

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. КАРАЗІНА**

Факультет геології, географії, рекреації і туризму

Кафедра фізичної географії та картографії

До захисту допустити
зав. кафедри _____ доцент **Анатолій БАЙНАЗАРОВ**
« _____ » _____ 2025 р.

**КАРТОГРАФУВАННЯ РАДІАЦІЙНОГО РЕЖИМУ
НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

Виконав: студент 4 курсу, групи ГК- 41
спеціальність: 106 Географія
освітньо-професійна програма:
Картографія, геоінформатика і кадастр
Богдан Русланович ШТУНДЕР
Науковий керівник:
доц. Світлана РЕШЕТЧЕНКО

Кваліфікаційна робота захищена з оцінкою

Голова ЕК **Валентина РЕДІНА**

Секретар ЕК **Тетяна БУЛГАКОВА**
« _____ » _____ 2025 р.

Харків – 2025

ЗМІСТ

стор.

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. НАУКОВІ ЗАСАДИ КЛІМАТИЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ....	5
1.1 Український науковий досвід картографування кліматичних умов.....	5
1.2. Висвітлення проблеми картографічного моделювання клімату у працях зарубіжних вчених.....	15
1.3. Методика дослідження.....	24
РОЗДІЛ 2. КЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ.....	31
2.1. Особливості динаміки та сучасного стану кліматичних умов України.....	31
2.2. Роль радіаційного фактору у формуванні клімату України.....	42
РОЗДІЛ 3. ЗАСТОСУВАННЯ КАРТОГРАФІЧНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОШИРЕННЯ І ДИНАМІКИ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ НАД ТЕРИТОРІЄЮ УКРАЇНИ.....	47
3.1. Розробка серії геозображень «Радіаційний режим території України».....	47
3.2. Геопросторовий аналіз картографічних зображень.....	52
ВИСНОВКИ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58

ВСТУП

Вивчення особливостей режиму поширення сонячної радіації у нижньому шарі атмосфери є надзвичайно актуальним у сучасному науковому світі через свій прями́й зв'язок зі змінами клімату, які впевнено можна назвати авангардним напрямом не лише географічних наук, а й усіх природничих і навіть соціальних, оскільки окрім суто наукового інтересу ці зміни викликають жваву суспільну дискусію майже в усіх країнах світу. Сонячна радіація є одним із трьох факторів, які формують кліматичний режим території України, а тому зміни у характері її поширення і поглинання земною поверхнею мають прями́й вплив на температурний режим повітря України, що, в свою чергу, впливає на усі галузі, що залежать від кліматичних умов – повітряний і водний транспорт, сільське господарство і туризм. Відповідно, потрібним є узагальнення відомостей про динаміку радіаційного режиму України, а найбільш оптимальним методом для цього є картографічний, оскільки він дозволяє оцінити не лише часову динаміку зміни цього показника, а й особливості його просторового поширення. Крім того, сучасні геоінформаційні технології дозволяють розширити коло аналітичних можливостей і зробити наукові результати більш математично виваженими і точними, що дозволить використати результати цього дослідження для формування прогностичних сценаріїв майбутнього ходу радіаційного режиму України, а також оцінити, який вплив на кліматичні умови країни він має на сучасному етапі.

Метою даної роботи є створення серії картографічних зображень для ілюстрування сучасного просторового характеру радіаційного режиму України.

Об'єктом дослідження є територія України та суміжні території сусідніх країн. *Предметом* дослідження є радіаційний режим нижнього шару атмосфери над територією України.

Для досягнення поставленої мети дослідження необхідно виконати ряд *задач*:

- вивчити науковий доробок українських вчених у галузі дослідження і картографування кліматичних умов;
- дослідити науковий досвід вчених з інших країн світу стосовно вивчення клімату і створення геозображень за кліматологічною тематикою;
- проаналізувати роль радіаційного режиму у формуванні клімату України;
- створити серію геозображень «Радіаційний режим території України» та проаналізувати отримані результати.

Основними *даними*, на яких ґрунтується дослідження, є наукові вісники, журнали, статті та інші періодичні видання за тематикою картографування кліматичних умов, статистичні дані щодо сонячної радіації з метеостанцій України та супутникових знімків за період 1991-2020 рр..

Серед основних *методів*, що використовуються у даному дослідженні, можна назвати геоінформаційний, картографічний, історико-порівняльний, дистанційного зондування Землі, аналіз наукових, статистичних джерел інформації.

Робота складається з вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел із 53 найменуваннями та 27 рисунків.

РОЗДІЛ 1.

РОЗДІЛ 1. НАУКОВІ ЗАСАДИ КЛІМАТИЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ

1.1. Український науковий досвід картографування кліматичних умов

Оскільки дане дослідження присвячене досить вузькому напрямку кліматичного картографування, то безпосередньо за цією тематикою, наукових публікацій налічується не дуже багато. Тому доцільним є проведення розширеного наукового-літературного огляду, який охоплює всі напрями кліматичного картографування та суміжні із ними напрями географічного картографування. Це є обґрунтованим, оскільки загальна методика створень картографічних творів для більшості кліматичних показників (температури повітря, кількості атмосферних опадів і т.д.) є приблизно однаковою і базується на ізолініях, заснованих на точкових даних, що розпорошені по певній території, і зазвичай мають не дуже значну детальність, оскільки отримання вихідних даних для кліматичного картографування чітко прив'язане до мережі метеорологічних станцій у рамках Державного Гідрометцентру ДСНС України, яка налічує 187 пунктів спостереження станом на 2025 р. [21].

Звісно, що для того аби покрити всю територію України цього недостатньо, і тому кліматологічна інформація є не надто детальною, однак варто зауважити, що це викликано і особливостями проходження самих кліматичних процесів. Так, наприклад, кількість сонячної радіації, що отримує земна поверхня (сумарна сонячна радіація) визначається, по-перше, сонячною активністю, оскільки саме Сонце є джерелом теплової енергії, що надходить до Землі. По-друге, рівень хмарності в конкретний час, який визначає співвідношення прямої радіації, що надходить безпосередньо до земної поверхні, та розсіяної радіації, що забирається хмарами і частково витрачається через властивості заломлення, які має хмара має завдяки вмісту крапельок води. Тобто кількість сонячної радіації залежить від факторів, які мають доволі велику площу охоплення. Так, кількість

енергії від Сонця чітко прив'язана до географічної широти, незалежно від рельєфу чи розташування точки, а хмари, які можуть впливати на надходження означеної енергії до земної поверхні, теж зазвичай мають досить великі розміри. Тому для загальних потреб людства цілком достатньо мати наявну базу метеорологічних станцій. Проте аби проводити максимально детальні дослідження, у тому числі на локальному рівні потрібна більш деталізована інформація, і тут на допомогу вченим приходять сучасні технології. В першу чергу, мова йде про дистанційне зондування Землі (ДЗЗ). Саме застосування супутників для сканування земної поверхні дозволяє отримувати максимально детальні шари даних щодо будь-яких кліматичних характеристик, у тому числі і для сонячної радіації. Але алгоритм отримання цих даних дещо складніший, ніж для інших показників, таких, як температура, оскільки безпосередньо від поверхні ми можемо отримати дані про температуру повітря біля землі, або кількість відбитої сонячної радіації. Тому опосередковано, враховуючи дані температури, показника альбедо та хмарності, вченими обраховується кількість сонячної радіації, яку отримує земна поверхня в тій чи іншій точці, і отримується результуюча карта (рис. 1.1).

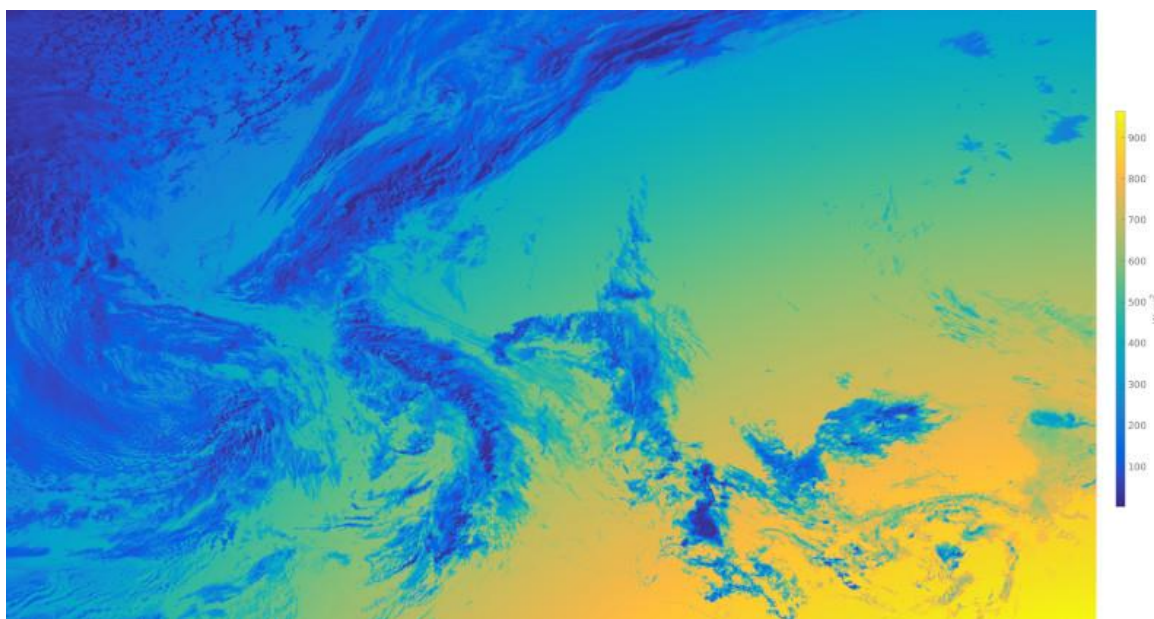


Рис. 1.1. Кінцева оцінка отриманого Землею сонячного випромінювання на основі даних хмарності, температури та альбедо (у Вт/м^2) [21]

Як видно із зображення (рис. 1.1), самі по собі результуючі карти не дають значних аналітичних можливостей для дослідників, і потребують географічної корекції (нанесення підкладки із розташуванням материків і океанів, найважливіших населених пунктів), яка допоможе із географічним детермінуванням кліматичних явищ та оцінкою їх ходу і можливих впливів на різних рівнях – від локального до глобального. Цим і обумовлюється необхідність залучення додаткових шарів даних, що обумовлює актуальність досліджень у цій тематиці.

Перш, ніж перейти до огляду основних наукових публікацій за тематикою картографування радіаційного режиму на теренах України, потрібно охарактеризувати базові теоретичні поняття, що використовуватимуться у даному дослідженні.

В першу чергу, це сонячна радіація. Існує багато варіантів визначень даної дефініції, але буде вірним зазначити, що сонячною радіацією називають усю енергію Сонця, яка надходить до Землі у вигляді електромагнітного і корпускулярного випромінювання [17]. Сонячна радіація не є однорідним потоком і характеризується наявністю хвиль різної довжини, що утворюють ряд діапазонів (рис. 1.2).

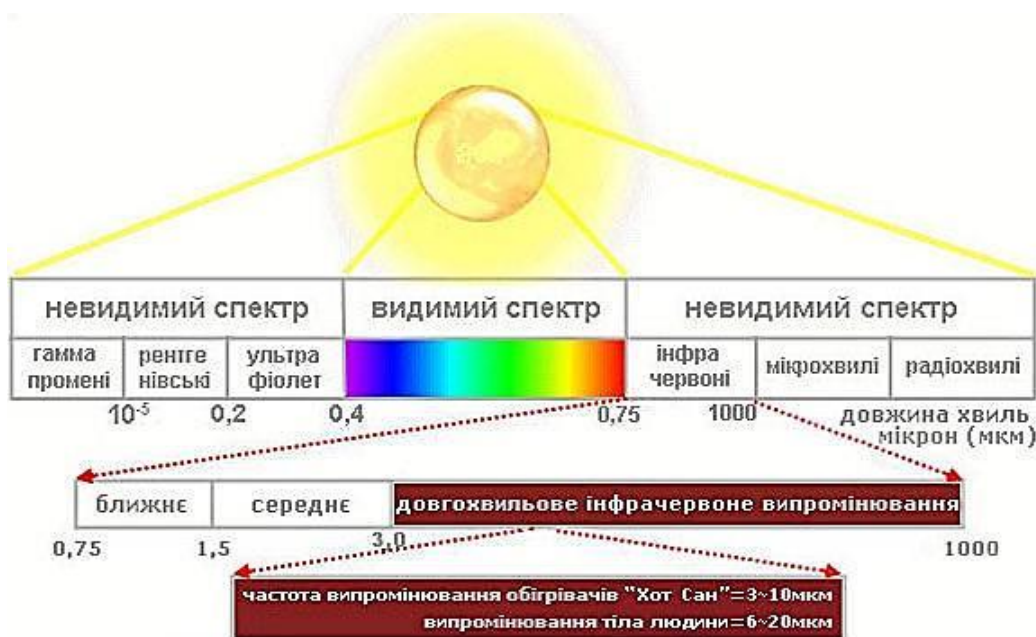


Рис. 1.2. Спектри сонячної радіації [17]

Найважливішими з практичної точки зору є ультрафіолетове, видиме та інфрачервоне випромінювання (рис. 1.1), оскільки видиме випромінювання фіксується зором людини, і відповідно визначає характер оточуючих предметів для людства, оскільки колірність об'єктів напряду залежить від їх здатності відбивати сонячну енергію і від здатності ока людини фіксувати це.

Ультрафіолетове випромінювання у невеликих дозах може використовуватися у медицині, а ось неконтрольоване поглинання енергії у цьому спектрі може спричинити серйозні проблеми зі здоров'я, і шкідливе також для багатьох видів рослин.

Інфрачервоне випромінювання має більшу довжину хвилі, і часто використовується у сонячній енергетиці (рис. 1.2).

Окрім класифікації за довжиною корпускулярних хвиль, сонячна радіація поділяється на ряд видів залежно від їхнього сприйняття земною поверхнею (рис. 1.3.).



Рис. 1.3. Види сонячної радіації [18]

Дана класифікація (рис. 1.2) демонструє, що сонячна радіація, яка безпосередньо досягає земної поверхні від сонця, називається прямою. Саме вона є найбільш енергоефективною з точки зору нагрівання земної поверхні, а відповідно і приземного шару атмосфери, а також і з точки зору сонячної енергетики.

Якщо ж сонячна радіація, перш, ніж досягти земної поверхні, проходить хмари, то вона називається розсіяною. Справа у тому, що хмари складаються з дрібних крапельок води або кристаликів льоду. Вода має дуже гарні властивості заломлення сонячних променів. Відповідно, хмари діють, як сотні маленьких дзеркал, що переміщують сонячні промені з однієї сторони в іншу. Таким чином, відбувається поступове прогрівання хмари, і лише потім частина цієї енергії зможе досягнути земної поверхні. Відповідно, витративши частину своєї енергії, розсіяна сонячна радіація прогріває земну поверхню значно менше, ніж пряма. Разом пряма і розсіяна радіація являють собою сумарну радіацію, яка і характеризує сукупність тієї сонячної енергії, що отримує земна поверхня.

Далі частина сумарної радіації поглинається земною поверхнею, а частина відбивається в атмосферу. Саме поглинута радіація прогріває земну поверхню, від якої потім прогрівається і нижній шар атмосфери.

