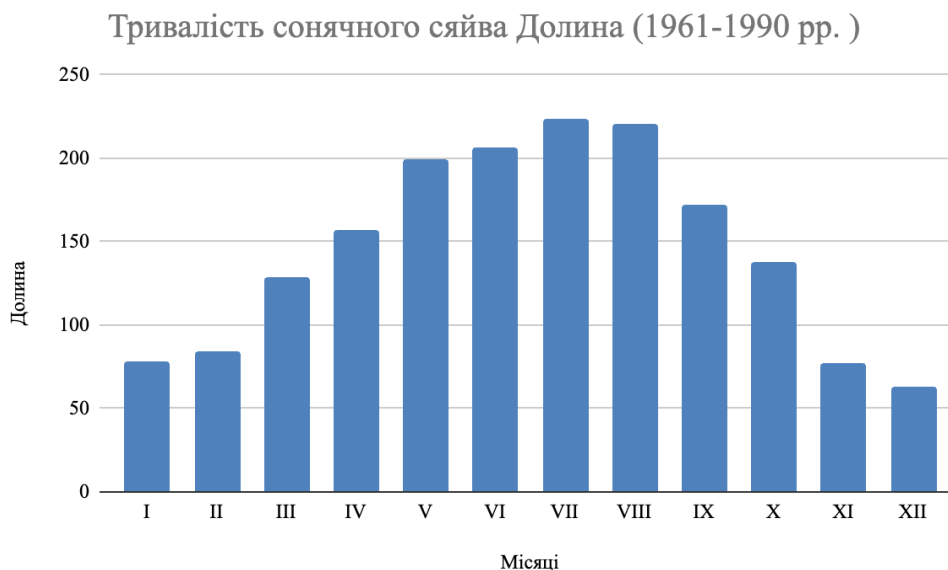
Традиційно, по Чернівцях ми бачимо значне підняття тривалості SDU починаючи з березня - квітня та різкий спад в грудні. При цьому максимального піку набувають значення в липні-серпні.



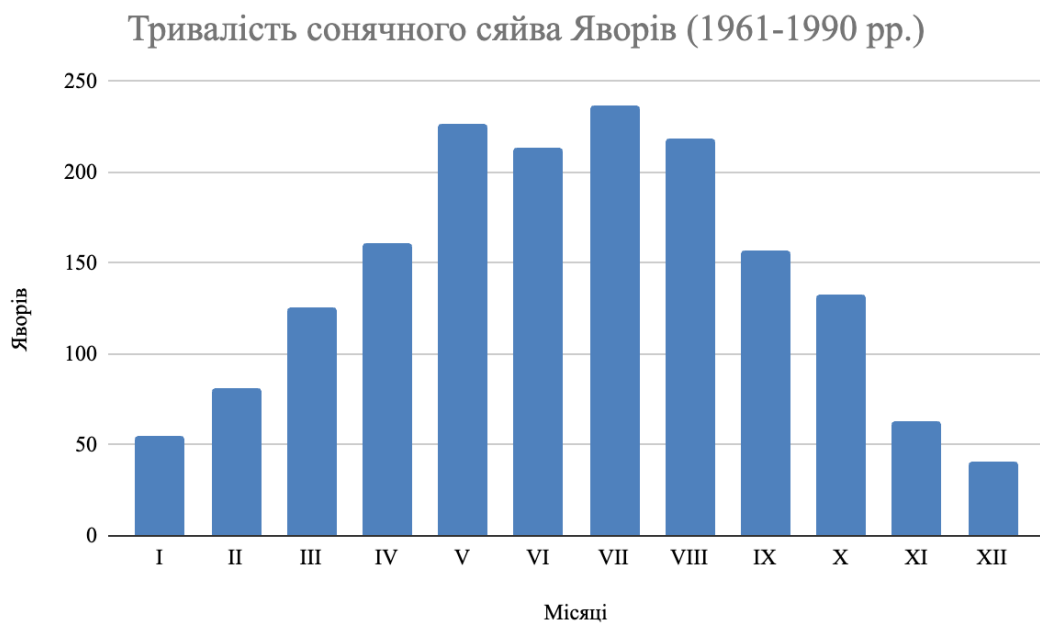
У м. Кам'янці Подільському усереднений хід SDU протягом року має схожість у поступовому розподілу по місяцях з Чернівцями, проте тривалість саява у перехідних місяцях дещо різниться, розрив між березнем та квітнем зменшується, при цьому ж збільшується розрив максимальних показників починаючи з листопада. Пікове значення по місяцях тут припадає на липень.



В м. Нова Ушиця кількісні значення SDU вищі ніж на попередніх двох станціях на 228 год (Кам'янець подільський) та 52 год (Чернівці). Максимальне значення SDU припадає на липень, значення перехідних місяців навесні зростає поступово, а восени з жовтня по листопад наступає значний спад.



На метеостанції Долина максимум за місяці припадає на липень, значення перехідних місяців збільшуються зі значним розривом з лютого-березня та жовтня - листопада. Усереднена кількість за рік варіюється між максимумами станцій у 103 години.



На метеостанції Яворів протягом місяців спостерігається змішана варіація що відрізняється від ходу тривалості сонячних годин попередніх досліджуваних станцій. Різке збільшення показника спостерігається в травні, а в червні - спад і максимум припадає на липень. Також розрив у кількості SDU фіксувалось з серпня-вересня та з жовтня по листопад, що показує значну відмінність динаміки на станції порівняно з іншими.

### 3.2. Розподіл тривалості сонячного сьйва по місяцях на основі даних ННГФО ім. Ю. Федьковича (2000-2020 рр)

Аналіз мінливості тривалості сонячного сьйва в розрізі місяців дозволяє виокремити особливості розподілу та трендові значення притаманні для даної території, визначити характер трендових значень.

В грудні, і взимку загалом, тривалість сонячного сьйва є природно низькою через кут потрапляння сонячного проміння на Землю, розподілу сезонів та географічної широти місцевості. Середнє значення цього місяця відповідає 47.7 год/міс. В 2007 році було зафіксовано найнижче значення за досліджуваній період- 13 годин. Найвищим значенням виділився грудень 2015 року- аж 112 сонячних годин. (Див. Рис.3.2.1.)

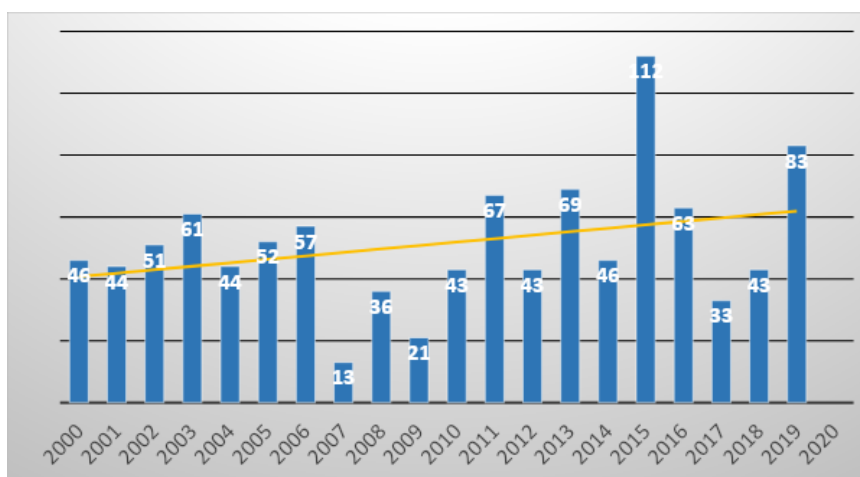


Рис.3.2.1. Тривалість сонячного сьйва за грудень 2000-2020 рр. (год)

В січні тривалість сонячних годин дещо більше порівняно з груднем. Середня тривалість по місяцю відповідає числу в 51,7 год/міс. Максимум у 103 годин був зафіксований в 2020 році, це найбільше значення по даному місяцю за останні 30 років. Проте він поступається максимальному значенню попереднього місяця. Мінімум становить 26 годин, що на 5 годин більше за попередній. (Див. Рис. 3.2.2.)



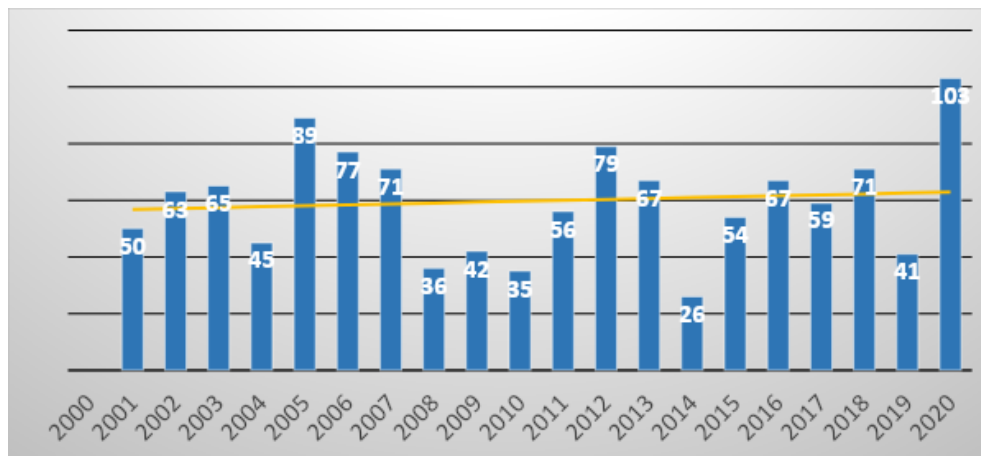


Рис. 3.2.2. Тривалість сонячного сьйва січень 2000-2020 рр. (год)

В лютому середній показник становить 70 годин на місяць, що майже на 20 годин більше за попередній. Мінімум був зафіксований в 2013 році 45 годин/на місяць. Максимум ж спостерігався 2002 року – 118 годин. ( Див. Рис. 3.2.3.)