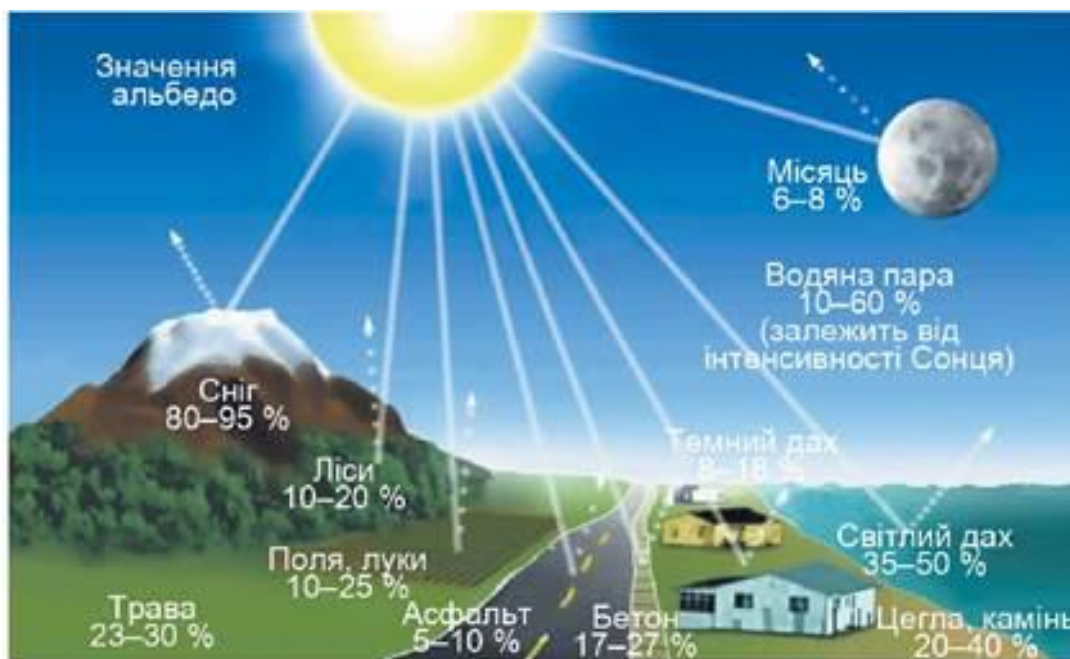


Рис. 1.4. Показник альбедо у різних поверхонь [18]

Кількість же відбитої радіації напряму залежить від характеру підстилаючої поверхні. Наприклад, у снігу майже вся радіація відбивається, а темний ґрунт поглинає майже всю сумарну радіацію (рис. 1.4). Співвідношення відбитої радіації до сумарної має назву альbedo. Воно може бути дуже різним, і частково визначає характер температурного режиму повітря. Тому у даному дослідженні важливо враховувати не лише сумарну сонячну радіацію, а й ряд інших солярних характеристик, які визначають у сукупності, окрім геліоенергетичних ресурсів, також і температурний режим повітря в Україні.

Як було зазначено на початку розділу, враховуючи деталізовану спрямованість даного дослідження, схожих публікацій налічується відносно небагато, однак це не означає відсутність наукового інтересу з боку українських кліматологів, метеорологів, картографів та представників інших наукових напрямів, які цікавляться даною темою чи її окремими аспектами. Особливу групу наукових публікацій щодо кліматичного картографування становлять ті, які були створені у контексті кліматичних змін та вивчення їх причин і наслідків. Саме радіаційний режим є одним із ключових регуляторів кліматичних умов, адже він визначає хід температури повітря, а значить і температур ґрунту, що має вплив на багато сфер господарства, особливо на агропромисловий комплекс та альтернативну енергетику.

Так, наприклад у роботах Рибченко Л.С. та Савчука С.В. [24] наголошується на ролі радіаційного режиму у формуванні кліматичних умов, у тому числі у їх взаємозв'язку із несприятливими метеорологічними явищами, такими, як посухи. Окремо вказується, що тривалість сонячного сяйва на початку ХХІ ст. стала набагато більшою, ніж за даними кліматичної норми (1961-1990 рр.). Ряд робіт означених авторів присвячений також оцінці змін солярних кліматологічних характеристик за два багаторічних періоди – 1961-1990 рр. та 1991-2020 рр.. Співставлення дозволило встановити, що як тривалість сонячного сяйва, так і загальне надходження прямої та розсіяної радіації над територією України значно зросли порівняно із періодом так званої «старої кліматичної

норми» - періоду 1961-1990 рр., який характеризується початком неоіндустріалізації у країнах, що розвиваються (Китай, «азійські тигри», нові індустріальні країни), наслідком чого став скачок у температурному режимі на глобальному рівні. Відповідно, період після нього – 1991-2020 рр., вважається новою кліматичною нормою, адже у подальшому прогнозується лише подальше зростання середньої температури повітря на планеті. Виникає питання, чому це так важливо у зв'язку із надходженням сонячної радіації, адже економічна активність людства не здатна впливати на сонячну активність. Це дійсно так, але людство здатне впливати на температурний режим планети, а відповідно і на здатність водяної пари триматися у газоподібному стані, не переходячи у рідкий, простіше кажучи, не викликаючи опадів. Важливою умовою цього є зростання температури повітря, оскільки чим вона вища, тим більше водяної пари може перебувати в одиниці маси повітря. Відповідно, більша частина води, що випаровується з поверхні Світового океану не перетворюється на опади. Це означає, що хмарність буде менша, а значить частка прямої радіації буде зростати, а пряма радіація у будь-якому разі має більший солярно-енергетичний потенціал, ніж розсіяна. Значить, прогрівання ґрунту, а від нього і приземного шару повітря, буде зростати. Тобто цей ефект має «подвійне підсилення», де кожен елемент сприяє підсиленню дії іншого. Саме тому вивчення картографування радіаційного режиму неможливе у відриві від вивчення температурного режиму.

Окремо у даному дослідженні [24] вивчається питання співвідношення частки прямої сонячної радіації за два багаторічних періоди. Результатом обробки є висновок, що частка прямої сонячної радіації зросла майже за всіма метеостанціями України.

Також вивченням радіаційного режиму України займаються і багато інших вчених. Наприклад, Е.В. Волошина та В.Ю. Куришина [] розглядали у своїх роботах характер і причини просторового поширення прямої сонячної радіації і її взаємозв'язку із сучасними кліматичними змінами.

У роботах [25] зроблено детальний огляд радіаційного режиму міста Полтава за багаторічний період, а також динаміку альbedo та їх зв'язок із загальними кліматичними умовами і змінами клімату.

Окрему категорію наукових публікацій стосовно радіаційного режиму становлять ті, що присвячені питанню його практичного застосування у сфері геліоенергетики. Це питання стало надзвичайно актуальним не лише завдяки виникненню проблеми вичерпності викопних ресурсів, які слугували основним енергетичним джерелом для українських ТЕС, які до 2013 року давали більше половини електроенергії України. Другою важливою причиною такого зміщення наукових акцентів стала дестабілізація військово-політичної ситуації в Україні, яка стала причиною у тому числі енергетичної кризи. Справа у тому. Що основне джерело енергетичного вугілля – Донецький басейн – став ареною протистояння із російськими загарбниками у 2014 році. Відповідно, українська енергетична система мусила шукати альтернативні шляхи ресурсного живлення, оскільки потужностей атомних електростанцій не вистачало для повноцінного функціонування економіки. Було знайдено два нових джерела електроенергії, які до того мали дуже незначну частку у загальному в енергетичному секторі: вітрова та сонячна енергетика. Згідно із панівною думкою вчених та багатьох енергетичних компаній, Україна має більший потенціал у виробництві електроенергії на основі вітру, ніж на основі сонячного саява, і тому пріоритет надавався будівництву ВЕС. Однак це не означає, що геліоенергетичний потенціал України є недостатнім. Навпаки, дослідження сучасної динаміки кліматичних умов довели, що Україна є однією із топ-20 країн, де потепління клімату відбувається найшвидше. Окрім очевидних загроз, які це несе, є і ряд позитивних наслідків, які можуть мати практичне застосування.

Зростання температури повітря і зниження кількості атмосферних опадів та значній частині території України є наслідком збільшення кількості прямої сонячної радіації, що надходить на поверхню. Відповідно, це робить будівництво сонячних електростанцій більш перспективним. Згідно із сучасними

дослідженнями, найбільш придатною територією для цього є степовий Крим, Північне Причорномор'я та степова частина України (рис. 1.5).

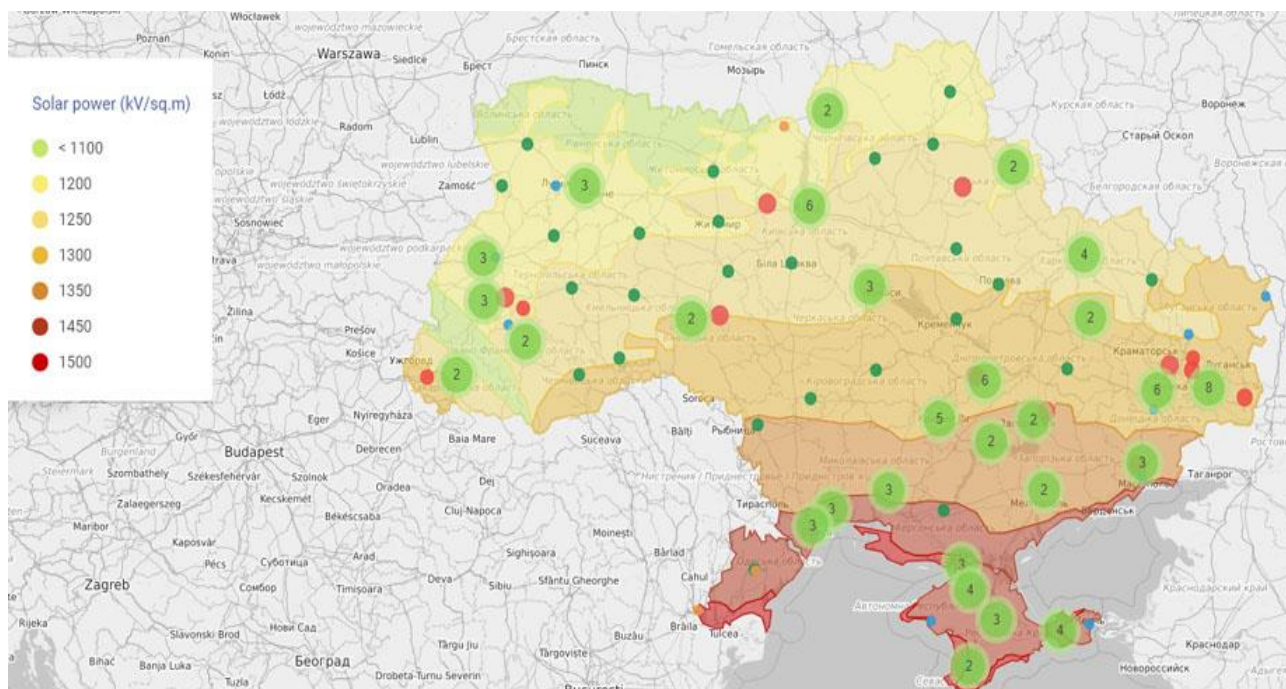


Рис. 1.5. Кількість сонячної радіації на території України [26]

Наведене картографічне джерело (рис. 1.5) демонструє, що найбільш геліоенергетичний потенціал мають Одеська, Миколаївська, Херсонська, Запорізька, Донецька області, АР Крим та Севастополь. Найменший потенціал характерний для Українських Карпат та Українського Полісся, а також для північно-західної частини України. Окрім суто фактору сонячної радіації це пояснюється ще двома іншими кліматотвірними чинниками. Наприклад, північно-західна частина України характеризується меншою кількістю прямої сонячної радіації, оскільки через західне перенесення повітряних мас ця територія отримує більше атмосферних опадів, ніж інші частини України, так як знаходиться географічно ближче до джерела цього перенесення.

У випадку із Українськими Карпатами це теж пояснюється більшою кількістю атмосферних опадів, але через вплив орографічного чинника. Карпатський гірський хребет є бар'єром для західного перенесення повітряних мас, оскільки підіймаючись по

гірським схилам, ці маси поступово витрачають вологу у цьому регіоні, спричиняючи підвищений рівень атмосферних опадів тут, але зменшуючи їх кількість в інших частинах України.

Важливе значення сонячна радіація має і на формування природно-територіальних комплексів, оскільки вона визначає температурний режим повітря, який визначає характер рослинності. Так, у своїй статті Булавенко І.Г. вивчав роль сонячної радіації у формуванні ландшафтів Розточчя – височини поблизу Львова [25].

Крім того, вагому роль сонячного фактору у ландшафтоутворенні відзначають і А.Г. Ісаченко, Н.Л. Беручашвілі, І.І. Мамай та ряд інших дослідників [16].

Протягом останніх років все більше значення сонячна радіація та її вивчення набувають із розвитком туризму. Температурний режим та сонячне сяйво є вагомими складовими природного туристсько-рекреаційного потенціалу регіонів. На теренах України, після пандемії Covid-19 все більше уваги приділяється внутрішньому туризму, а тому вивчення власних туристсько-рекреаційних ресурсів набуло неабиякого наукового значення. На значній ролі сонячної радіації у формуванні цих ресурсів наголошується у роботах А.В. Дроздова, Євтушенко Н.А. та Шабаліної Н.В. [18].

Таким чином, проаналізувавши український науковий доробок у галузі вивчення радіаційного режиму України, можна стверджувати, що не дивлячись на те, що на перший погляд дане питання є несуттєвим і другорядним, радіаційний фактор зумовлює багато різних природних та соціально-економічних процесів і явищ, зокрема, саме він напряду регулює температурний режим повітря, що має вплив як на сільське господарство, так і на загальне формування екосистем і їх функціонування. Крім того, важливе значення сонячної радіації для формування природного туристсько-рекреаційного потенціалу, оскільки привабливість території для курортного відпочинку має пряму залежність від погодних умов. Останні десятиліття також ознаменувались

зростанням ролі сонячної радіації як енергетичного ресурсу, і для України, яка після початку війни на Донбасі та повномасштабного вторгнення з боку РФ зіткнулося із енергетичною кризою, питання вивчення і максимально ефективного використання наявних геліоенергетичних ресурсів є ключовим як для сучасного функціонування економічного комплексу країни, так і у контексті післявоєнного відновлення.

1.2. Висвітлення проблеми картографічного моделювання клімату у працях зарубіжних вчених

Дослідження кліматичних умов на глобальному рівні має тривалу історію. Людство почало цікавитися погодою і всім, що з нею пов'язано ще з давніх-давен, проте ці відомості фіксувалися усно, і тому найперші відомості про вплив погоди на умови життя і ведення економічної діяльності можна знайти ще у давньоєгипетських барельєфах, які розповідають про періоди паводків на річці Ніл, які визначалися опадами, що випадали в горах Ефіопії вгору по течії річки []. Зокрема, у 3000 р. до н.е. відбулося катастрофічне затоплення країни, і лише дамба навколо міста Мемфіс дозволила йому вціліти.

Крім того, важливим було саме значення сонця, як джерела енергії, бо ще з найдавніших часів люди розуміли, що вирощування сільськогосподарських культур на пряму залежить від сонячних променів, що правда замість наукового обґрунтування, тодішня теорія ґрунтувалася на сакральних уявленнях, де сонце часто уявлялося в образі божеств. Зокрема, у Єгипті культ сонячних богів був настільки розвиненим, що були окремі божества для сонячного диска (Амон). Сонячного саява (Ра) і сонячних променів (Атон).

Подібні уявлення були і у багатьох інших народів світу, зокрема у давніх греків це був Геліос, у римлян Аполлон, у японців Аматерасу, у слов'ян Дажбог.

Поступово із розвитком натурфілософії уявлення про сонце та його активність почали набувати більш наукових рис. Зокрема, Арістотель у своїй

роботі «Метеорологіка» обґрунтував основні риси кліматичних поясів, які були відомі давнім грекам, а також одним із перших описав роль сонця у формуванні клімату.

Римський лікар Клавдій Гален Пергамський вважав сонячне сяйво життєдайним і окрім суто погодного значення він вивчав вплив сонця на здоров'я людини [1].

В епоху Середньовіччя (V-XV ст.) наука про погоду, як у наукова думка загалом перебувала під тотальним контролем християнської церкви, яка все прагнула пояснювати через біблійні догми, а тому розвиток вчення про погодні умови припинився.

У Новий час Ісаак Ньютон у своїй роботі «Optics» вивчив розкладення сонячного світла на спектр і дослідив його природу як складного потоку енергії із хвилями різної довжини [39].

На початку XIX ст. Жозеф Фур'є видав працю «Аналітика теорія тепла», в якій вперше обґрунтував явище, яке пізніше назвуть «парниковим ефектом», описавши характер затримки атмосферними газами тепла у земній атмосфері [31]. У 30-х рр. XIX ст. Клод Пуйє вивчав природу сонячного світла, обрахував сонячну сталу, а також робив спроби оцінити температуру на поверхні Сонця [41].

Джон Гершель вивчав вплив світла на фотохімічні процеси, а також енергію ультрафіолетового випромінювання [34]. Наприкінці XIX ст. Сванте Арреніус оцінив вплив вуглекислого газу на поглинання і затримання сонячного тепла в атмосфері, що стало новим етапом у вивченні «парникового ефекту» [34].

На початку XX ст. Френк Вері досліджував вимірювання сонячного випромінювання на поверхні Землі, а також на поверхнях інших планет [37].

Після Другої світової війни почався новий період у вивченні сонячного сяйва і його впливі на Землю, особливо після появи супутників, які могли точно вимірювати ряд метеорологічних величин. Був запущений цілий ряд проєктів, спрямованих на вивчення поширення сонячної радіації на поверхні Землі. Так,

наприклад, з 2003 року триває Експеримент по вимірюванню сонячної радіації та клімату, який має основним фокусом багаторічну фіксацію даних про різні спектри сонячного випромінювання (рис. 1.6). Проєкт був запланований на 5 років, але кілька разів подовжувався, поки у 2020 році агрегати не були відключені, однак прибирання апарату заплановане аж на 2032 р.

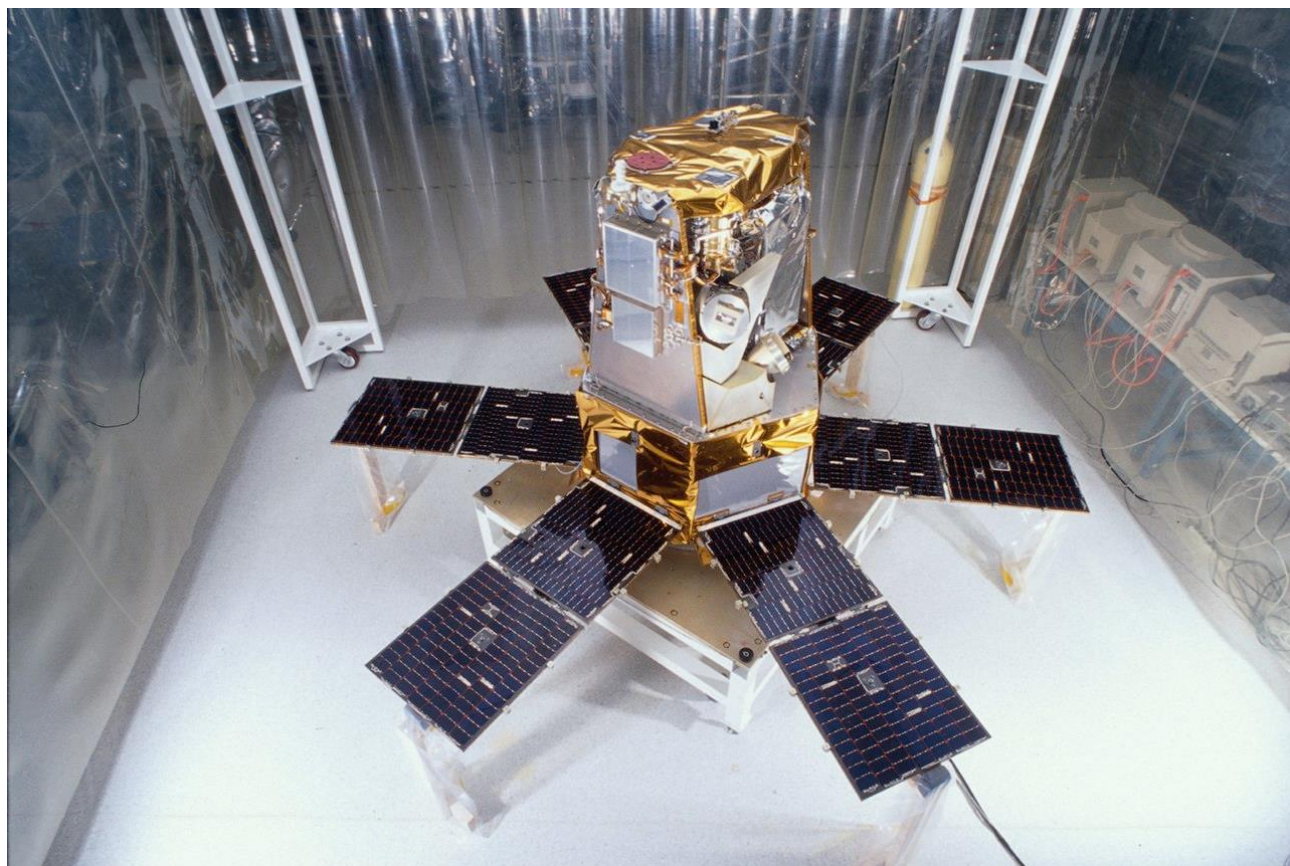


Рис. 1.6. Модуль для вимірювання сонячної радіації у рамках проєкту Solar Radiation and Climate Experiment [12]

У 2017 році НАСА запустило новий сенсор для вимірювання сумарної та спектральної сонячної радіації на борту Міжнародної космічної станції (рис. 1.7). Проєкт тривав до 2022 року і на основі його результатів були систематизовані і поглиблені знання щодо спектральних характеристик сонячного світла, особливостей його двоїстої природи (потoku фотонів і потoku мікрочасток), а також вивчено вплив сонячної радіації та характер проходження глобальних змін клімату у сучасний період.

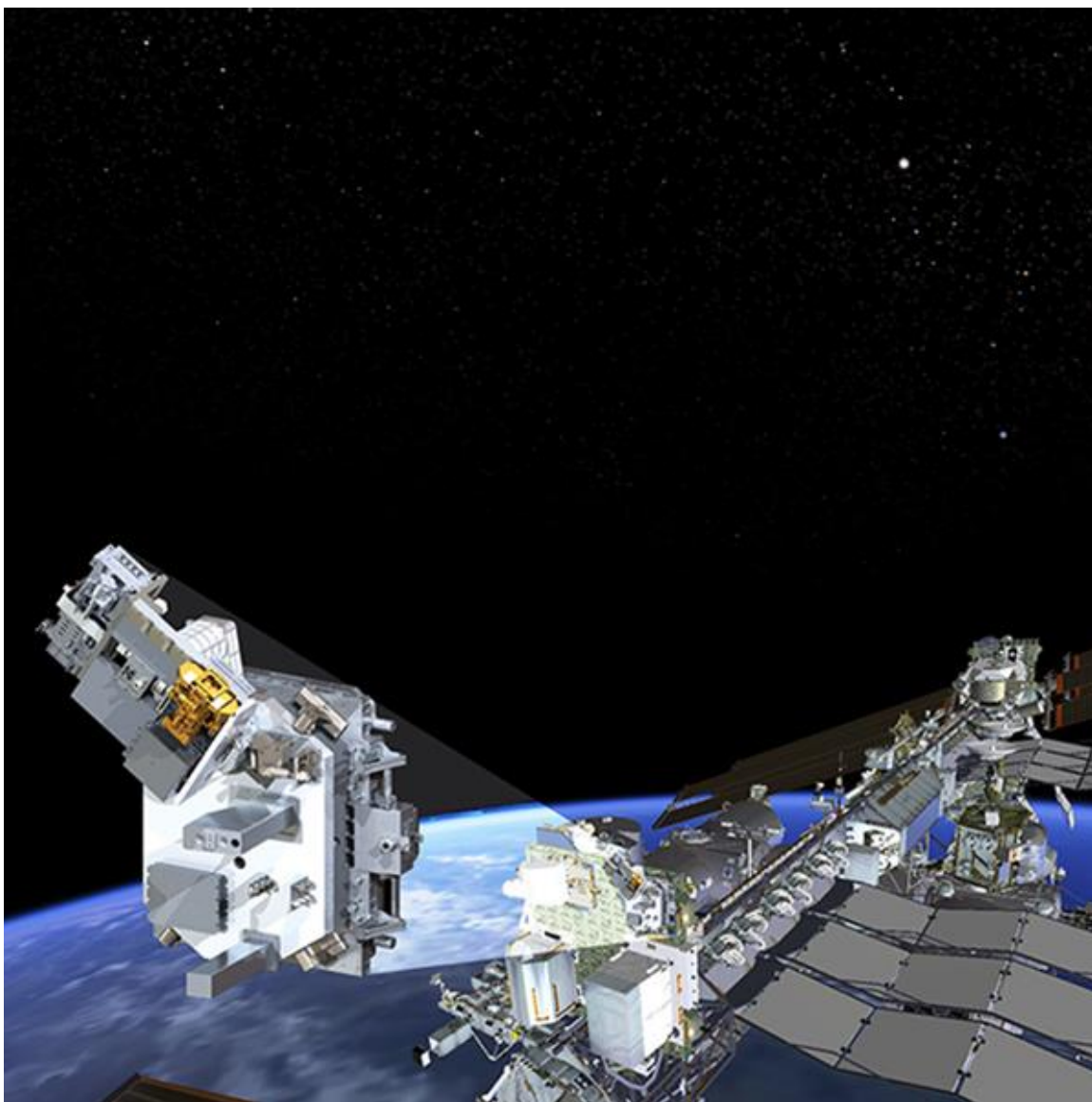


Рис. 1.7. Сенсор для вимірювання сонячної радіації на борту МКС [12]

Крім того, стаціонарні супутники НАСА та європейського космічного агентства Копернікус постійно проводять заміри різних солярних характеристик на своїх супутниках.

Ці дані можна побачити навіть у відкритому доступі, наприклад, у Global Solar Atlas. Це онлайн-платформа, запущена у січні 2017 р. і вміщує дані про пряму сонячну радіацію, фотоелектричну потужність, глобальне горизонтальне випромінювання, глобальне похиле випромінювання під оптимальним кутом, оптимальний нахил фотоелектричних модулів та температуру повітря із абсолютними висотами (рис. 1.8).

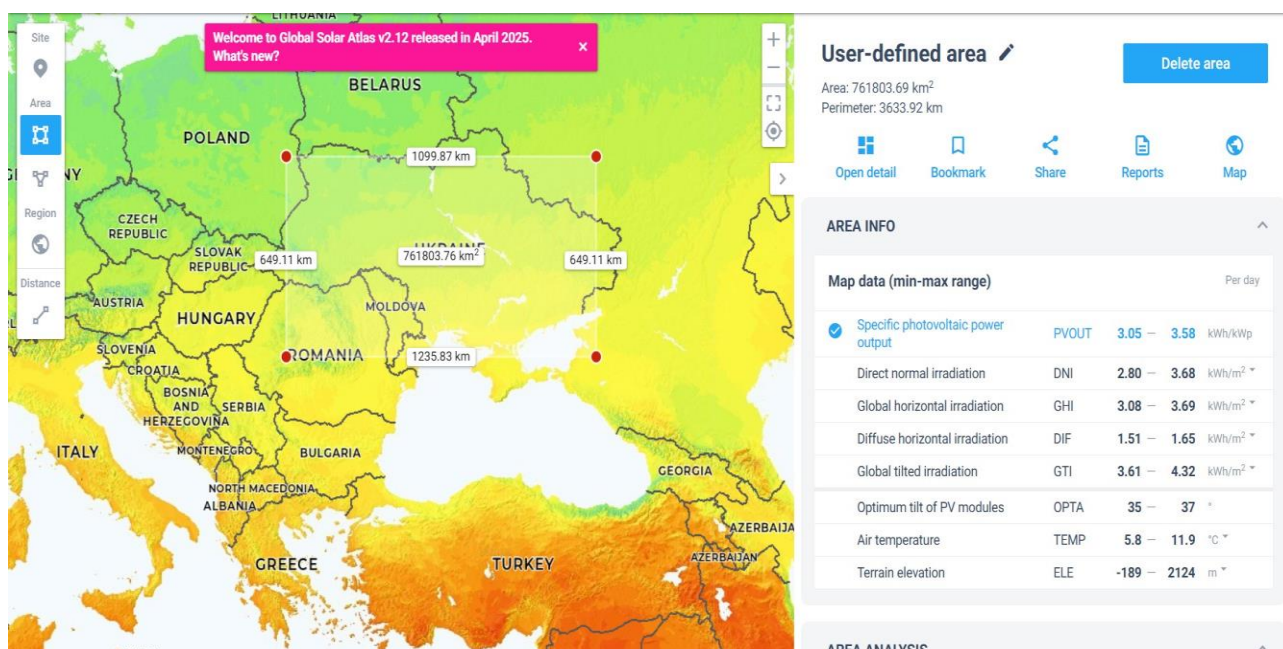


Рис. 1.8. Інтерфейс Global Solar Atlas [35]

Окрім суто картографічного представлення даних щодо сонячної радіації, цей ресурс є повноцінною геоінформаційною системою із можливістю обрахування статистики за виділеними користувачем територіями із побудовою таблиць та графіків.

Також можна виділити дані за різними країнами світу, що дуже зручно для проведення досліджень на макрорівні, що дуже зручно для проведення досліджень, подібних до цього.

Подібною за функціоналом і наповненням платформою є NASA Prediction of worldwide energy resources (POWER), який містить інформацію щодо метеорологічних величин, що використовуються для потреб альтернативної енергетики наряду із прогнозними даними, отриманими із сучасних супутників.

Тут можна обрати періоди для відображення даних із точністю до дня, починаючи з 1984 року до 2020 року у вигляді таблиць, звітів, графіків і точкових та кругових діаграм.

Також існує опція для виділення точок інтересу і обрахування статистичної інформації за багаторічний період, разом із побудовою звітів, діаграм, графіків і таблиць (рис. 1.9).

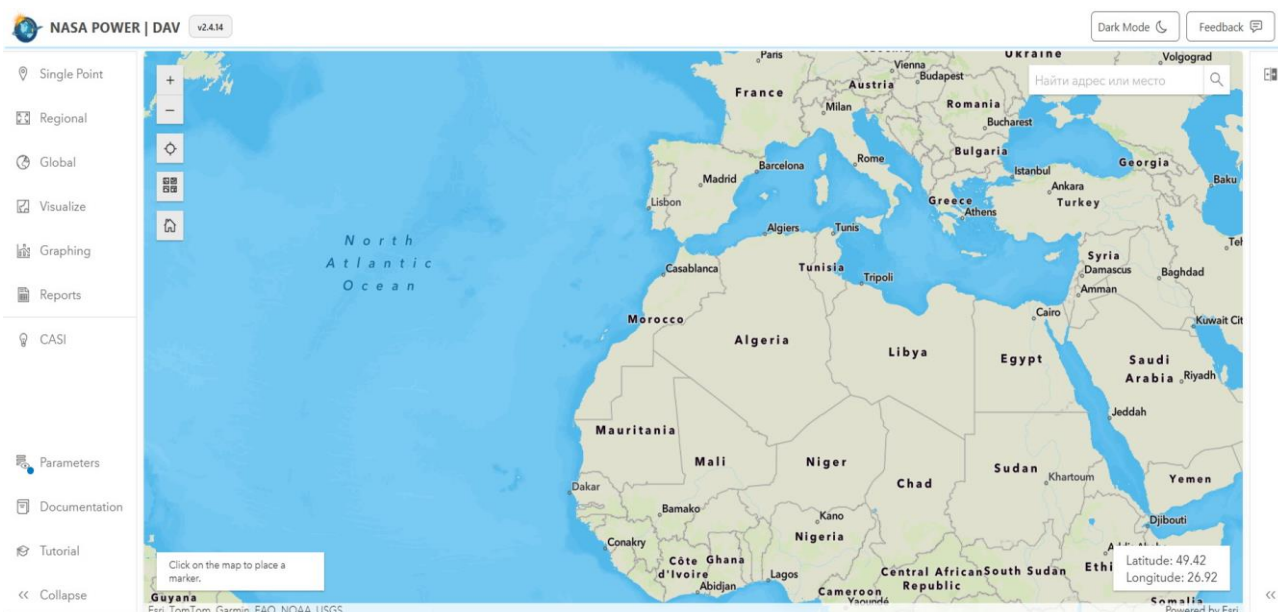


Рис. 1.9. Інтерфейс NASA POWER [42]

Окрім інтернет-порталів, сонячна енергія активно вивчається вченими із провідних наукових установ світу. Для цього існує багато різних причин, і одна з найголовніших це глобальні зміни клімату, які охопили планету протягом останніх десятиліть. Також, як і серед українських науковців, багато публікацій присвячені питанню застосування сонячної енергії у сферах сільського господарства, особливо рослинництва, альтернативної енергетики, рекреації і туризму.