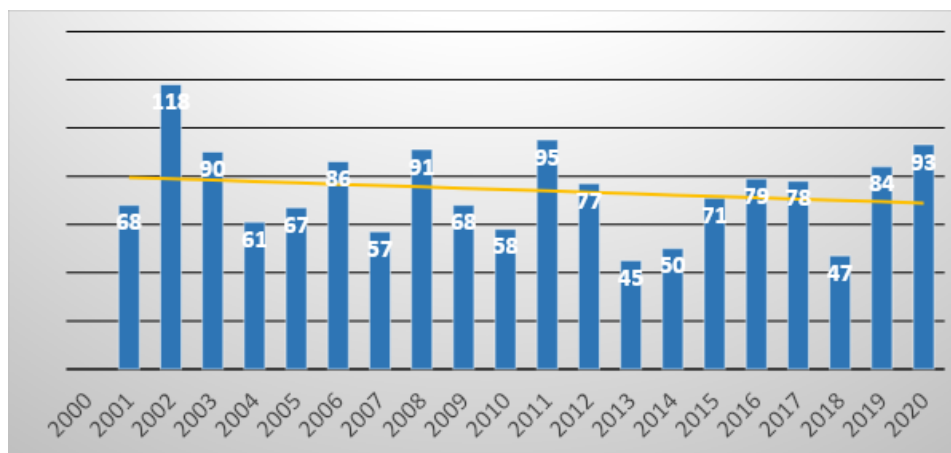


Рис. 3.2.3. Тривалість сонячного сьйва лютий 2000-2020 рр. (год)

Прихід весни ознаменується збільшенням потрапляння сонячних променів на поверхню Землі, і відповідним зростанням тривалості сонячного дня. Середні значення в березні підвищуються до 118 годин, а максимум за досліджуваний період був зафіксований в 2002 році. Мінімальне значення відповідає числу 90 годин, що є достатнім для різних сфер Земного комфортного життя. (Див Рис. 3.1.4.)

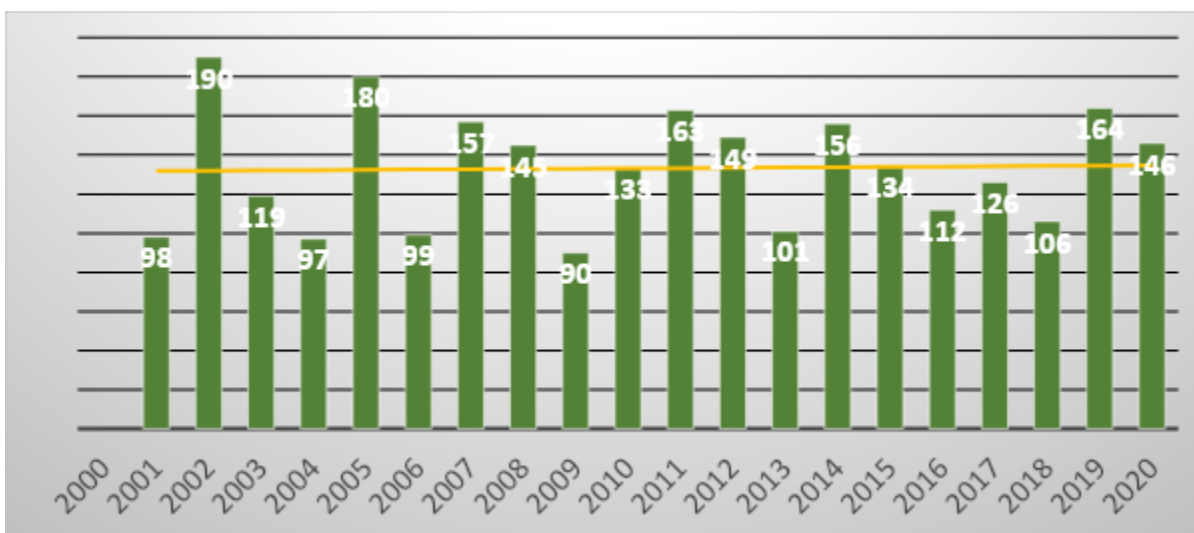


Рис. 3.2.4. Тривалість сонячного сяйва березень 2000-2020 рр. (год)

В квітні збільшення тривалості сонячного сяйва і надалі спостерігається. Середній показник порівняно з березнем збільшився від 118 до 163,8 годин. Максимум у квітні був зафіксований у 2020 році 269 годин. Мінімальне ж значення було зафіксоване у квітні 2008 року- 117 годин (Див.Рис.3.2.5.).

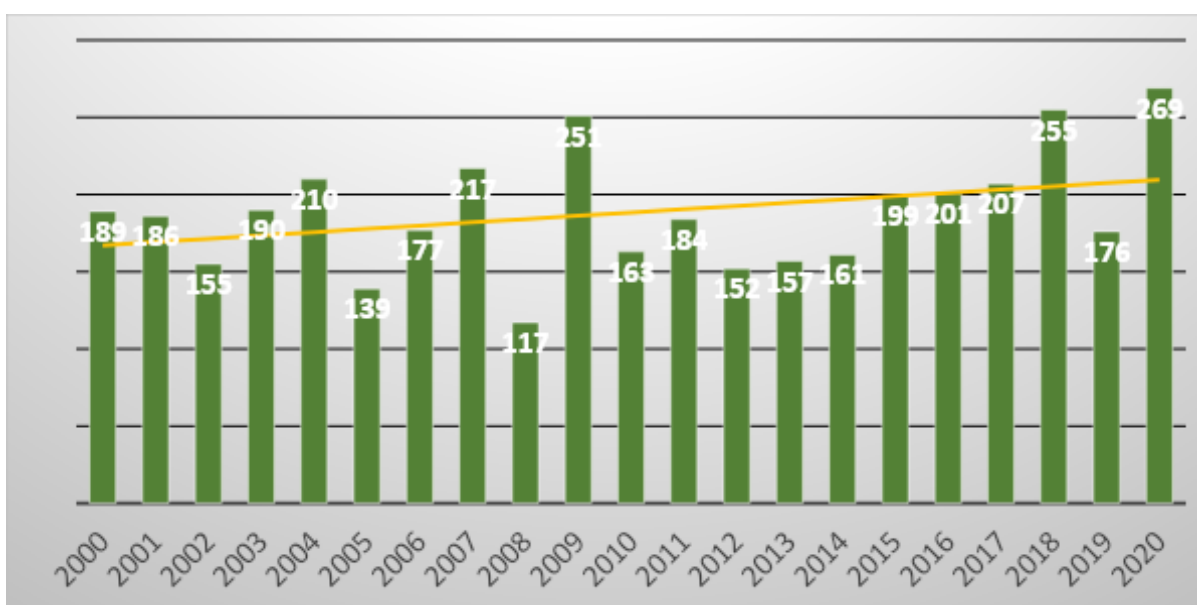


Рис. 3.2.5. Тривалість сонячного сяйва квітень 2000-2020 рр. (год)

У травні тривалість сонячного сяйва наближається до характеристик літніх місяців. Середнє значення відповідає 206 годин на місяць, а максимум 2000 року став рекордним за всі 30 років- 327 годин. Мінімум ж становив 150 годин в 2010 році. ( Див. Рис. 3.2.6.)