Так, у статті Вернера Шмутца [51] досліджуються зміни сонячної радіації впродовж історії та їх кліматичний вплив. На основі історичних зведень про погодні умови на теренах різних країн світу, в першу чергу у Європі, починаючи з XI ст. і дотепер. Дана фундаментальна публікація відображає кореляційний зв'язок між сонячною активністю і кліматичними змінами на Землі, зокрема на прикладах не лише сучасного глобального потепління, а й так званих «малих льодовикових періодів» XIV, XV та XVI ст. Наголошується на негативних аспектах як потепління, так і похолодання клімату, оскільки будь-які подібні зміни мають значний вплив на сільське господарство, оскільки фермерам необхідно переорієнтувати вирощування культурних рослин відповідно до

нових умов, що стало можливим у сучасну епоху завдяки досягненням агрономії та селекції, але було неможливим у Середньовіччі та у Новий час.

Водночас, окреслюються наслідки сучасних кліматичних змін, які почалися після початку індустріальної ери, тобто протягом останніх 150 років. Цікавою особливістю даного аналізу є і залучення даних із Японії, що можна зустріти не дуже часто у європейських публікаціях, і враховуючи відносну ізолюваність цієї країни впродовж більшої частини її історії, є доволі цікавим порівняти хід кліматичних умов тут із європейськими країнами. За даними температурної динаміки на прикладі Кіото (рис. 1.10) можна побачити, що тут теж прослідковуються перепади температури із періодичністю у кілька століть, що в цілому співпадає із європейськими «малими льодовиковими періодами», які мали трагічні наслідки для населення, оскільки врожайність сільськогосподарських культур різко знижувалася у ці періоди.

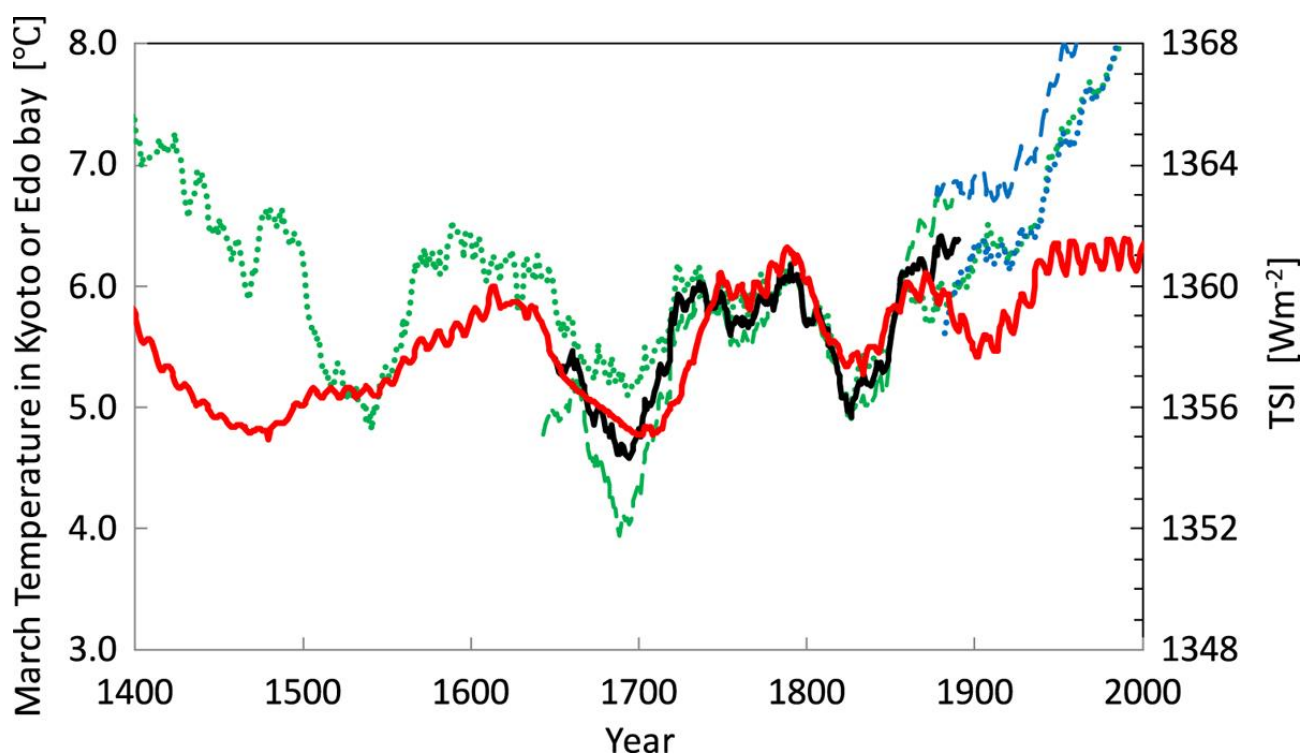


Рис. 1.10. Динаміка температури повітря та сумарної сонячної радіації у Кіото впродовж 1400-2000 рр. [48]

Окрім температурного режиму, дослідження містить також і дані щодо сумарної сонячної радіації, хід якої в цілому повторює хід температури повітря, проте характерним є незначне запізнення температури по відношенню до сонячної радіації, оскільки для впливу на кліматичні умови змін сонячної активності потрібен певний час.

Інша група авторів – Х. Йошіо, Т. Абе та М.А. Басунія [30] досліджувала методику фіксації солярних показників на прикладі Оману та Японії впродовж 2004-2011 рр. за допомогою застосування комп'ютерної моделі, яка може окрім збору даних, проводити їх первинний математичний аналіз і прогнозування.

У публікації С.К. Пандей та А.К. Катіяр [53] наводиться детальний аналіз сучасної динаміки основних показників сонячної радіації на території Індії та їх ролі у кліматичних змінах. Вкотре доведено, що саме сонячна радіація є головним природним фактором, який впливає на зміни кліматичних умов, що мають місце кожні кілька століть майже в усьому світі.

Якщо сучасне глобальне потепління, можна частково пояснити роллю людини та її економічної діяльності, зокрема металургії, хімічної промисловості та теплової енергетики, а також транспорту, то всі зміни, які відбувалися до цього вочевидь зумовлені природними чинниками, а не людством, оскільки рівень тодішнього економічного розвитку суспільства і можливостей людини бути «потужною геологічною силою, що перетворює природу», як зазначав Вернадський, просто не дозволяли мати настільки вагомий вплив, щоб провокувати глобальні кліматичні зрушення.

Тому автори резонно прийшли до висновку, що кліматичні коливання є природним процесом, який на пряму корелюється із сонячною активністю, яка регулює кількість сонячної радіації, що виділяється у космос, а відповідно далі потрапляє на земну поверхню. Тому важливим завданням сучасності виступає не лише зменшення негативного впливу антропогенної діяльності, яка виступає прискорювачем кліматичних змін, а й адаптація людства і глобальної економіки до кліматичних змін із будь-яким вектором, адже, як встановлюють автори

статті, у майбутньому не виключено, що глобальне потепління може знову змінитися глобальним похолоданням, яке матиме не менш руйнівні наслідки, ніж потепління. Водночас, зазначається, що ймовірність подібного сценарію у найближчі десятиліття вкрай низька, враховуючи сучасну економічну та кліматичну динаміку.

Не менш значущим з методологічної точки зору є дослідження, проведене Р. Мюллером та У. Пфайфросом [41], яке було присвячене дистанційному зондуванню поширення сонячної радіації над поверхнею та ролі парникових газів у процесах адсорбції і їх ролі у формування парникового ефекту. Дослідження включало ряд спектрів сонячної радіації на основі супутникових даних, і показало співставлення ролі кожного з парникових газів, а також озону у процесах адсорбції певних спектрів сонячного сйва (рис. 1.11).

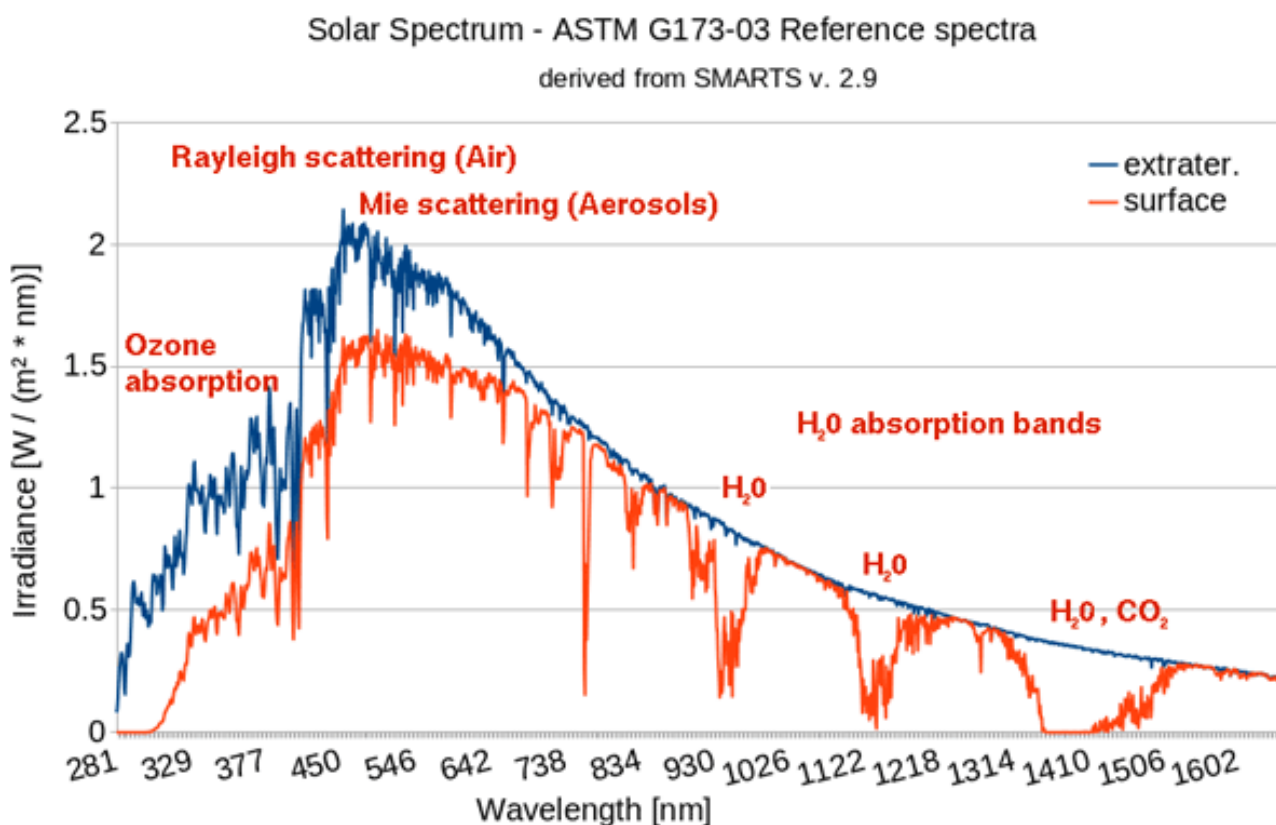


Рис. 1.11. Адсорбція парникових газів у співвідношенні до спектрів сонячної радіації [41]

Таким чином, проведений огляд наукових публікацій зарубіжних вчених за тематикою картографування кліматичних умов, зокрема, поширення сонячної радіації показав, що тема широко досліджується вченими з різних країн світу, оскільки радіаційний режим є визначальним у формуванні кліматичних умов планети, і застосування різних сучасних методик, у тому числі дистанційного зондування Землі дозволяє не лише відновити історичний хід радіаційного режиму планети, а й прогнозувати його майбутні сценарії розвитку. Важливо також зазначити що картографування цієї групи показників залишається актуальним питанням, особливо на регіональному та державному рівнях, враховуючи економічну важливість солярних показників для життя людства і розвитку сільського господарства, альтернативної енергетики та туризму.

1.3. Методика дослідження

Оскільки основною задачею даного дослідження виступає картографічне представлення даних сонячної радіації на території України, то постає необхідність опису основних етапів створення картографічних зображень. Якщо коротко охарактеризувати це, то можна виділити два ключових моменти – збір і обробка статистичної інформації та картографічна візуалізація.

Перш, ніж почати створювати картографічне зображення, необхідно визначитися із тим, які показники будуть репрезентативними для аналізу радіаційного режиму на території України. Згідно із панівними методиками, доцільним є використання тривалості сонячного сьйва, сумованої за рік. Вона демонструє кількість годин впродовж року, коли метеостанції фіксують сонячну радіацію. Ця величина демонструє, якими є передумови надходження сонячної радіації до земної поверхні. Даний показник напряду залежить від обертання Землі навколо своєї вісі та навколо Сонця. Цікавим для аналізу є застосування відношення фактичної тривалості сонячного сьйва до максимально можливої. Остання вираховується, виходячи із часу сходу і заходу Сонця у цій точці у

певний період часу, а фактична опосередковано може свідчити про хмарність на досліджуваній території.

Наступним показником є число днів без Сонця, яке також демонструє рівень хмарності за даними різних метеостанцій, і дозволяє оцінити, наскільки це заважає надходженню і засвоєнню земною поверхнею сонячної радіації. Для укладання карт у рамках даного дослідження тут також використовуються річні показники.

Сумарна сонячна радіація є одним із основних показників, який дозволяє оцінити радіаційний режим території, оскільки вона являє собою сукупну величину всієї сонячної енергії, що надходить до земної поверхні у вигляді прямої чи розсіяної сонячної радіації. Цей показник є одним із ключових при обрахунку різних агрометеорологічних показників, які допомагають охарактеризувати перспективність вирощування у цьому пункті певних сільськогосподарських культур.

Допоміжними аналітичними показниками у даному дослідженні виступають суми прямої сонячної радіації: із розрахунку на нормальну поверхню до променя і на горизонтальну поверхню до променя. Вони дозволяють оцінити кількість сонячної радіації, що надходить до земної поверхні на одиницю площі.

Особливістю даних щодо сонячної радіації є періодичність їх вимірювання. На відміну від, наприклад, температурного режиму повітря, ці величини вимірюються щогодини, проте у рамках даної статистичної обробки більш доцільно використовувати максимальні значення, оскільки саме вони роблять найбільший внесок у сумарний радіаційний режим на території України, і відповідно відіграють найбільшу роль у процесі прогрівання нижнього шару атмосфери.

Таким відрізком часу є 12-13 годин дня, коли сонце знаходиться в зеніті, і його промені падають на земну поверхню під найбільшим кутом. На території України цей кут не буває вищим за $73,5^\circ$ (у день літнього сонцестояння, обрахунок за принципом різниці 90° та широти місцевості та додавання широти

тропіка (23,5°), оскільки найпівденніша точка – мис Сарич – має широту 44° пн.ш. Крім того, відрізок часу 12-13 годин (рис. 1.12) є найбільш доцільним з точки зору наповненості даними, оскільки через більш пізній схід та більш ранній захід сонця у зимові, осінні та весняні місяці, дані по часовим проміжкам 3-7 годин та 17-21 годин за деякі місяці відсутні, що порушує принцип однорідності сукупності статистичних даних.