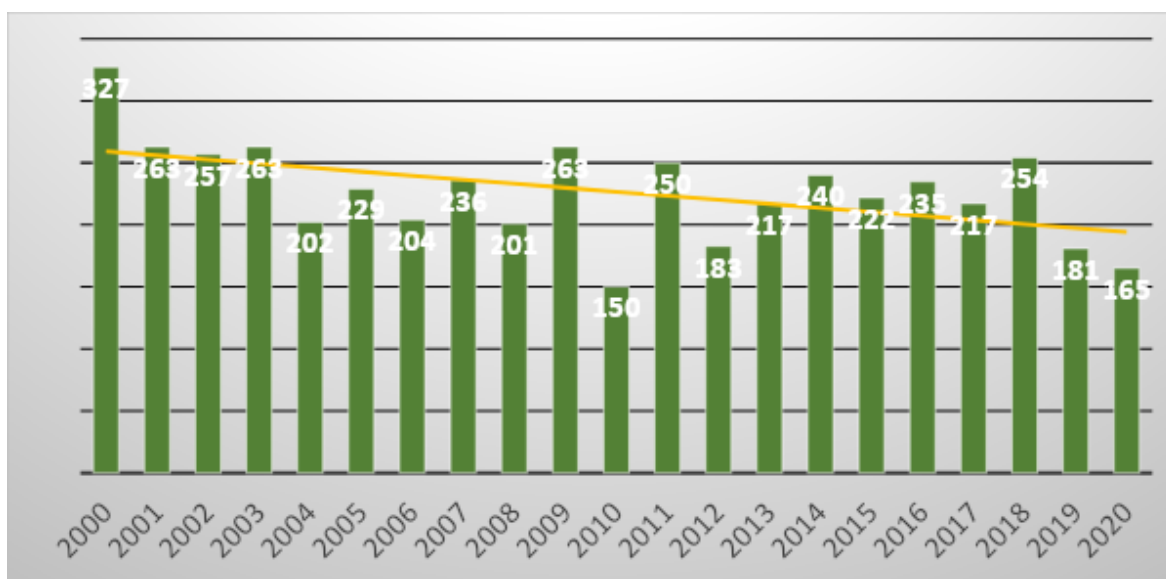


Рис. 3.2.6. Тривалість сонячного сяйва травень 2000-2020 рр. (год)

Влітку в наших широтах Земля здійснює нахил найближче до сонця. Тож тривалість сонячного сяйва збільшується в рази. Середнє значення підвищується до 215 год/міс, а максимум припав на 2007 рік- 279 сонячних годин. Мінімум зафіксували у 2010 році- 157 годин. (Див. Рис. 3.2.7.)

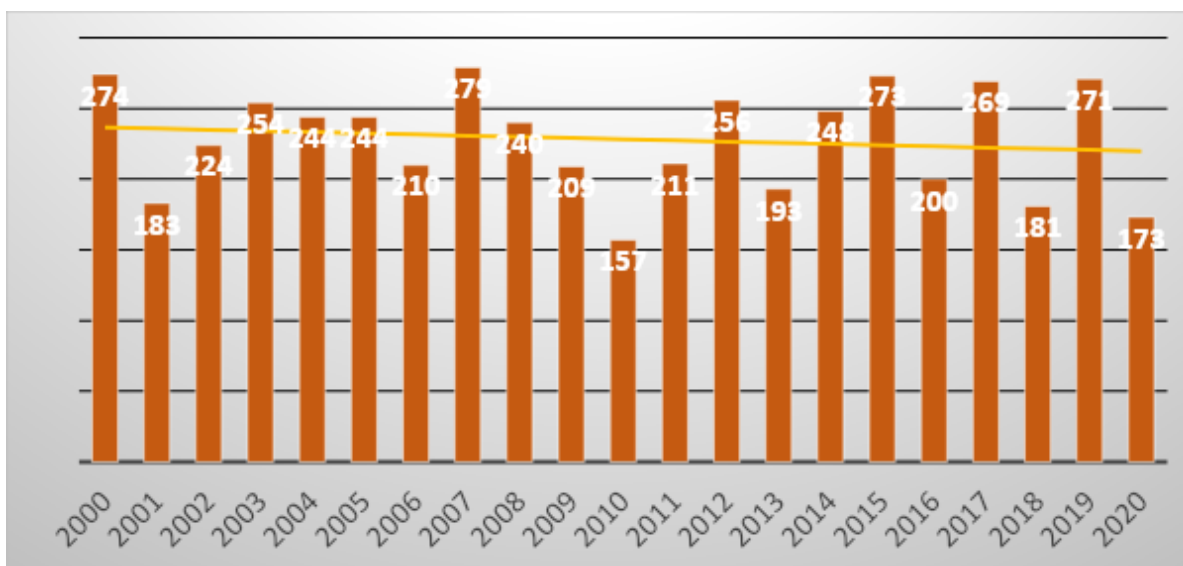


Рис. 3.2.7. Тривалість сонячного сьйва червень 2000-2020 рр. (год)

У липні ми можемо спостерігати одні з найвищих показників. Середня тривалість сонячного сьйва становить 236 годин, максимум ж спостерігався у 2006 році і становив 306 годин. Мінімальному значенню відповідає 200 годин на місяць які були зафіксовані у 2018 році. (Див. Рис. 3.2.8.)

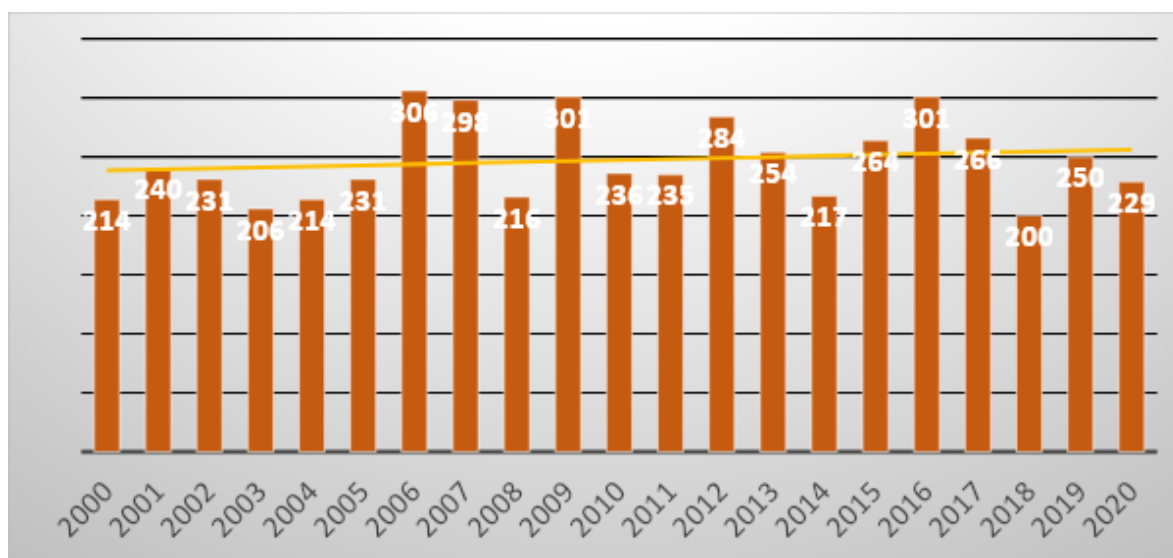


Рис. 3.2.8. Тривалість сонячного сьйва липень 2000-2020 рр. (год)

Серпень характеризується найвищими показниками тривалості сонячного сьйва і рекордом загалом. У 2020 році було зафіксовано аж 314

годин на місяць, чого не спостерігалось останні 30 років в жодному місяці. Середній показник відповідає числу 228,2, а мінімальний показник був зафіксований у 2018 році- 200 сонячних годин. (Див. Рис. 3.2.9.)

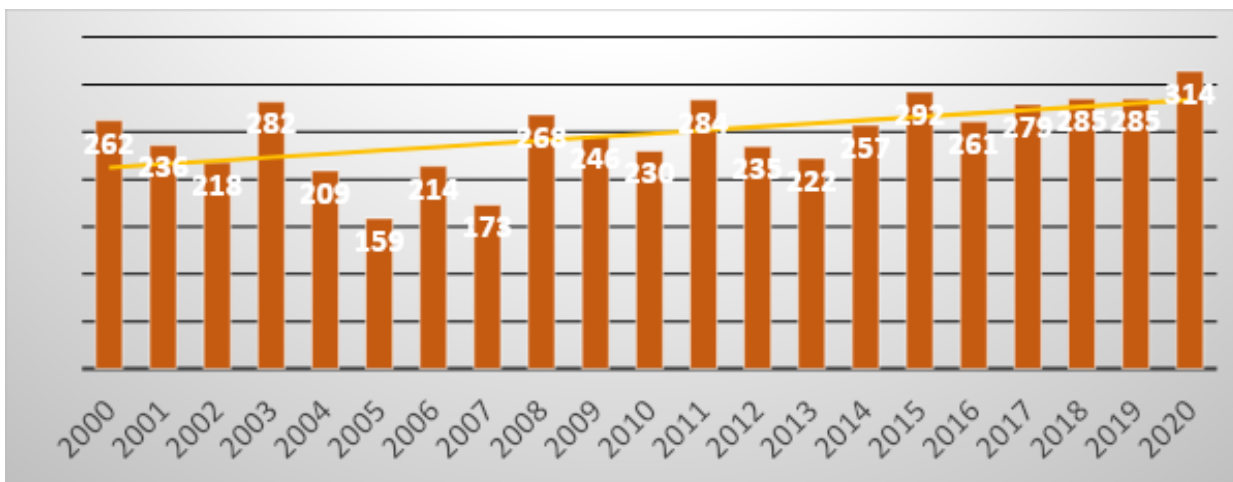


Рис. 3.2.9. Тривалість сонячного сяйва серпень 2000-2020 рр. (год)

З початком осені сонце підіймається все вище над зенітом, і поверхня починає отримувати сонячного проміння все менше. Вересень характеризується середнім показником в 156 годин на місяць. Максимальне значення було зафіксоване у 2014 році, тоді за місяць територія отримала 249 годин тривалості сонячного сяйва. Найменший показник відповідає цифрі 99. (Див. Рис. 3.2.10.)

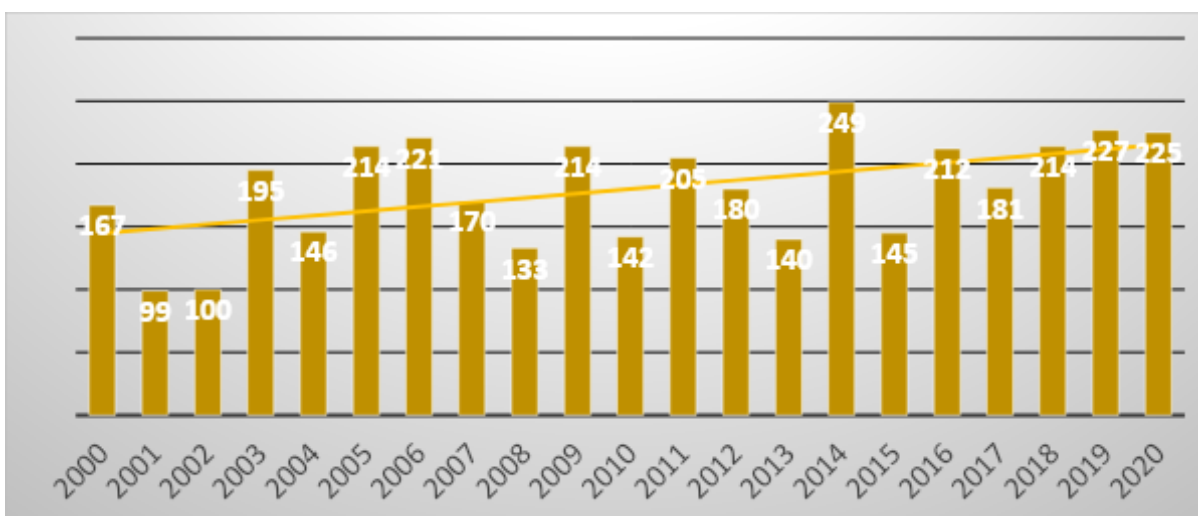


Рис. 3.2.10. Тривалість сонячного сяйва вересень 2000-2020 рр. (год)

В жовтні динаміка тривалості сонячного сяйва дещо схожа до попереднього місяця. Середня тривалість в місяці відповідає 123 годинам, максимум і мінімум тривалості сонячного сяйва були зафіксовані в 2018 (185 годин) та в 2009 (83 години) роках. (Див. Рис. 3.2.11.)

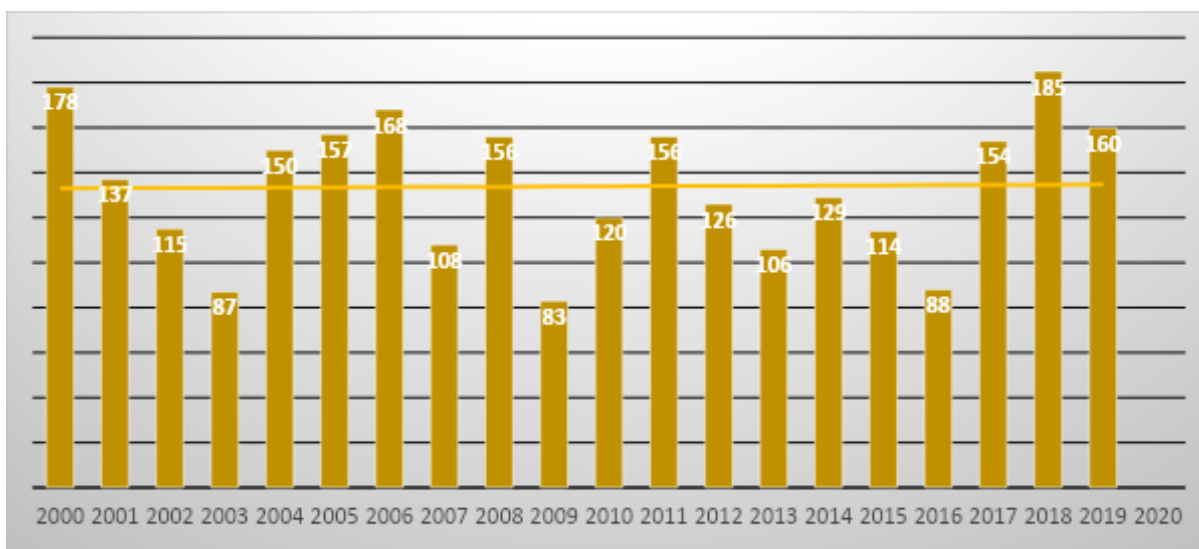


Рис. 3.2.11. Тривалість сонячного сяйва жовтень 2000-2020 рр. (год)

Листопад стає рубіжним місяцем від світлового переходу теплої пори року, до зтяжної холодної. Саме в цьому місяці ми можемо спостерігати різку зміну тривалості сонячного сяйва - її зменшення. Середня тривалість по місяцю складає 52 години, що порівнюючи з попереднім місяцем менше на більш ніж 50 годин. Максимум показників був зафіксований у 2010 році – 92 години, а мінімум- 26 годин у 2017 р.

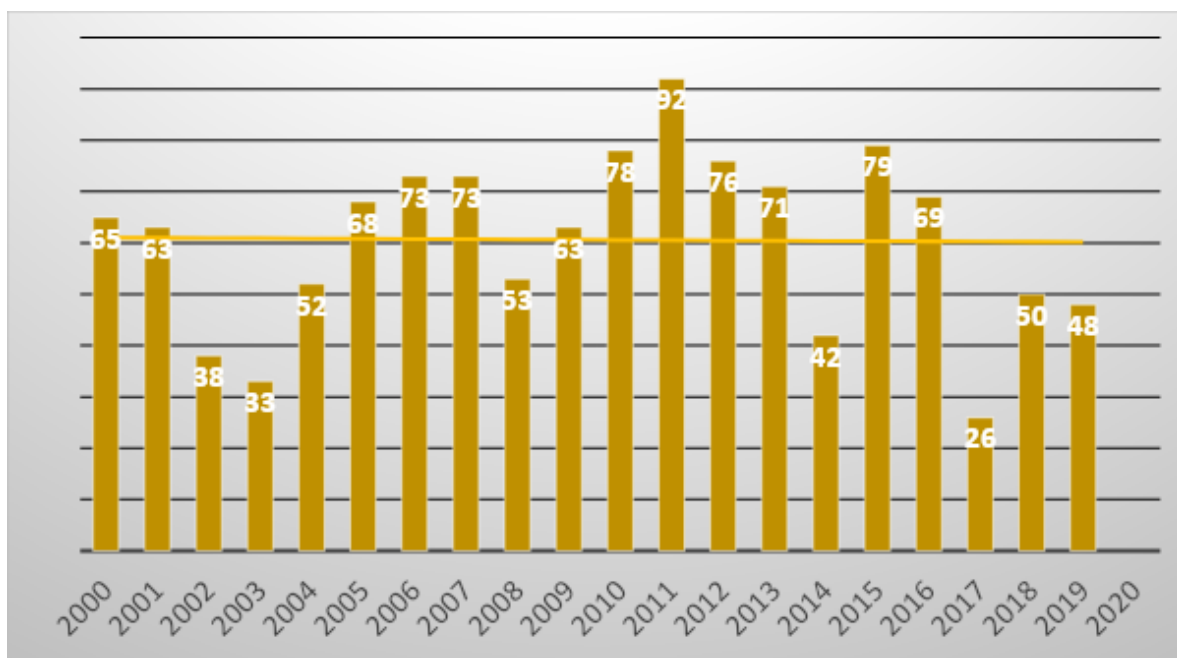


Рис. 3.2.12. Тривалість сонячного сьйва листопад 2000-2020 рр. (год)

Аналіз даних за допомогою діаграми розмаху на Рис. 3.1.13. показує мінливість тривалості сонячного сьйва по кожному місяцю, її розмах від найменшого показника до найбільшого. На рисунку «вуса» двох ящиків не перекриваються, і це можна сприймати як доказ статистично суттєвої різниці між медіанами.

Прослідковується, що найбільшій мінливості набувають саме місяці перехідних пір року, весни та осені. Най виразнішою різницею характеризується квітень, травень та вересень. Дана ознака виражається на рисунку 3.2.13. «вусами». Сама ж основа «коробки» з відділами, вказує на перерозподіл між годинами з сонячним світлом та без нього. У весняні місяці розподіл сонячних годин майже рівномірний, в той час як влітку кількість сонячних годин зростає, взимку- скорочується.