СУМИ ПРЯМОЇ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ (МДж/м ²) НА НОРМАЛЬНУ ДО ПРОМЕНЯ ПОВЕРХНЮ ЗА ЯСНОГО НЕБА													
Годинний інтервал (істинний сонячний час)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
ЧЕРНІГІВСЬКА ОБЛАСТЬ													
I. Покошичі													
3-4						0,05	0,01						
4-5					0,28	0,63	0,45	0,06					
5-6				0,48	1,10	1,38	1,14	0,68	0,11				
6-7			0,32	1,46	1,90	2,07	1,79	1,43	1,21	0,07			
7-8	0,02	0,44	1,09	1,93	2,18	2,34	2,10	1,85	1,79	0,80	0,13		
8-9	0,70	1,32	1,89	2,29	2,34	2,53	2,34	2,21	2,20	1,75	1,13	0,42	
9-10	1,70	2,15	2,62	2,62	2,51	2,72	2,57	2,55	2,57	2,60	2,21	1,27	
10-11	2,03	2,42	2,80	2,76	2,67	2,83	2,68	2,66	2,66	2,74	2,44	1,69	
11-12	2,23	2,57	2,88	2,85	2,82	2,92	2,78	2,73	2,70	2,74	2,52	2,02	
12-13	2,36	2,68	2,92	2,93	2,96	3,00	2,85	2,79	2,70	2,71	2,52	2,26	
13-14	1,94	2,46	2,79	2,84	2,90	2,93	2,74	2,71	2,44	2,51	1,96	1,71	
14-15	1,40	2,17	2,62	2,72	2,80	2,84	2,60	2,60	2,13	2,27	1,30	1,01	
15-16	0,77	1,78	2,37	2,56	2,66	2,71	2,42	2,44	1,78	1,94	0,63	0,32	
16-17	0,02	0,65	1,44	2,09	2,22	2,34	2,02	1,95	1,19	0,95	0,07		
17-18			0,42	1,56	1,72	1,92	1,56	1,38	0,55	0,09			
18-19				0,85	1,17	1,46	1,08	0,78	0,05				
19-20					0,33	0,70	0,44	0,07					
20-21						0,06	0,01						
За добу	13,17	18,64	24,16	29,94	32,56	35,43	31,58	28,89	24,08	21,17	14,91	10,70	
За місяць	408	522	749	898	1009	1063	979	896	722	656	447	332	8681

Рис. 1.12. Дані сум прямої сонячної радіації на нормальну до променя поверхню за ясного неба за період 1991-2020 рр. [5-7]

Однак для картографічного відображення з точки зору практичного застосування даних найбільш доцільним показником є сума за місяць та за рік. Враховуючи обмеженість даного дослідження загальним картографічним аналізом показників радіаційного режиму в Україні, доцільно буде використати дані сум сонячної радіації за рік, оскільки саме ці величини використовуються у агрометеорології та ряді інших прикладних напрямів, а, отже, для підвищення практичної значущості дослідження, краще зосередитися на цих показниках.

Другим етапом дослідження є підготовка серії картографічних зображень на основі даних щодо сонячної радіації за період 1991-2020 рр. Даний часовий проміжок був обраний, виходячи з принципу репрезентативності статистичної вибірки, яка згідно із рекомендаціями Всесвітньої метеорологічної організації складає 30-40 років. Таким чином, обрана вибірка цілком підпадає під дані вимоги, а, отже, може вважатися репрезентативною з точки зору показовості явища.

Оскільки задачею стоїть створення серії картографічних зображень, то доцільно розпочати зі створення картографічної основи, яка включає державні кордони та адміністративні межі областей, а також основні гідрографічні об'єкти (річки, озера і водосховища).

Державний кордон та адміністративні межі України були створені автором у програмному середовищі Arc Map 10.8.2 шляхом векторизації базової карти на основі Open Street Map (OSM). Дані щодо річок, озер та водосховищ були отримані завдяки використанню бази даних OSM (рис. 1.13).

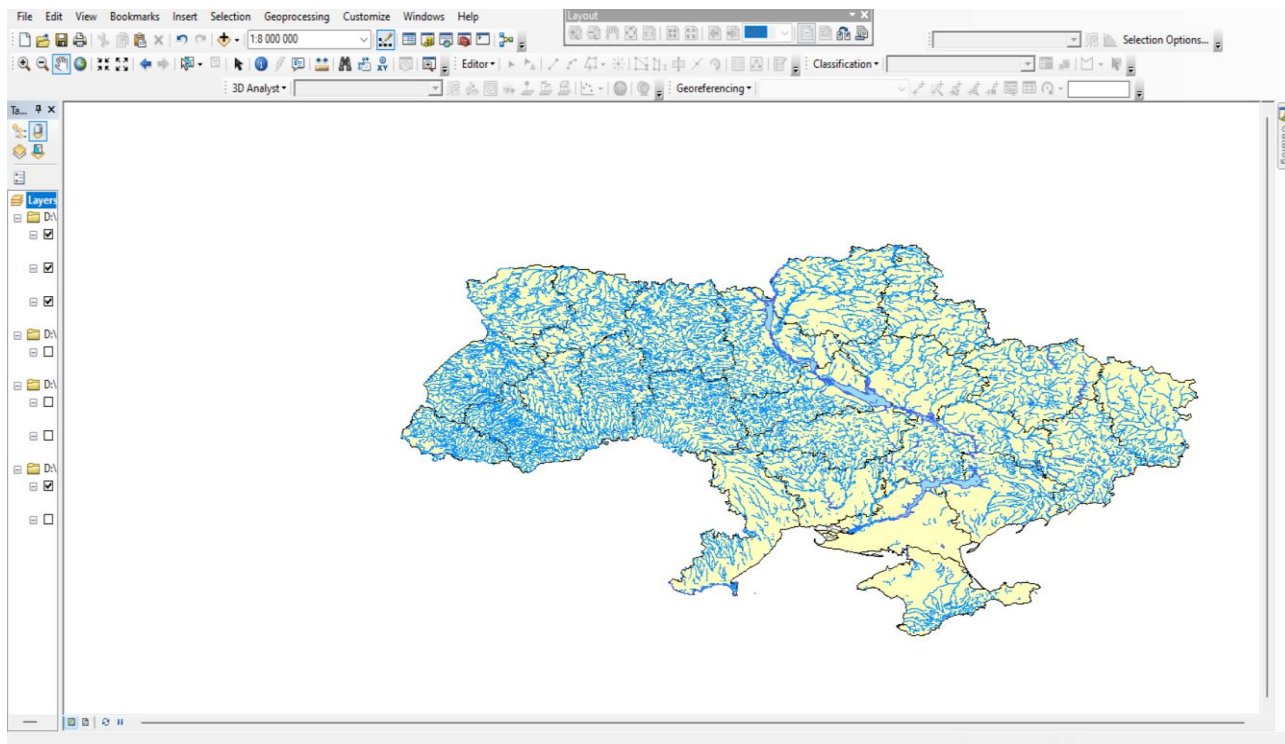


Рис. 1.13. Проміжний варіант картографічної основи для серії карт «Радіаційний режим України» (створено автором за даними [52])

Як можна побачити із зображення (рис. 1.13), гідрографічна мережа, отримана з OSM, є надзвичайно детальною, що однозначно позитивно для проведення досліджень на локальному рівні, але враховуючи макрорегіональний характер даного дослідження, доцільним буде проведення генералізації цих шарів даних. Оскільки окрім суто просторової інформації ця база даних містить також ряд статистичних відомостей щодо об'єктів гідрографії, то доцільно застосувати інструмент Query Builder, який дозволяє зробити вибірку об'єктів шару за потрібним показником. Обираємо довжину, ставимо «обирати більше 10», що відсіяти малі річки (рис. 1.14), і отримуємо більше генералізований шар (рис. 1.15).

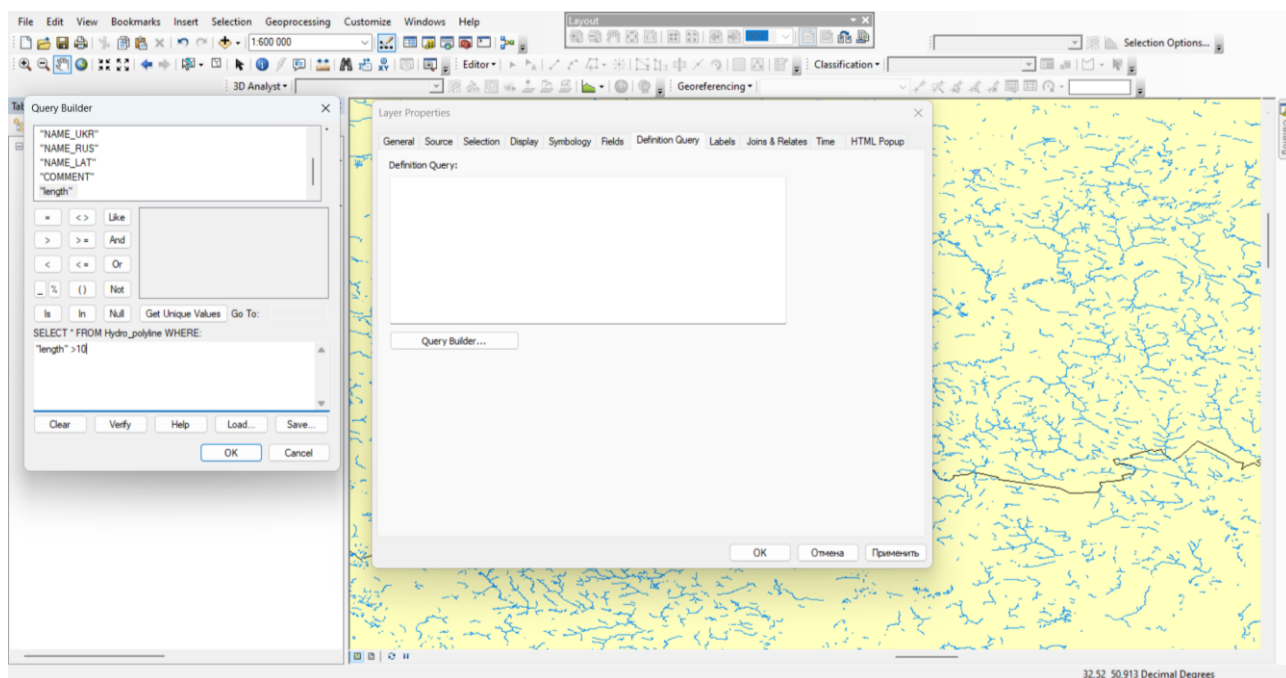


Рис. 1.14. Вибірка найбільших річок із шейпфайлу у Арк Мап 10.8.2

Щоправда перші, ніж зробити вибірку, необхідно було трансформувати наші шари у Проектовану координатну систему, обираємо стандартну для українських карт систему (1942 Zone 6N), і перестворюємо проєкт в Арк Мап. Далі можна додавати шари із метеостанціями.

Для цього створюємо шар точок, додаємо метеостанції, для яких зібрані дані щодо сонячної радіації за період 1991-2020 рр., і починаємо наповнення

інформації за ними. Є два шляхи: вводити дані вручну чи доєднувати табличні дані.

Другий шлях більш доцільний для великих обсягів даних, коли на їх введення необхідно витратити багато часу. Проте для цього потрібно конвертувати табличні дані у формат ртф, окремо вибирати річні дані за метеостанціями. Тому було обрано перший шлях ручного введення даних, коли створюються поля у атрибутивній таблиці для кожного із показників, для яких будуть створюватися картографічні зображення.

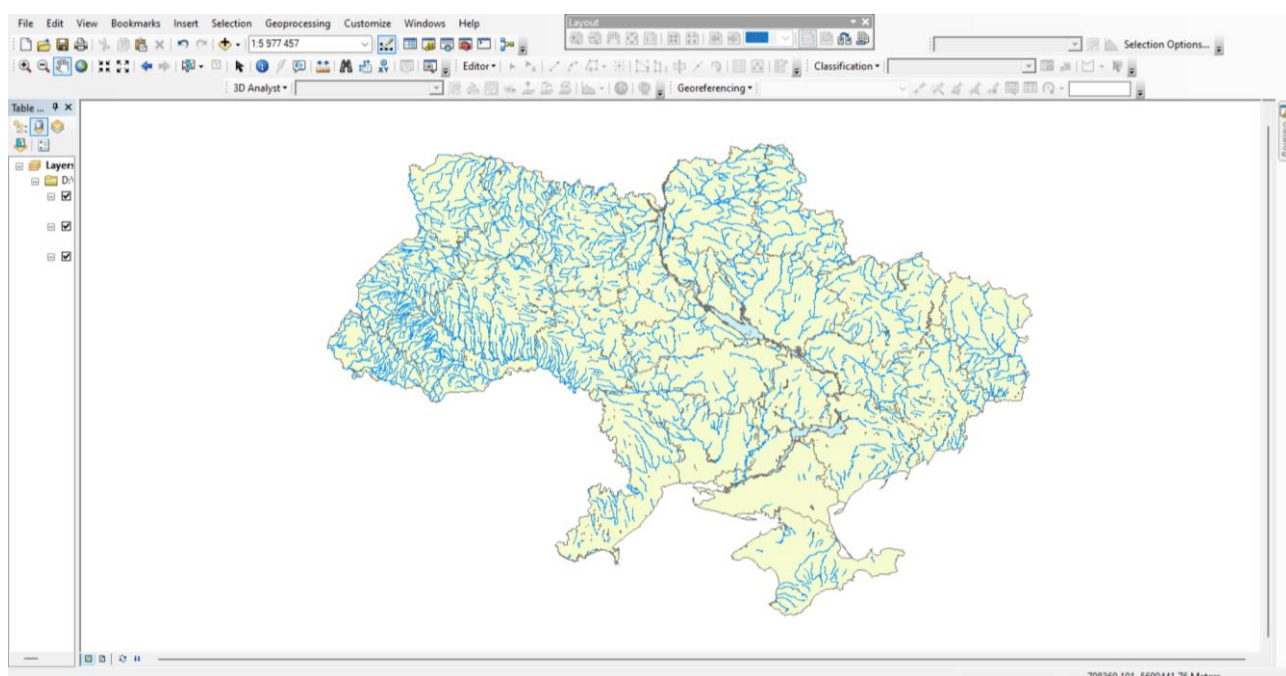


Рис. 1.15. Генералізований шар річок у Арк Мап 10.8.2

Після цього можна переходити безпосередньо до створення серії картографічних зображень. Для цього необхідно використати інструмент *Isolynes*, обираємо стандартний метод формування ізоліній та показник, для якого це виконується. Далі програма автоматично будує ізолінії. Єдиною проблемою є те, що ізолінії будуються чітко в межах прямокутника, який частково виходить за межі України, а частково не охоплює частину регіонів. Для проведення корекції даних використовуємо інструмент *Data Frame Properties*, де

обираємо обрізку шару даних за контурами України, і відкидаємо непотрібні частини.

Наступним етапом є створення легенди. Оскільки це серія карт, то легенда в цілому буде дуже схожою, оскільки всі ці картографічні зображення мають спільну географічну основу. Відрізнитися буде лише показник, для якого будувалися ізолінії.

Після цього можна експортувати файл для подальшої роботи із ним. Доцільно експортувати його у векторному форматі (BMP чи PNG) для того, щоб далі відкоригувати отримані поля ізоліній у програмному середовищі Adobe Illustrator. Після цього екпортуємо отримані карти у форматі JPEG, і можна проводити їх аналіз. Метою аналізу є виокремлення факторів, що впливають на поширення сонячної радіації по території України і знаходження можливих шляхів практичного застосування даної інформації для потреб сільського господарства, туризму і рекреації та сонячної енергетики.

Таким чином, методика даного дослідження базується на внесенні усередненої багаторічної статистичної інформації стосовно 5 характеристик сонячної радіації на території України за період 1991-2020 рр. з метою створення серії картографічних зображень, які дозволять провести ґрунтовний аналіз причин такого поширення цих показників і встановити, яким чином їх можна використовувати для економічних потреб, особливо враховуючи геліоенергетичний потенціал, який є дуже важливим показником, враховуючи кризову ситуацію, що склалася в українській енергетиці через руйнування з боку РФ, завдані під час повномасштабного вторгнення після 2022 року.

Використання Арк Мап 10.8.2 дозволило дуже швидко і ефективно побудувати географічну основу для даних карт, проте обмеженість функціоналу програми для створення полів ізоліній є серйозною перепорою для дослідження, а тому доцільним було використання графічного редактору для коригування отриманих полів ізоліній з метою їх більш наочного представлення, яке значно полегшить аналітичний етап даного дослідження.

РОЗДІЛ 2.

КЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

2.1. Особливості динаміки та сучасного стану кліматичних умов України

Перш, ніж перейти до безпосередньо характеристики формування і динаміки клімату України, необхідно надати узагальнену фізико-географічну характеристику за стандартним планом для того, щоб більше детально охопити всі аспекти, які впливають на формування кліматичних умов, враховуючи як короткострокові, так і довгострокові фактори.

Україна є найбільшою за площею країною Європи (серед країн, що повністю знаходиться у цій частині світу). Її площу можна співставити із Францією, Іспанією, Мадагаскаром. Вона знаходиться у північній півкулі, на материку Євразія, у Центрально-Східній Європі. Оскільки клімат є складною і багатокомпонентною системою, то доцільно розглянути усі чинники, які його створюють. В першу чергу це орографічні особливості території, які формуються під впливом сукупної дії внутрішніх та зовнішніх сил. До першої категорії належить тектонічна будова, яка враховуючи велику площу України, очікувано є складною. Не дивлячись на те, що Україна знаходиться відносно далеко від меж Євразійської плити, вона має кілька великих тектонічних структур. Більшу частину охоплює давня Східноєвропейська платформа, яка межує із молодого Західноєвропейською платформою, а на півдні зі Скіфською плитою. Крім того, на південному заході та півдні країни розташовані дві зони альпійської складчастості – Карпатська і Кримська.

Східноєвропейська платформа включає в себе Український кристалічний щит – одну з найдавніших тектонічних структур у світі, якій у рельєфі відповідають височинні підняття – Придніпровська та Приазовська височини. Рельєф цієї частини характеризується наявністю численних виходів давніх

протерозойських порід, які утворюють численні живописні пороги на річках і так звані «кам'яні могили» у Приазов'ї.

На схід від Українського щита розташований Дніпровсько-Донецький авлакоген, який являє собою великий грабен, що простягнувся від Чернігівської до Донецької області, і характеризується низовинним рельєфом, похиленим у бік Дніпра на південний захід. У рельєфі даній структурі відповідає Придніпровська низовина.

На південний схід від Дніпровсько-Донецького авлакогену лежить складна складчаста споруда мезозойської ери – Донецька складчаста споруда, якій у рельєфі відповідає Донецький кряж. Характерною особливістю даної місцевості є круті схили крейдяних пагорбів, що височіють над річкою Сіверський Донець.

Сусідня структура – Воронежський кристалічний масив, теж структура докембрійського віку, але враховуючи, що на території України знаходяться лише його відроги, його значення для формування рельєфу, а отже, опосередковано і кліматичних умов, є не надто суттєвим порівняно із іншими структурами. У рельєфі йому відповідає Середньоруська височина.

На захід від Українського щита знаходиться складна і розчленована на окремі блоки-масиви Волино-Подільська плита, складність будови якої знайшла своє відображення і у рельєфі, оскільки височини, що відповідають їй – Подільська та Волинська – не є суцільними орографічними одиницями, а включають в себе окремі масиви – Гологори, Товтри і т.д. Сусідня Львівсько-Волинська западина є прогином на межі двох великих структур – Східноєвропейської та Західноєвропейської платформ.

Останнім компонентом є Причорноморська западина, що спускається у бік Чорного моря, і у рельєфі їй відповідає однойменна низовина. Західноєвропейська платформа має невелику площу на території України, а тому її значення для даного дослідження є незначним.

Скіфська плита включає в себе частину степового Криму і частково охоплює передгірську зону Добруджа.

Окрему групу інтересу становлять Карпатська та Кримська складчаста система. Вони утворюють дві гірські системи. Українські Карпати є середньовисотними горами, тоді як Кримські гори належать до низьких. Не дивлячись на те, що це далеко не найвищі гірські хребти ані у світі, ані навіть у Європі, їх значення для формування кліматичних умов насправді колосальне.

Справа у тому, що гори з точки зору кліматології це не рельєфні одиниці, а бар'єр. Причиною цього є особливості прогрівання атмосферного повітря, яке отримує тепло від відносно вирівняної поверхні, і чим вище, тим температура повітря стає нижчою. Крім того, важливою є сама конфігурація гірських систем, оскільки при переході через гірський хребет через зниження температури, повітряні маси втрачають вологу, і далі вже кількість опадів стає значно меншою на іншому схилі гір. На території України Карпати виконують ряд інших функцій. Зокрема, саме завдяки їх конфігурації (з північного заходу на південний схід), західне перенесення повітряних мас також змінює свій напрямок, що впливає на характер континентальності клімату, яка при ідеальних умовах мала би збільшуватися із заходу на схід, але через гірський хребет, повітряні маси «повертають» на південний схід.

Крім того, важливим наслідком впливу Карпат є створення специфічних кліматичних умов у Закарпатті. Справа у тому, що вони водночас сприяють утриманню вологих західних повітряних мас у цьому регіоні, що підвищує кількість атмосферних опадів, що випадають тут. Другим наслідком є захист Закарпаття від холодних арктичних повітряних мас, які заходять на територію України зазвичай у березні. Цей фактор дозволив вирощувати у Закарпатті ряд теплолюбних сільськогосподарських культур, наприклад, виноград.

Кримські гори мають схожу функцію із Карпатами. Їх широтне простягання також захищає Південний берег Криму від північних холодних вітрів, і тому кліматичні умови цієї частини України мають чітко виражені риси субтропічного середземноморського клімату із вологою та помірно холодною зимою, майже завжди безсніжною і жарким та посушливим літом.

Окрім таких великих форм рельєфу, як гірські хребти, на території України є ряд низовин і височин, перепади висот яких формують мікрокліматичні особливості різних регіонів України. Наприклад, вздовж крутого правого берега Дніпра, де західні повітряні маси різко опускаються і стикаються із повітряними масами із іншими властивостями, внаслідок чого виникає потужний потенціал для електричного розряду. Тому узбережжя Дніпра, із Карпатами, це два місця із найбільшою кількістю гроз в Україні [18].

Самі кліматичні умови можна охарактеризувати за 6 метеорологічними ознаками, але у даному дослідженні найбільше значення мають температура повітря, кількість атмосферних опадів та напрямок і швидкість вітру.

Україна лежить у помірно-континентальній області помірного поясу Євразії Північної півкулі а тому її кліматичні умови можна охарактеризувати як доволі типові для даної частини світу із чітко вираженими кліматичними сезонами – весною, літом, осінню та зимою. Важливою особливістю є доволі помітна зміна, що відбувається із кліматом України, у зв'язку із чим проявляється явище зміщення сезонів і загальне потепління клімату. Так, весна, яка раніше починалася фактично в кінці березня для північної та східної частини України, зараз починається вже наприкінці лютого. Крім того, змінився і характер випадіння опадів взимку. Якщо раніше сніг лежав більш-менш постійно, починаючи з листопада і до березня на більшій частині території України, то з початку XXI ст. морози перестали бути стійкими, що спричиняє постійне танення снігового покриву, і як наслідок, землі не отримує природного укриття, яке оберігає її від заморозків, які не дивлячись на загальне потепління клімату, все одно мають місце. Наслідком цього стали великі проблеми із врожайністю вразливих сільськогосподарських культур.

Цей факт підтверджує, що разом із потеплінням клімату на території України процес його дестабілізації, коли зима майже безсніжна, але трапляються випадки випадіння снігу наприкінці квітня. Все це має дуже помітні

наслідки для сільського господарства, оскільки культури на полях не можуть так швидко пристосовуватися до різкої зміни погодних умов.

Водночас, протягом останніх років характерним стало більш активне прогрівання повітря у квітні-травні, що чудово видно на прикладі температурного режиму міста Києва (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Внутрішньорічний хід температури у місті Київ (за даними [27])

Кліматичне літо раніше починалося наприкінці травня, проте за останні роки намітилася тенденція, що в окремі роки можна казати вже навіть про кінець квітня, коли середні добові температури повітря стають вищими за 15°C. При цьому кінець літа, фактично змістився на третю декаду вересня-першу декаду жовтня, особливо протягом останніх кількох років. Літо на території України є доволі жарким і характеризується найбільшою кількістю опадів (якщо рахувати посезонно), проте характер випадіння опадів теж дещо змінився. Характерними стали зливові опади на початку літа у червні, які створюють ряд господарських проблем, оскільки великі потоки дощової води зупиняють транспорт, руйнують

комунальні системи і дощова каналізація не справляється із поглинанням таких об'ємів води.

Водночас, протягом липня і серпня стали поширеними тривалі засухи, особливо у степовій частині України, які також спричиняють ряд проблем із вирощуванням сільськогосподарських культур.

Температурний режим повітря також зазнав істотних змін. Так, мінімальні температури повітря майже по всіх метеостанціях України давно не оновлювали свої екстремальні значення, і вони спостерігалися у 1930-х, а подекуди навіть у 1900-х рр.. Найбільш сучасний рекорд – у 1987 році на метеостанції Рівне, коли температура повітря сягнула $-34,5^{\circ}\text{C}$.

Водночас температурні максимуми оновлюються дуже регулярно. Більшість із них оновилися у 2010 році, коли по багатьом метеостанціях температури повітря сягнули $+36^{\circ}\text{C}$ і вище. Унікальним у цьому відношенні стало літо 2024 року, коли температурні рекорди у містах трималися не одноразово, а іноді по кілька днів, і навіть тижнів, коли температура в тіні сягала $+36-37^{\circ}\text{C}$ (як наприклад було у Харкові, Києві та Одесі) [15].

Саме влітку найяскравіше проявляється контрастність кліматичних умов у різних частинах, у тому числі за рахунок континентальності. Так, оскільки вісь зростання ступеня континентальності клімату зростає у напрямку з північного заходу на південний схід, то зазвичай екстремально жарке літо меншою мірою спостерігається у Львівській, Волинській чи Івано-Франківській областях, оскільки там характерна більша загальна кількість атмосферних опадів, і водночас більш рівномірний характер їх випадіння.

Тим часом в Луганській, Донецькій, Харківській та Запорізькій областях спостерігаються значні температурні коливання впродовж року, і характер випадіння опадів більш нестійкий, і носить зливовий характер на початку літа, а потім змінюється тривалим періодом майже абсолютної посухи, коли дощів не випадає іноді по кілька тижнів. Ще одним фактом, який підтверджує неабияку роль континентальності у формуванні загальної кліматичної системи в Україні є

те, що і абсолютний мінімум, і абсолютний максимум були зафіксовані на метеостанції Луганськ (-42 та $+41^{\circ}\text{C}$) (рис. 2.2).

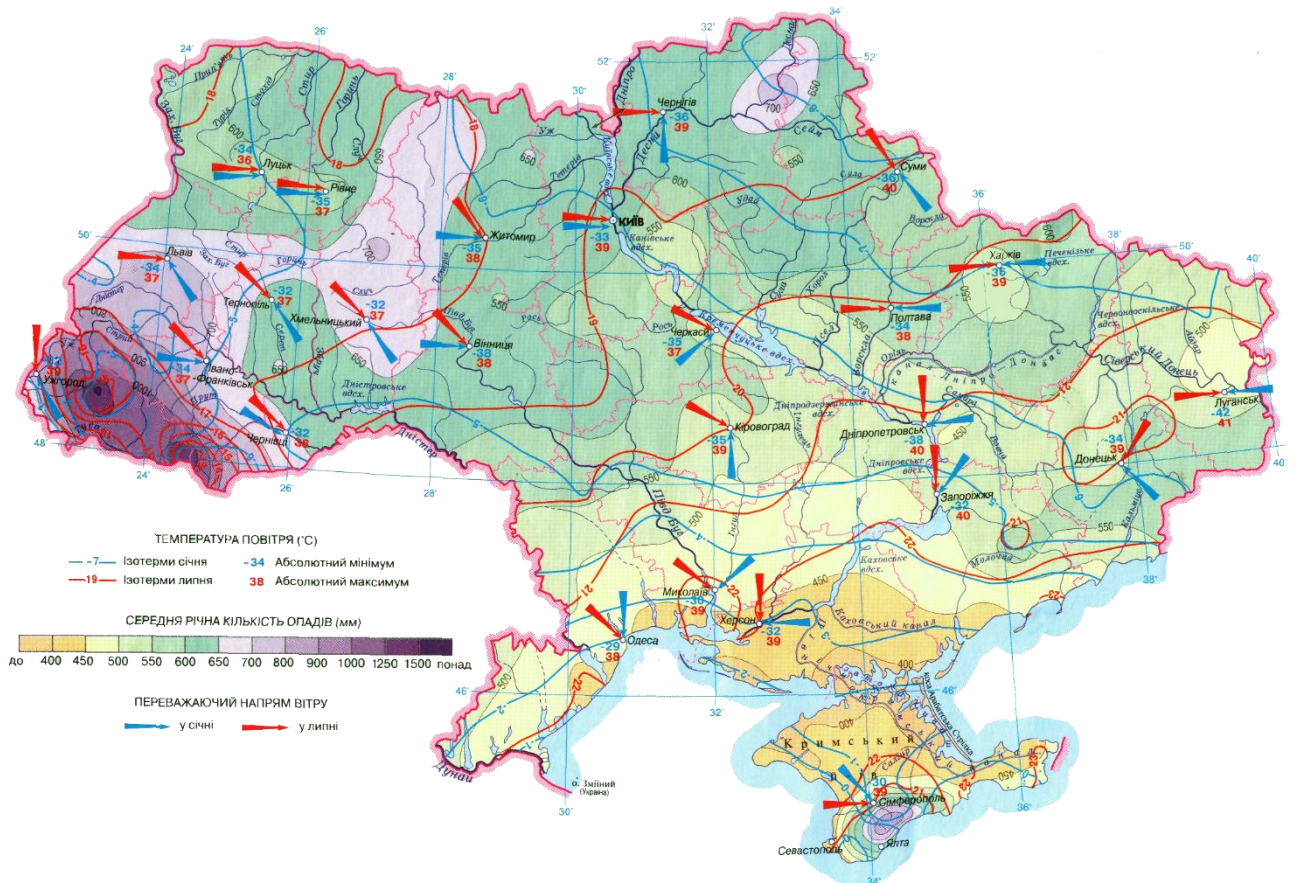


Рис. 2.2. Кліматична карта України [14]

Кліматична осінь починається наразі наприкінці вересня, подекуди у першій декаді жовтня і триває до кінця листопада, і навіть іноді до початку грудня. Вона характеризується більш-менш теплим початком сезону із більш холодним, ніж влітку ночами, проте ще доволі теплим денним часом. Водночас, у листопаді зрідка помітні заморозки і навіть випадіння мокрого снігу.

Зима починається у першій половині грудня і триває до кінця лютого, проте наразі стійких морозів майже не спостерігається, і сніговий покрив не лежить більше, ніж 2-3 дні майже по всій території України. Єдиним виключенням є Українські Карпати, де сніговий покрив є більш-менш стійким впродовж багатьох місяців, починаючи із жовтня до квітня. Водночас, поряд із в

цілому теплою погодою, якщо порівнювати її із попередніми десятиліттями, зими останніх років часто характеризуються чергуванням потеплінь і заморозків, що спричиняє ожеледі на дорогах і на деревах, що сприяє псуванню дорожнього покриття, створює потенційно аварійні ситуації. Також загрозливим є утворення льодяної кірки на землі та на деревах, які сприяють їх переохолодженню, а також порушують природний режим аерації, внаслідок чого ґрунтовий покрив втрачає частину своєї родючості, а деревна рослинність потерпає від ожеледі і часто починає гинути.



Рис. 2.3. Утворення ожеледиці на дорогах і тротуарах [19]



Рис. 2.4. Утворення ожеледі на деревах [20]

Територіальний розподіл кліматичних характеристик теж прив'язаний до дії факторів кліматоутворення. Оскільки у наступному пункті буде детальний огляд саме ролі сонячної радіації як фактору, то тут варто сконцентруватися на ролі характеру підстилаючої поверхні та характеру атмосферної циркуляції.

Середні січніві температури повітря коливаються від -4 і -5°C на північному заході та півдні України до -7 і -9°C на сході та північному сході України. Причиною такого розподілу є більша кількість тепла, що надходить на поверхню південної частини України, а також роль західного перенесення

повітряних мас, які приносять вологу до північно-західної частини України з Атлантичного океану.