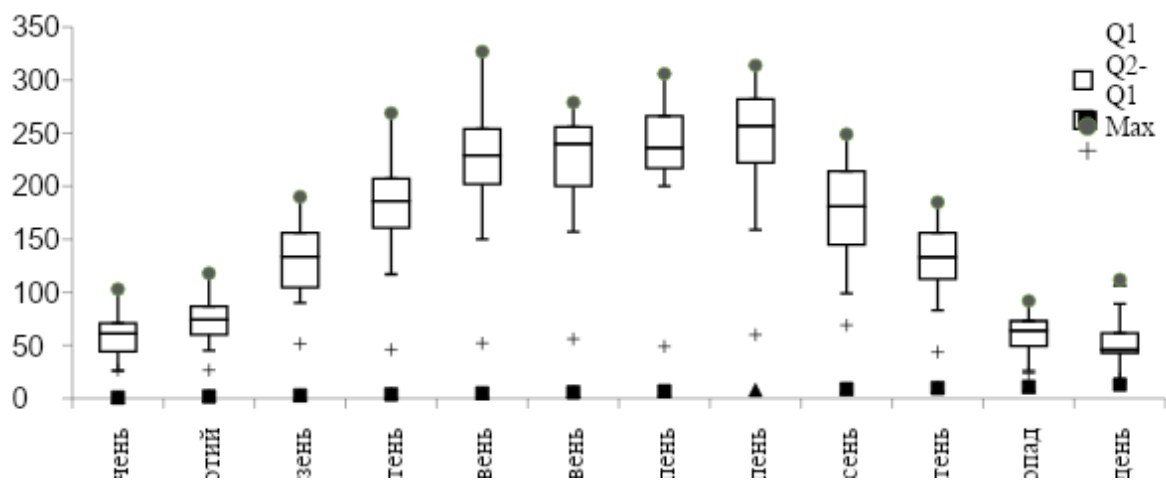


Рис. 3.2.13. Розподіл тривалості сонячного сява в м. Чернівці 2000-2020 р



### 3.3. Розподіл тривалості сонячного сяйва по сезонах

Часові особливості розподілу тривалості сонячного сяйва по сезонах полягають у природному розмаху коливань максимумів та мінімумів для наших широт.

Показники *весняного періоду* складають 30% від загальної річної суми. Середнє значення тут відповідає 162 годинам, а найбільший розмах між максимумом і мінімумом виявляється в травні. Тренди річних сум по місяцях показують в березні: коливання лінії було різновекторним з максимумами в 2002, 2011, 2019 роках. В квітні зміни відбулися незначні, із спадом на половину досліджуваного періоду. Починаючи з 2011 року лінія тренду набирала додатних значень. У травні ми можемо спостерігати спад з 2000 року до 2013 р. До сьогодні тренд має площинний напрямок із мінімальним додатним показником.

Тривалість сонячного сяйва в *літній період* складає 42% від усієї річної кількості. Середнє значення по сезону складає 226 годин. Перший місяць літа не вирізняється коливаннями лінії тренду, показники зрівнюються і переходять до зменшених. У липні тренд прослідковується більш помітно, тут виділяються чіткі спади в 2001, 2012 та 2018 роках. Серпень характеризується додатними коливаннями в 2006, 2015 та в 2020 роках.

*Осінній період* складає всього 20% тривалості сонячного сяйва. Середнє значення по сезону дорівнює 114 годинам. У вересні динаміка тренду є розширеною у період з 2000 по 2006 рр. В наступний відрізок часу коливання є менш значними із зростанням у 2011 та 2018 роках. У жовтні спостерігаються відчутні періоди спаду та зростання тренду, спад в 2000, 2007 та 2023 роках. Чітке ж зростання відбувається на кінець досліджуваного періоду. Листопад показує значну амплітуду коливань

показників: спад в 2002 році, і підняття до 2011 року, після чого лінія тренду знову йде на спад.

*Зимовий період* вносить свою частку лише в 8% від усієї річної тривалості сонячного сяйва. Середній показник взимку зменшується до 109 годин, а лінія тренду має коливальний характер, без чітко виражених тенденцій.

Середній розподіл показників по сезонах вказує на стандартний для наших широт перебіг пір року. Взимку сонячний день стає коротшим, відповідно тривалість сонячного сяйва зменшується, влітку та восени, як у перехідних пір року ця тривалість дещо збільшується порівняно від зими на 12% та 22%. Влітку, коли кут нахилу північної півкулі збільшується до сонця, спостерігається найбільша кількість тривалості сонячного сяйва (Див. Рис. 3.3.1.).

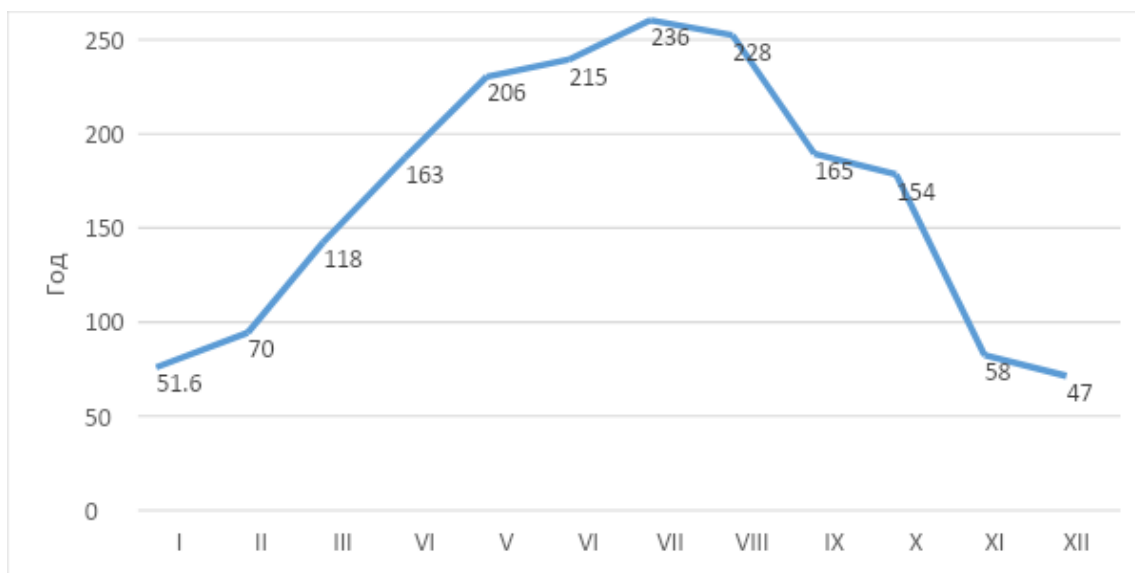


Рис. 3.3.1. Розподіл середніх показників тривалості сонячного сяйва по сезонах

### **3.4. Зміни тривалості сонячного сяйва (порівняно з кліматичною нормою)**

Розглядаючи нараховану загальну річну тривалість сонячного сяйва з 1985 по жовтень 2020 рр. метеорологічної станції НГФО ЧНУ, можна прослідкувати загальну картину, визначити особливості впливу тих чи інших чинників по кожному з років, та яскраво спостерігати за динамікою даних за період.

Упродовж останніх тридцять років тривалість сонячного сяйва в середньому становила 1762 години. Проте, якщо порівняти період з 1985 по 2000 рік з відрізком часу 2000 по 2020 рік, загальна річна сума тривалості сонячного сяйва підвищилась на 260 годин (з 1525 до 1795 годин).