Такий процес перенесення дозволяє пом'якшити кліматичні умови у цьому регіоні, оскільки більша кількість атмосферних опадів свідчить про вищу відносну вологість атмосферного повітря, що дозволяє повітрю більш довго тримати свій температурний режим через фізичні властивості води, які дозволяють їй довго прогріватися і довго охолоджуватися порівняно із іншими речовинами на Землі.

Поширення липневих ізотерм в цілому нагадує січневі, проте вагомою відмінністю є саме значення цих ізоліній. Температури липня коливаються від $+17-18^{\circ}\text{C}$ на півночі та північному заході України до $+22-23^{\circ}\text{C}$ на півдні та південному сході України.

Окремим питанням є кліматичні умови у великих містах, таких, як Київ, Харків, Дніпро, Одеса, Львів, Кривий Ріг і Запоріжжя, оскільки через високий ступінь концентрації населення, транспорту і промисловості температурний режим таких населених пунктів характеризується терміном «острів тепла», оскільки взимку, коли триває опалювальний сезон, іноді до 40% відсотків тепла з опалювальних систем витрачається на прогрівання атмосферного повітря через особливості конструкції опалювальних систем, що сприяє підвищенню загальної температури повітря. На побутовому рівні це можна довести тим, що у містах сніг завжди тоне набагато швидше, ніж у сільській місцевості.

Влітку схожа ситуація, але більшою мірою через концентрацію транспорту і охолоджувальних систем, які водночас викидають величезну кількість тепла в атмосферу, оскільки вони охолоджують внутрішні частини приміщень, але при цьому виділяють тепло назовні. Транспорт через виділення вихлопних газів також сприяє потеплінню. Крім того, у містах природний рослинний покрив зазвичай замінений залізобетонними конструкціями і асфальтованим покриттям, які мають нижчі показники альбедо, що спричиняє додаткове прогрівання нижнього шару атмосфери.

Крім температурного режиму не менше значення для формування загальних кліматичних умов має вітровий режим України. Він має більш коливальний характер, ніж температура повітря, оскільки залежить від проходження центрів дії атмосфери – циклонів та антициклонів (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Центри дії атмосфери, що впливають на Україну [18]

Умовно вважається, що влітку панівним напрямом є вітри західних та північно-західних румбів для всієї території України, тоді як в зимовий період проявляється дія так званої «вісі Воєйкова» - лінії високого атмосферного тиску, що проходить через Луганськ, Дніпро і Балту (рис. 2.5), на північ від якої панують західні вітри, а на південь – вітри східних румбів.

Не дивлячись на наявність «вісі Воєйкова», насправді картина пануючих вітрів в Україні набагато складніша. Справа у тому, що загальноприйняті закономірності описують лише пануючі вітри, але враховуючи дуже незначну тривалість панування циклонів та антициклонів, варто зазначити, що східні вітри доволі часто дмуть навіть в Прикарпатті. Тут краще розглядати розподіл напрямів вітрів за регіонами і за сезонами, оскільки у даних випадках закономірностей можна виявити набагато більше.

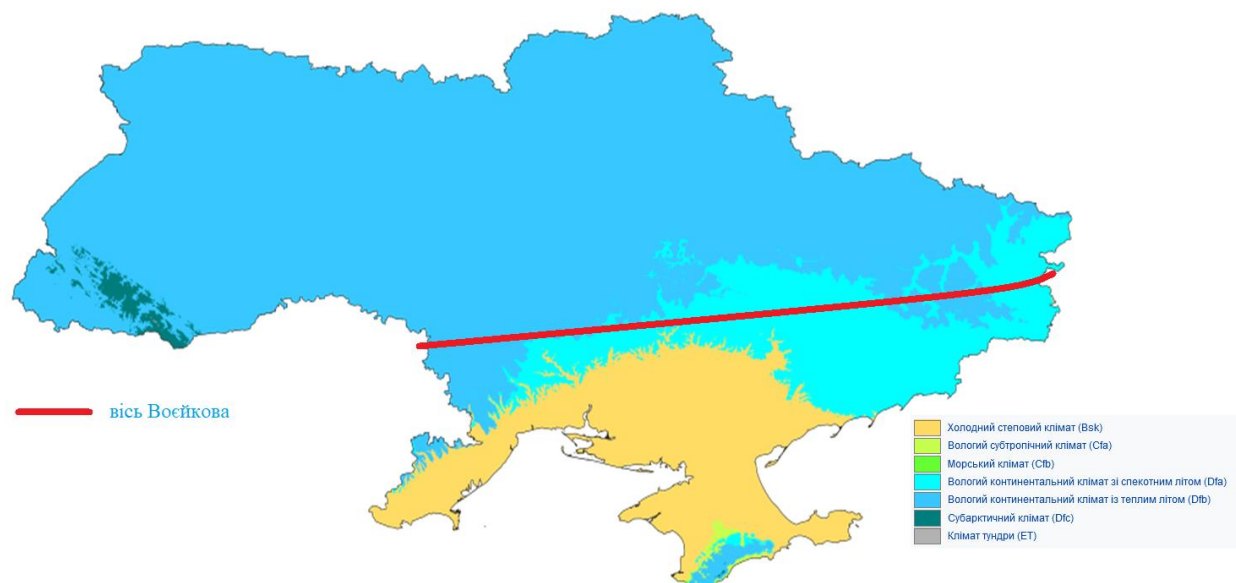


Рис. 2.5. Вісь Воєйкова на карті України [29]

Наприклад, влітку часто на територію України, особливо у південну та східну її частини, заходять вітри південних румбів, що дмуть з Північної Африки і несуть спеку та суху погоду. Яскравим прикладом такого явища є так звані «пилові бурі», що накрили Харків у 2024 році, принісши із собою значні об'єми пилу і пустельного піску. І хоча це явище є аномальним, воно яскраво свідчить, наскільки неоднорідною може бути картина вітрів в Україні.

Даний приклад демонструє необхідність включення до кліматичної характеристики України у даному дослідженні і питання несприятливих метеорологічних явищ. Вони самі по собі не є ключовою одиницею для виведення кліматологічних закономірностей, але як додатковий фактор у парі із усередненими метеорологічними величинами за багаторічний період, такі явища сприяють більшій деталізації аналізу і з побутової точки зору є більш показовими, оскільки мають більш швидкі і руйнівні наслідки.

Одним із найбільш поширених явищ є посухи. Раніше вони були характерні для Південного степу і Північного Криму, лише зрідка траплялися більш масштабні посухи, які охоплювали всю степову зону і південну частину лісостепової. Однак протягом останніх десятиліть XX – перших десятиліть XXI

ст. посухи стали майже повсюдним явищем в Україні, окрім Полісся, зони широколистяних лісів і Українських Карпат. Всі інші території потерпають від тривалих бездощових періодів, які негативно впливають на врожайність сільськогосподарських культур.

Грози і гради поширені в цілому по всій території України, проте найбільше їх припадає на Прикарпаття, Карпати і долину річки Дніпро. В зимовий період, а також пізньої осені та ранньої весни поширеними є ожеледі та ожеледиці, про негативні наслідки яких вже зазначалося у даному розділі.

Пилові бурі раніше були надзвичайно рідкісним явищем, характерним для південного степу, проте протягом останніх років через тривалі посухи і розтріскування ґрунту це явище стало частішим і охоплює близько половини території України.

Таким чином, кліматична характеристика України дозволила встановити, що її кліматичні умови в цілому є стандартними для помірно-континентальної області помірного поясу. Важливим фактором, який потрібно враховувати при проведенні такої характеристики є сучасні кліматичні зміни, що торкнулися не лише України, а й більшості країн світу. Ці зміни стосувалися характеру і тривалості проходження кліматичних сезонів. Крім того, характерним є стрімке зростання температур повітря і дестабілізація погодних умов, і особливо умов випадіння атмосферних опадів. Водночас, відбулися зміни у характері поширення і проходження негативних метеорологічних явищ, наприклад, посухи стали більш поширеними, тоді, як хуртовини трапляються відносно рідко.

2.2. Роль радіаційного фактору у формуванні клімату України

У минулому пункті кліматична характеристика України включала роль двох з трьох факторів – характеру підстилаючої поверхні та атмосферної циркуляції. Оскільки головною задачею даного дослідження виступає дослідження сонячної радіації та її показників з метою проведення їх

картографічного аналізу, то доцільним є виділення окремого пункту, який включатиме відомості про особливості поширення сонячної радіації по території України.

Перш, ніж перейти до розгляду радіаційного режиму України, необхідно коротко охарактеризувати джерело цієї енергії – Сонце. Сонце знаходиться у галактиці Молочний шлях і утворює свою зіркову систему, що включає ще 7 планет, окрім Землі. За характером спектрального випромінювання Сонце включають до жовтих карликів [37].

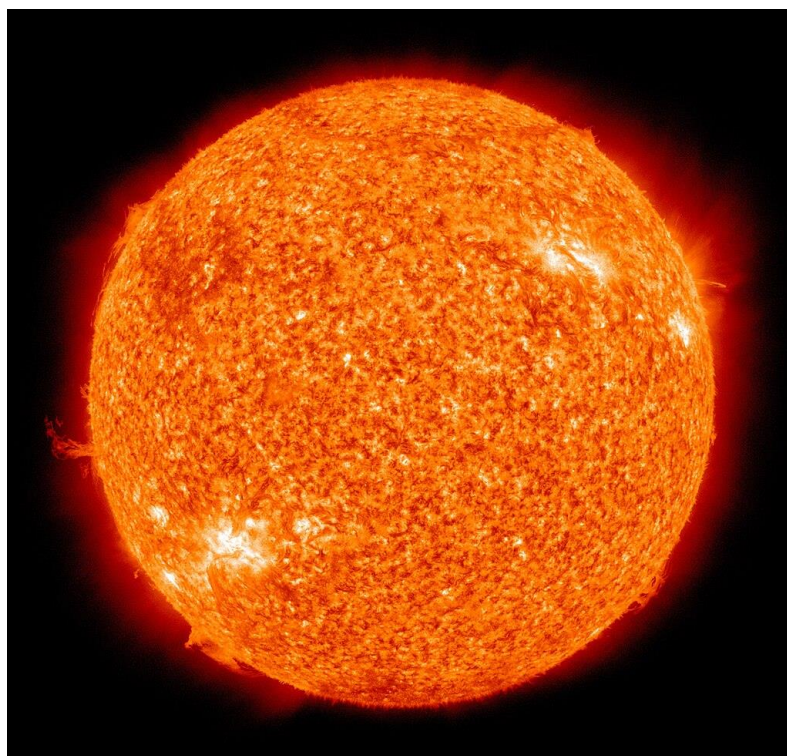


Рис. 2.6. Сонце в ультрафіолетовому спектрі (фото з МКС) [13]

За сучасними уявленнями Сонце утворилося близько 4,5 млрд років тому [33] із газопилової хмари, і наразі воно перебуває у середині свого життєвого циклу, після чого воно має перейти до стадії червоного карлика, після чого перейде до стадії білого карлика.

Сонце складається на три чверті з водню та на майже чверть із Гелію, які перебувають у безперервному процесі горіння. Фактично Сонце не має чіткої

поверхні і обмежене газоподібними хмарами із надвисокими температурами. Діаметр Сонця складає близько 1,4 млн км і у 109 разів перевищує земний [37].

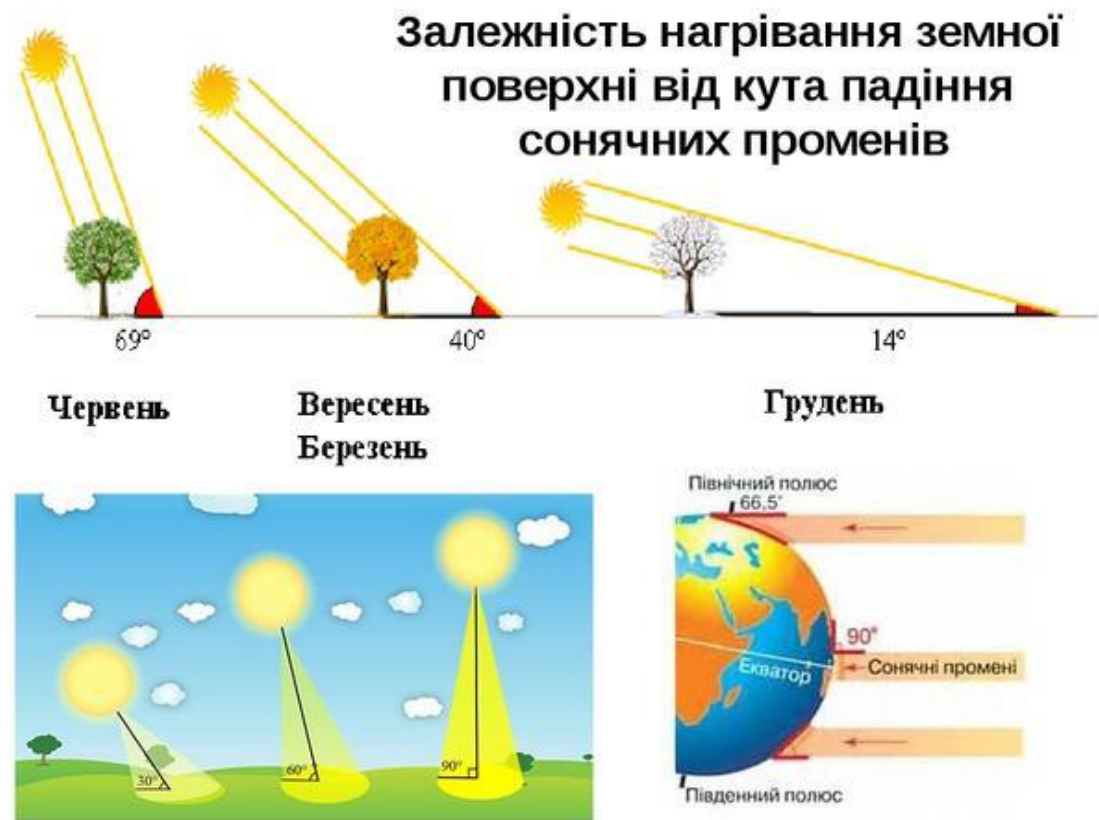


Рис. 2.7. Залежність нагрівання земної поверхні від кута падіння сонячних променів [18]

Сонячна радіація, що надходить на поверхню Землі залежить від кількох вагомих факторів – активності Сонця, обертання Землі навколо своєї осі та навколо Сонця. Якщо розглядати це з боку земної поверхні, то ще додається фактор географічної широти. Існує пряма залежність між показником географічної широти та кутом падіння сонячних променів. Вона виражається через формулу:

$$L = 90^\circ - \varphi \pm \Delta, \quad (2.1) [18]$$

де – географічна широта точки, для якої відбувається розрахунок;

φ - висота сонця над горизонтом;

Δ - поправка на дату (показник, який треба додавати чи віднімати залежно від дати).

Для 22.06 для Північної півкулі $= 23,5^\circ$ (широта Північного тропіка), у цей день сонце знаходиться найвище за рік, тому цей показник додається до різниці прямого кута і географічної широти. Для 22.12 все залишається так само, тільки не додаємо, а віднімаємо, оскільки в цей час сонце знаходиться у своїй найнижчій точці у Північній півкулі. Для України кути падіння сонячних променів коливаються від 14° 22 грудня для найпівнічнішої точки до 69° 22 червня для найпівденнішої точки (рис. 2.7). Тобто можна сказати, що сонце в Україні ніколи не буває в зеніті, і кут падіння сонячних променів більш-менше високий лише в першій половині літа, проте окрім суто кількості надходження сонячної радіації, важливим є взаємодія цього кліматотвірного чинника із двома іншими.