Мінімальний річний показник був зафіксований в 1997 році (1246 години). Цей спад пов'язаний з низкою факторів, зокрема зі зниженням сонячної активності в цей рік. Ще один мінімум зафіксований в 1999 році (1331 години), (Див. Рис. 3.4.1.). Максимуми ж спостерігались в 2012 (1992 год.) та 2019 (1970 год) роках.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сума
1985	42	71	148	143	136,7	164,4	216,9	271,9	175,7	104,6	83,4	25,8	1583
1986	51,1	68	124	151	217,2	216,4	247,4	255,8	195,3	101,8	64,2	30,9	1723
1987	81,8	86	87	176	280,1	222,3	247,7	261,3	227,2	104,9	58,1	88,7	1921
1988	41,4	83	97,3	111	158,9	258,9	261	201,4	206,5	112,7	24,3	46,9	1603,3
1989	29	43	93,1	122	181,3	198,3	271	228,1	117,3	188,3	63,5	21,9	1556
1990	87,3	86	133	132	237,1	196	289,1	201,5	140	123,9	78,3	39	1683,2
1991	57,2	106	193	180	182	240,5	226,1	283,2	264,2	132,9	52,3	38,5	1955
1992	72,2	45	82,7	103	124,2	213,2	198,3	172,3	134,8	127,2	28,7	52,7	1354
1993	74,5	46	86,3	105	126,3	213,6	197,6	177,4	132,4	127,3	26,4	52,1	1364,9
1994	73,6	47	79,7	103	131,6	213,2	195,6	175,4	131,9	128,9	27,2	60,1	1367,2
1995	77,8	48	88	108	128,9	212,2	200,1	178,7	137	126,7	32,3	55,9	1393,6
1996	22	57	108	155	199	212	248	194	118	85	34	17	1449
1997	14	25	65	163	227	226	189	141	64	71	41	20	1246
1998	20	52	123	150	215	224	194	179	132	87	43	28	1447
1999	30	62	96	157	188	206	183	190	116	55	26	22	1331
2000	24	24	109	151	213	244	228	161	138	73	45	27	1437
2001	31	69	98	189	327	274	214	262	167	78	65	46	1820
2002	50	68	89	186	263	183	240	236	99	137	63	44	1658
2003	63	118	190	155	259	224	231	218	100	115	38	51	1762
2004	65	118	190	155	259	224	231	218	100	115	38	51	1764
2005	45	90	119	190	263	254	206	282	195	87	33	61	1825
2006	82	68	181	137	227	247	231	157	215	155	69	52	1821
2007	76	87	99	177	205	199	308	215	221	169	73	57	1886
2008	9	87	10	177	205	199	308	215	221	169	73	88	1761
2009	36	92	145	115	201	139	216	272	135	156	55	34	1596
2010	40	68	91	251	150	210	296	272	135	156	55	34	1758
2011	34	59	133	165	150	158	235	231	141	121	75	43	1545
2012	56	96	161	184	249	212	232	283	204	157	91	67	1992
2013	43	78	125	181	233	283	256	181	149	146	77	79	1831
2014	66	47	100	158	215	197	253	221	139	104	71	68	1639
2015	26	48	156	159	235	247	215	257	249	129	43	46	1810
2016	67	79	112	201	235	200	301	261	212	88	69	63	1888
2017	59	78	126	207	217	269	266	279	181	154	26	33	1895
2018	71	47	106	255	254	181	200	285	214	185	50	43	1891
2019	41	84	164	176	181	271	250	285	227	160	48	83	1970
2020	103	93	146	269	165	173	229	314	225				

Рис. 3.4.1. Річні показники тривалості сонячного сяйва 1985- жовтень 2020.

Загалом, починаючи з 1999 року, різниці перепадів між річними сумами значно скоротились, а середньомісячні показники значно перевищують останні кліматичні норми.

Тренд ходу річної тривалості сонячного сяйва за досліджуваний час показує незначні коливання. Його підвищення фіксувалось в 1985, 1995, та 2013 роках (Див. Рис. 3.4.2.) Лінія тренду також вказує на збільшення кількості сонячних годин в період 1985-1987 рр., та в 1997 до 2019 року. Якщо порівнювати його хід, слідує що в останній період немає різких коливань тренду, на відміну від 1985-1997 років.

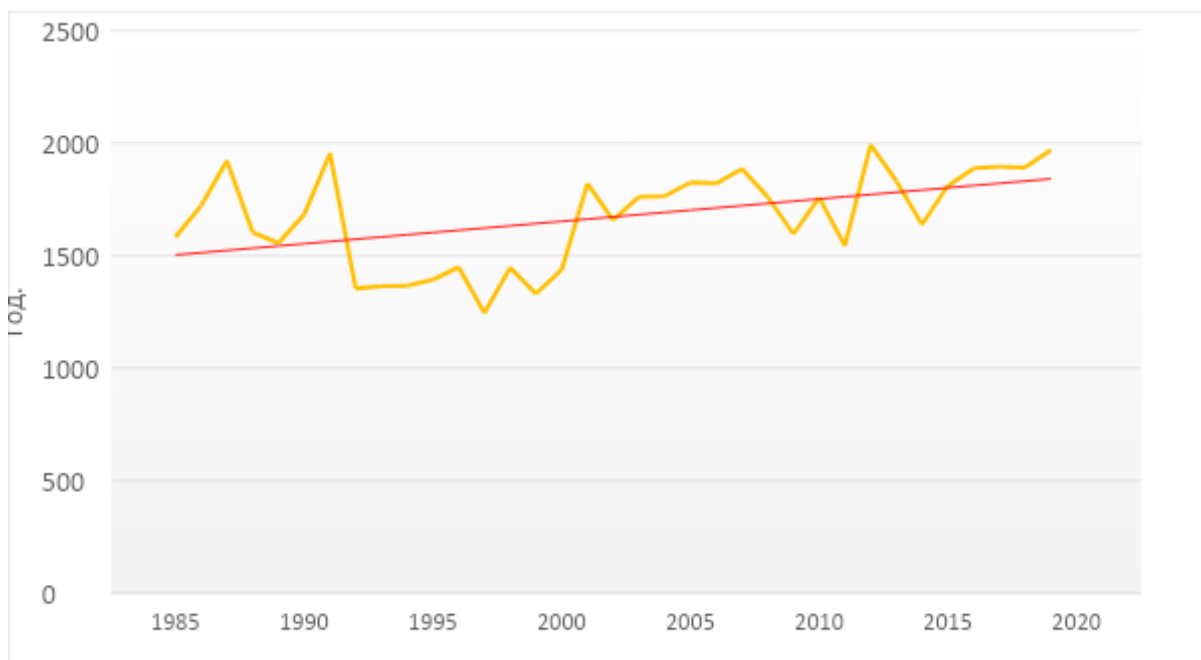


Рис. 3.4.2. Динаміка річних показників тривалості сонячного сяйва

На Рис. 3.4.3. зображений хід сонячної активності з 1995 по 2014 рік. Загальний індекс сонячної активності досягає мінімуму (рекордно низького рівня) 8,4 у вересні 2009 року. Порівнюючи з графіком тривалості сонячного сяйва (Див. Рис.3.4.3.) в цьому ж році був зафіксований спад тривалості сонячних годин. Наприкінці 2013 року ми можемо бачити максимум близько - 101 год. Високому значенню в 2013 році також відповідає тривалість сонячного сяйва в Чернівцях близько 2000 годин на рік.

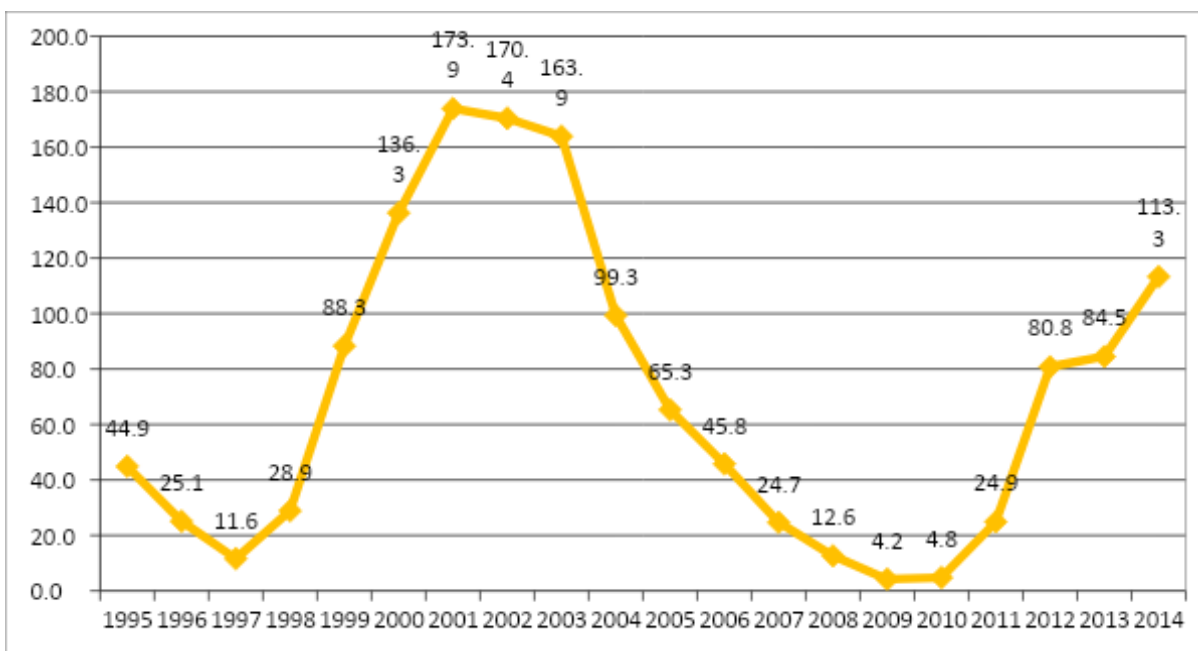


Рис. 3.4.3. Сонячна активність з 1995 по 2014 рр.

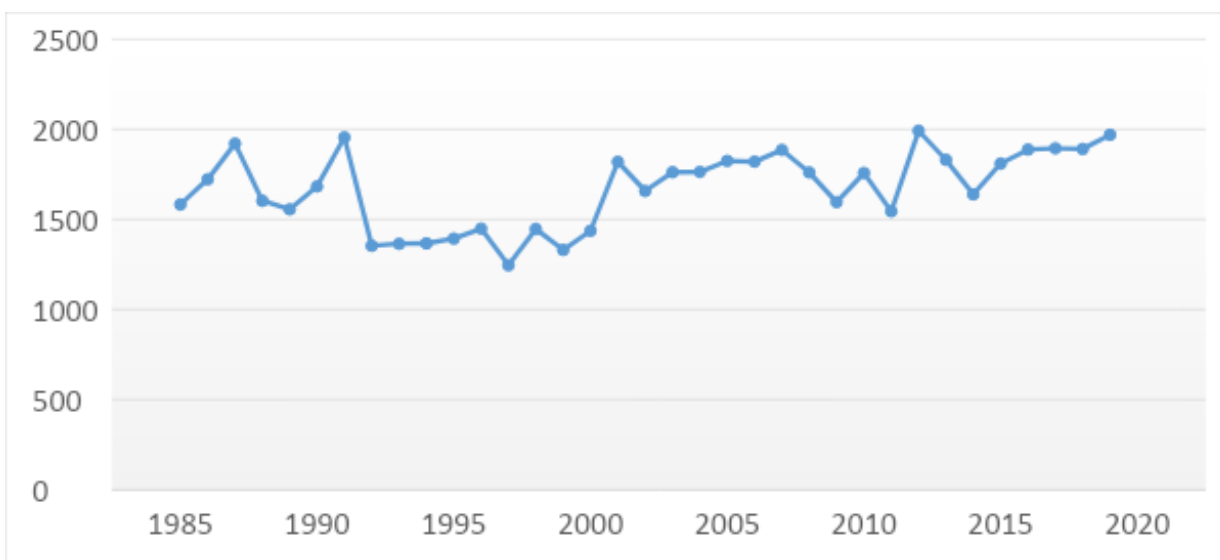


Рис. 3.4.4. Динаміка тривалості сонячного сйва 1985-2019 рр. (год)

### 3.5. Просторовий розподіл тривалості сонячного сяйва

Для просторової оцінки тривалості сонячного сяйва доцільно порівняти дані двох дзеркальних місяців що характеризуються піковими (максимальними і мінімальними) значеннями впродовж років.

В липні спостерігається характерний розподіл тривалості сонячного сяйва в широтному напрямку із яскраво вираженою азональністю при наближенні до гірської споруди Карпат. Зменшення кількості сонячних годин з висотою прямо пов'язується з бар'єрною функцією гір. Азональними елементами з високими показниками виступають рельєфні підняття, зокрема Хотинська та Подільська височини.

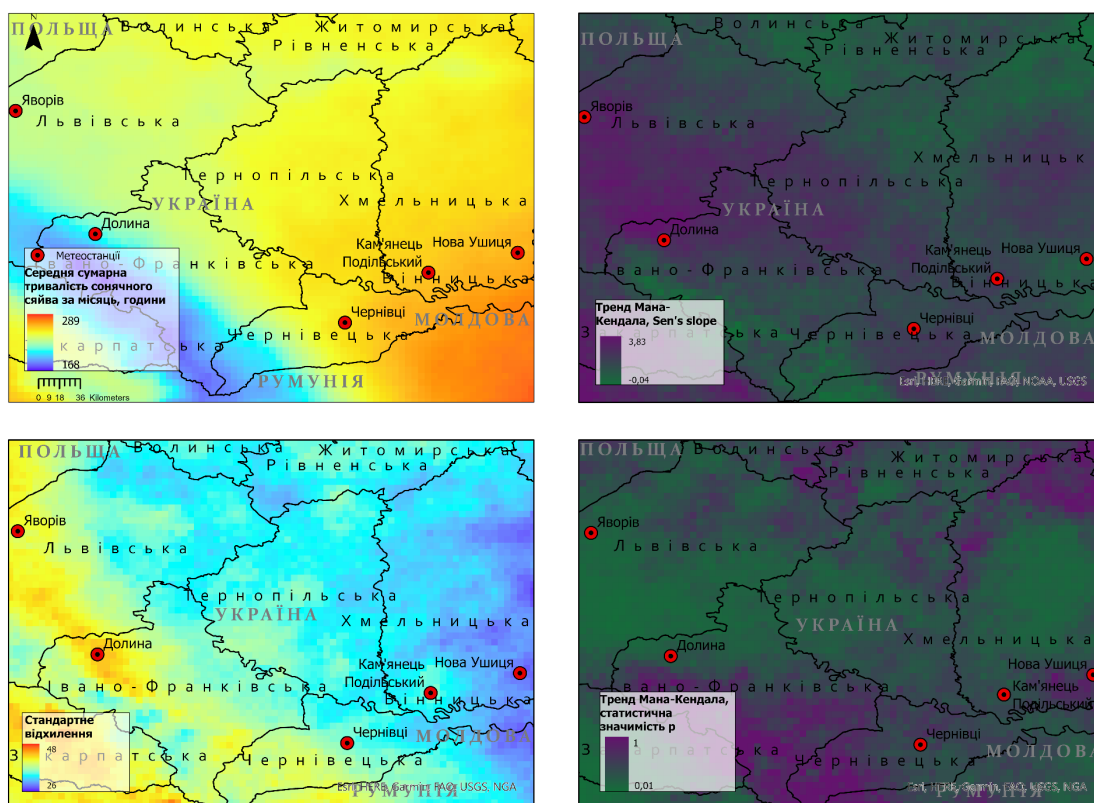


Рис. 3.5.1. SDU - липень

У січні ми можемо наглядно спостерігати розподіл тривалості сонячного сяйва у зв'язку з орографічними особливостями поверхні: на

картосхемі (Рис. 3.5.2.) наглядно показано як гірська система Карпат займає позиційне місце у розподілі атмосферних мас та запобігає потраплянню на територію середземноморського відгалуження полярного фронту. Також гірський масив Карпат в зимовий період отримує більшу тривалість сонячного сяйва за день у зв'язку висотною диференціацією та зменшенням кількості хмар з висотою.

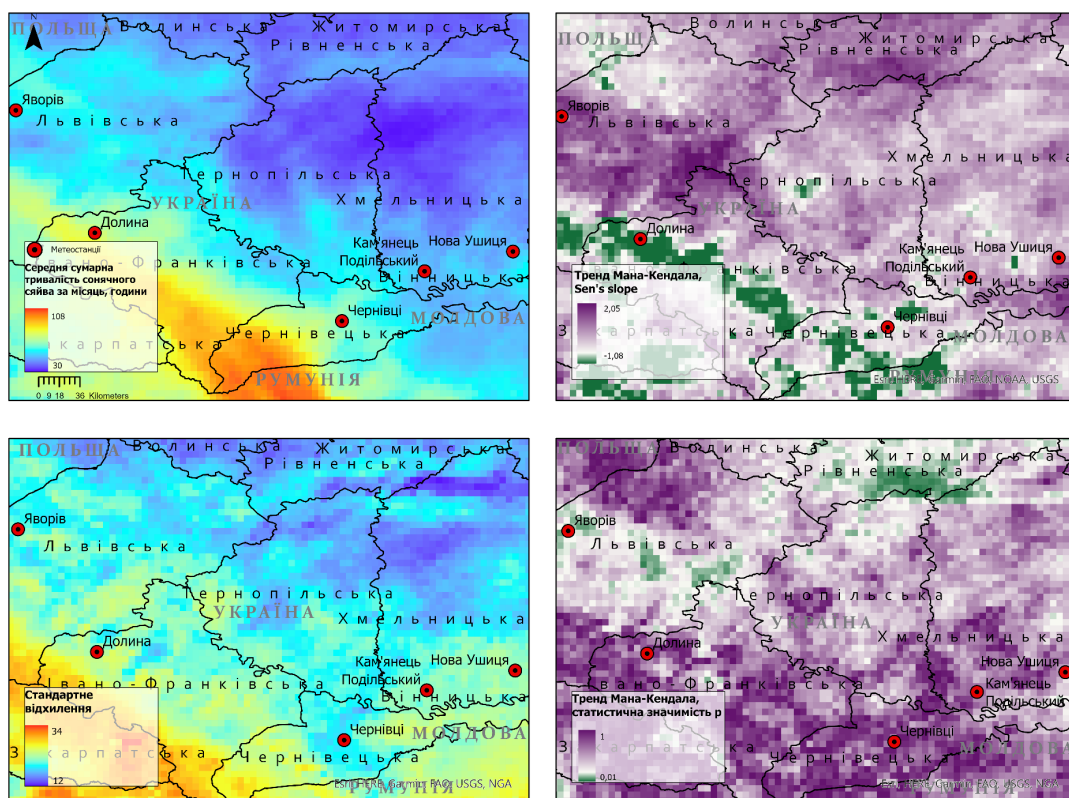


Рис. 3.5.2. SDU - січень



### Висновки до розділу 3

1. За даними кліматичного кадастру ми визначили, що умовною кліматичною нормою для регіону становлять: 53,2 год тривалості сонячного сяйва в Зимовий період, 122 год - в осінній, 166 год - в весняний та 233 год в літній періоди. Загальнорічна тривалість по регіону- 1747 год.
2. Аналіз річної тривалості сонячного сяйва за даними метеорологічної станції ННГФО ім. Ю. Федьковича ( ТМ-1 за період 1984-2015 рр.) вказує на збільшення кількості сонячних годин в період 1985-1987 рр., та починаючи з 1997 року до 2019. В останній досліджуваний період немає різких коливань тренду, на відміну від 1985-1997 років. Мінімуми за 35-річний період припадають на 1997 рік – 1246 годин, та 1999 рік- 1331 година.
3. Сезонний розподіл тривалості сонячного сяйва вказує на незмінно-високі показники в травні-вересні. Взимку тривалість сонячного сяйва значно зменшується, а значна мінливість показників припадає на перехідні пори року (весна, осінь). На весняний період припадає 30% всієї тривалості сонячного сяйва, на літній 42%, осінній 20% та зимовий 8%. Цей розподіл вказує на звичайний для наших широт перебіг пір року, їх світлового та термічного режиму.
4. Загалом, починаючи з 1999 року, різниці перепадів між річними сумами значно скоротились. Упродовж останніх сорок років тривалість сонячного сяйва в середньому становила 1762 години, проте, якщо порівняти період з 1985 по 2000 рік з відрізком часу 2000 по 2020 рік, загальна річна сума тривалості сонячного сяйва підвищилась на 260 годин.
5. Просторовий аналіз тривалості сонячного сяйва вказує на широтний розподіл SDU влітку з додатною варіацією з півночі на південь, при цьому з наближенням до гірської споруди Карпат яскраво вираженою

стає азональність показника. Взимку гірський масив Карпат в зимовий період отримує більшу тривалість сонячного саява за день у зв'язку висотною диференціацією території, при цьому розподіл SDU на рівнинній території вказує на збільшену тривалість сонячних годин паралельно до гір зі зменшенням до континентальної частини країни.

## ВИСНОВКИ

1. Сонячне випромінювання, що взаємодіє зі сферами Земної оболонки, створює разом радіаційний баланс. Він характеризується прямою, розсіяною, сумарною радіацією, альбедо поверхні та тривалістю сонячного сьйва. SDU, як основна з характеристик, визначається за допомогою груп приладів, що поділяються на традиційні (серед них геліограф Кемпбелла-Стокса, геліограф з фотографічним записом сонячного сьйва) та новітніх, серед яких лідерами є прилади для дистанційного зондування землі за допомогою інфрачервоного та інших кольорових спектрів.
2. На тривалість сонячного сьйва впливають багато чинників які можна розділити на внутрішні та загальнопланетарні. Внутрішніми чинниками є хмарність, що відіграє бар'єрну роль у прохідності сонячного сьйва та визначається відсотком вкритості неба хмарами, а також характер підстилаючої поверхні, який залежно від своїх особливостей сприяє або перешкоджає розподілу сонячних променів на поверхні. Астрономічними чинниками виступають особливості зміни орбітальних фаз Землі, кожна з яких є довготривалою в часі ( мільйони Земних років), але вагомою для розподілу сонячних характеристик по всій планеті. Внаслідок ексцентристету змінюється форма орбіти Землі навколо сонця, формуючи віддалені та близькі фази. Внаслідок зміни куту нахилу земної осі похилість планети варіюється призводячи до суворості ключових пір року. Під час працесії Землі одна півкуля відчуває більш екстремальні сезонні контрасти ніж протилежна. Також на SDU прямо впливають фази сонячної активності, витік енергії сонця є рушієм внутрішніх процесів ритмів Землі та впливає на розподіл показника.

3. Найвищі показники були зафіксовані в травні-вересні- 156-206 годин на місяць. Максимуми ж за досліджуваний період були зафіксовані в січні 2020 року ( 103 год.) та в квітні цього ж року (269 год.). В серпні 2020 р. зафіксований абсолютний рекорд в - 314 год. сонячного сяйва.
4. Сезонний розподіл тривалості сонячного сяйва впродовж 2000-2020 років показує на значну мінливість показників у перехідні пори року (весна, осінь). За виконаними обрахунками, що охоплюють 35 річний період тривалості сонячного сяйва, можна видіти збільшення середніх річних показників у другій частині часового періоду на 260 годин порівняно з першим.
5. За останній досліджуваний період 2000-2020 рр. немає різких коливань тренду, на відміну від 1985-1999 років. Мінімуми припадають на 1997 рік – 1246 годин, та на 1999 рік - 1331 година. Максимальні ж значення відповідають 1992 та 1970 годинам у 2012 та 2019 роках.
6. Загалом, починаючи з 1999 року, різниці перепадів між річними сумами значно скоротились, проте, якщо порівняти період з 1985 по 1999 рік з відрізком часу 2000 по 2020 рік, загальна річна сума тривалості сонячного сяйва підвищилась на 260 годин. Порівнюючи дані середньорічних показників SDU з ходом циклу сонячної активності - помітний зв'язок цих явищ
7. Просторовий розподіл тривалості сонячного сяйва вказує на особливість його мінливості при наближенні до гірської системи Карпат. Азонально тут можна спостерігати підвищення показника взимку, у зв'язку з висотною диференціацією та зменшенням кількості хмар, та зниженням влітку - що прямо пов'язується з бар'єрною функцією гір. При цьому в літній період прослідковується чітка широтна зональність в напрямку з заходу

на схід від азонального впливу Карпат, і відповідає особливостям широтних поясів Землі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антонов, В. С. (2004). Короткий курс загальної метеорології. Чернівці: Рута.
2. Байрак, Г. Р., & Муха, Б. П. (2010). Дистанційні дослідження Землі. Львів: Вид-во ЛНУ ім. Івана Франка.
3. Возняк, О. Т. (2010). Енергетичний потенціал сонячної енергетики та перспективи його використання в Україні. Вісник Національного університету "Львівська політехніка", (664).
4. Дмитренко, Л. В., & Барандіч, С. Л. (2007). Оцінка кліматичних ресурсів сонячної енергії в Україні. Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту, (256), 121-129.
5. Метеорологічні спостереження в стаціонарних умовах. (2003). Чернівці.
6. Метеорологія та кліматологія: Методичні вказівки до вивчення теоретичного курсу. (2002). ЧНУ.
7. Метеорологічні прилади: Методичні вказівки до лабораторних робіт. (2004). Чернівці.
8. Мохамед Саїд Мохамед Аль-Гухі. (2005). Оцінка геліоенергетичних ресурсів Аравійського півострова (Автореф. дис... канд. геогр. Наук. Одес. держ. екол. ун-т).
9. Сергеева, Т. М. (2015). Невідомі Чернівці: нариси з історії метеорології та сейсмології. Чернівці.
10. Рибченко, Л. С. (2015). Потенціал геліоенергетичних кліматичних ресурсів сонячної радіації в Україні. Український географічний журнал, (4), 16-23.
11. Прокопенко К. О., Удова Л. О. Сільське господарство України: виклики і шляхи розвитку в умовах зміни клімату / К.О. Прокопенко, Л.О. Удова // Економіка і прогнозування. 2017. № 1. С. 92–107.

12. Москатов, Е. А. (2011). Источники питания. Киев.
13. Українська асоціація відновлюваної енергетики.  
(<https://uare.com.ua/novyny/575-sonyachni-perspektivi.html>)
14. Cebulska, M., Kholiavchuk, D. (2018). Atmospheric droughts in the Polish and Ukrainian Carpathians in the years 1984-2015. Hydrology in natural and anthropogenic environments (Hydro2018). 4-7 September 2018, Kraków, Poland.
15. Charbonneau, P. (2010). Dynamo Models of the Solar Cycle. Living Rev. Solar Phys., 7, 3.
16. Evolution of solar PV module cost by data source, 1970-2020. (Charts, Data & Statistics).
17. 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).
18. 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,  
[https://doi.org/10.5676/EUM\\_SAF\\_CM/SARAH/V003](https://doi.org/10.5676/EUM_SAF_CM/SARAH/V003).
19. Frigge, M., Hoaglin, D. C., & Iglewicz, B. (1989). Some Implementations of the Boxplot. February.
20. Friis-Christensen, E., & Lassen, K. (1979). Length of the Solar Cycle: An Indicator of Solar Activity Closely Associated with Climate. Science, 254(5032), 698-700.
21. Lourens, L. J. (2021). The variation of the Earth's movements (orbital, tilt, and precession) and climate change. In Climate Change (Third Edition): Observed Impacts on Planet Earth (pp. 583-606).

22. McGill, R., Tukey, J. W., & Larsen, W. A. (1978). Variations of Box Plots. *The American Statistician*, 32(1), 12–16.
23. Rampino, M. R. (1979). Possible relationships between changes in global ice volume, geomagnetic excursions, and the eccentricity of the Earth's orbit. *Research Article*, December 01.
24. Solar Cycle Prediction. (<https://solarscience.msfc.nasa.gov/predict.shtml>)
25. Kynal O., Kholiavchuk, D. (2016). Climate variability in the mountain river valleys of the Ukrainian Carpathians. *Quaternary International*, 415, 154–163. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.12.053>
26. Walker A. *Solar Energy Technologies and the Project Delivery Process for Building*. Copyright 2013 by John Wiley and Sons. Inc. - 298 p.