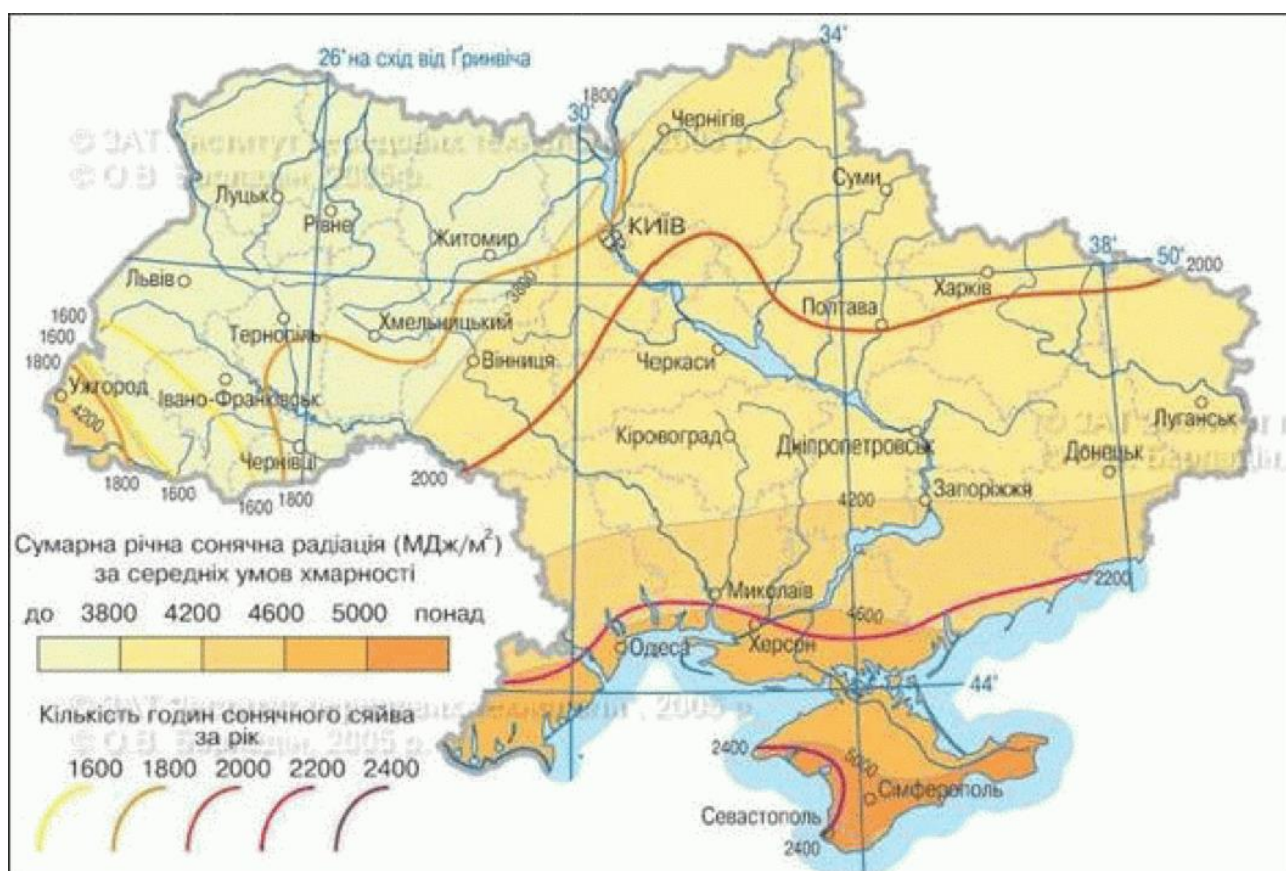


Рис. 2.8. Карта радіаційного режиму України [18]

Наприклад, розглянемо карту сонячної радіації та сонячного саява за даними 1961-1990 рр. для території України (рис. 2.8). Чітко видно, що найбільше сонячної енергії отримують степовий Крим та Азово-Чорноморське узбережжя із південною частиною степу ($4200-5200 \text{ МДж/м}^2$) [18].

Основна частина України отримує від 3800 до 4200 МДж/м^2 [18], а найменші величини кількості сумарної сонячної радіації характерні для північно-західної частини України, яка має більшу кількість атмосферних опадів, а значить і більшу хмарність, що сприяє скороченню кількості сонячної радіації.

Таким чином, проаналізувавши радіаційний режим України, можна впевнено стверджувати, що не дивлячись на пряму залежність кількості сонячної радіації від географічної широти місцевості та кута падіння сонячних променів на земну поверхню, просторовий характер поширення сумарної радіації помітно залежить від атмосферної циркуляції, оскільки через більш активне західне перенесення повітряних мас з Північної Атлантики у північно-західній Україні випадає більша кількість атмосферних опадів і спостерігається вищий ступінь хмарності.

Крім того, Південний берег Криму, наприклад, отримує трохи менше сонячної радіації, хоча знаходиться південніше. Це можна пояснити впливом Кримських гір, які закривають його від сухих степових вітрів, внаслідок чого південний берег отримує більше опадів, через північні передгір'я Криму.

РОЗДІЛ 3.

ЗАСТОСУВАННЯ КАРТОГРАФІЧНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОШИРЕННЯ І ДИНАМІКИ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ НАД ТЕРИТОРІЄЮ УКРАЇНИ

3.1. Розробка серії геозображень «Радіаційний режим території України»

Режим сонячної радіації на території України найкраще досліджувати за допомогою картографічного методу, оскільки він дозволяє провести аналіз просторового поширення даного показника, виділити райони із підвищеними та зниженими величинами, що характеризують надходження сонячної радіації, а також оцінити ті фактори, які спричиняють подібний розподіл.

На перший погляд здається, що оскільки сонячна радіація залежить від надходження енергії від Сонця, а тому залежить лише від географічної широти. Проте насправді, як вже зазначалося у попередніх пунктах, на розподіл радіації має вплив також рельєф і характер атмосферної циркуляції. На території України це проявляється по-різному, проте найбільшу роль у регулюванні просторового розподілу солярних показників відіграють Українські Карпати, які характеризуються більш інтенсивним випадінням атмосферних опадів, а також північно-західна частина України, яка теж отримує трохи більше опадів через близькість до вологих повітряних мас з Північної Атлантики.

Для проведення картографічного аналізу у даному дослідженні були залучені наступні показники: сумарна сонячна радіація за рік (із розрахунку на одиницю площі), тривалість сонячного сьйва (за рік), число днів без сонця (річна сума), суми прямої сонячної радіації на нормальну до променя поверхню за ясного неба і суми прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню за ясного неба. Для репрезентативності були взяті дані за багаторічний період, який зараз вважається «новою кліматичною нормою» - 1991-2020 рр. Єдиною проблемою, яка виникла у рамках збору і обробки даних – це відсутність даних з

метеостанцій АР Крим, Севастополя, окупованих районів Донецької та Луганської областей. Для цих регіонів дані були взяті за період 1991-2014 рр., про що свідчать примітки, які було вирішено розмістити на картографічних зображеннях, щоб дотримуватися принципу наукової істинності демонстрованих даних.

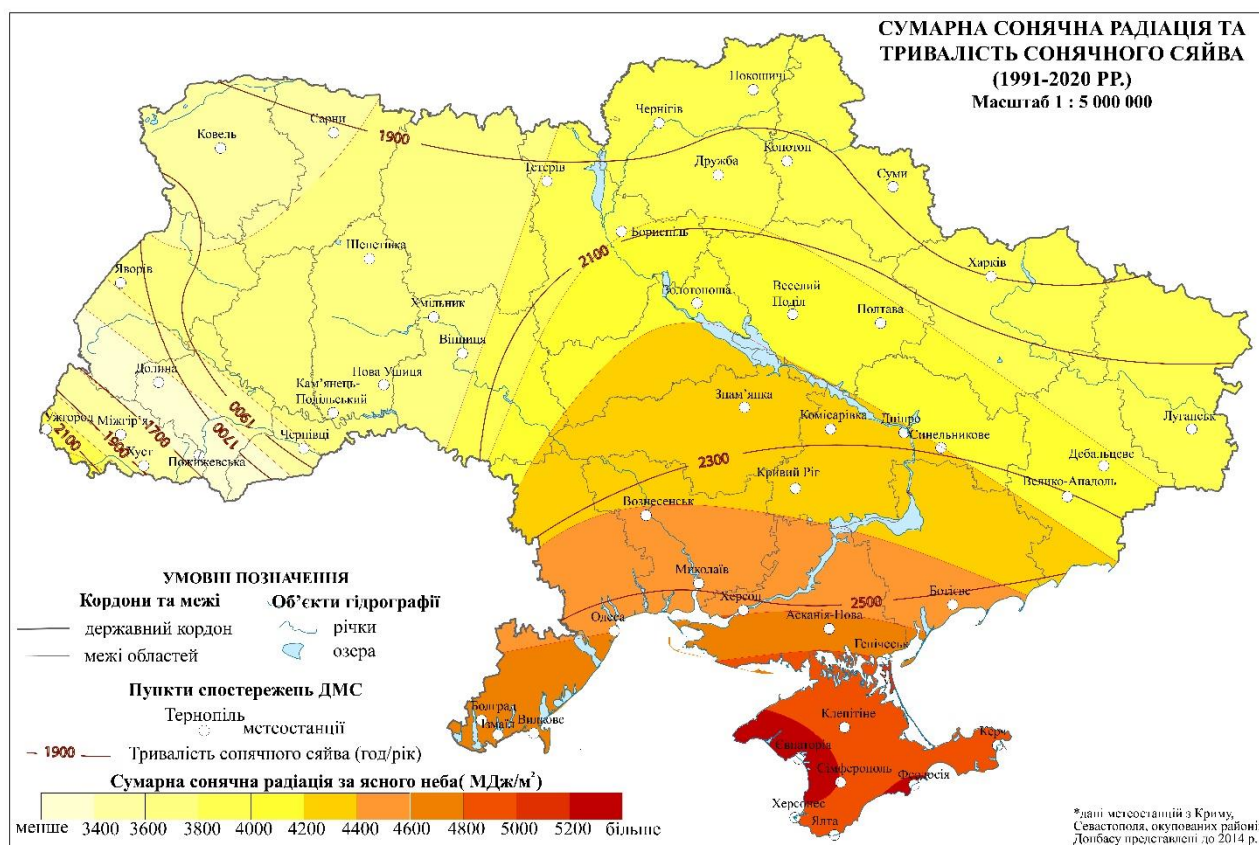


Рис. 3.1. Карта сумарної сонячної радіації та тривалості сонячного сяйва на території України за період 1991-2020 рр. (укладено за даними [5-7])

Сумарна сонячна радіація є одним із ключових показників у даному дослідженні, оскільки вона демонструє кількість тієї енергії, яку отримує земна поверхня від Сонця, і може свідчити про загальний геліоенергетичний потенціал території. На першому картографічному зображенні (рис. 3.1) її поєднано із тривалістю сонячного сяйва, оскільки саме воно і визначає кількість сонячної радіації, що надходить на поверхню, і як видно із карти, їх ізолінії мають схожий характер поширення. Для сумарної сонячної радіації тут обраний спосіб ізоліній

з пошаровим розфарбуванням, а для тривалості сонячного саява було вирішено використати метод ізоліній, щоб не перекривати карту штриховкою, і вона легко читалася користувачем. Проте перед створенням самого картографічного зображення необхідно було виправити ряд неточностей у географічній основі. Справа у тому, що географічна основа з Оупен Стріт Мап, а саме річкова мережа України була надзвичайно точною і розгалуженою, що не є потрібним для даного дослідження, оскільки воно не є гідрологічно орієнтованим за своїм характером.

Тому використавши базову карту ОСМ в АркГІС була створена річкова мережа, яка включає найдовші річки України – Дніпро, Сіверський Донець, Дністер, Тису і т.д. Таким чином карта не буде перевантажена зайвою інформацією, що не несе ключового змісту у даному дослідженні.

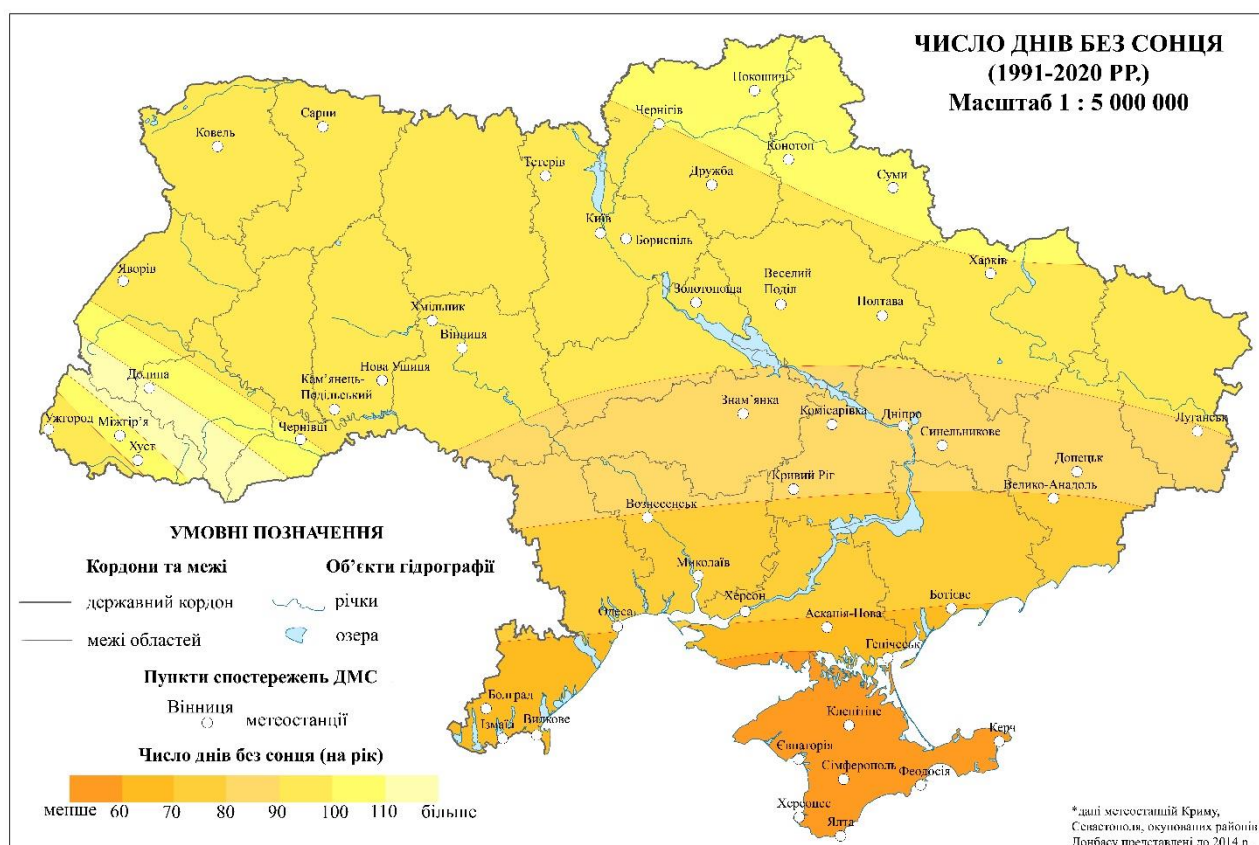


Рис. 3.2. Карта кількості днів без Сонця на території України за період 1991-2020 рр. (укладено за даними [5-7])

Наступним етапом був експорт карти і редагування шарів ізоліній та легенди карти у графічному редакторі Ілюстратор, оскільки в Арк Мап ізолінії можна створити лише за крайніми точками, для яких є дані, а відповідно фінальна поверхня має форму прямокутника, що не є зручним для картографічної обробки.

Далі у дослідженні була використана кількість днів без сонця, яка опосередковано демонструє хмарність на досліджуваних територіях і потенційну частку розсіяної сонячної радіації, що надходить на земну поверхню. Оскільки тут на карті зображується лише один показник, то доцільним є використання способу ізоліній з пошаровим розфарбуванням (рис. 3.2). Географічна основа залишається без змін.



Рис. 3.3. Суми прямої сонячної радіації на нормальну до променя поверхню за ясного неба на території України за період 1991-2020 рр. (укладено за даними [5-7])

Останні два показники – суми прямої сонячної радіації на нормальну та на горизонтальну поверхню за умов ясного неба, хоча і відрізняються за величинами, проте за характером просторового поширення вони мають багато спільних рис. Фактично вони є рівнозначними, а тому зображувати їх на одній карті не досить доцільно. Тому було створено два окремих картографічних зображення (рис. 3.3-3.4), де був використаний також спосіб ізоліній з пошаровим розфарбуванням для розміщення тематичного змісту.

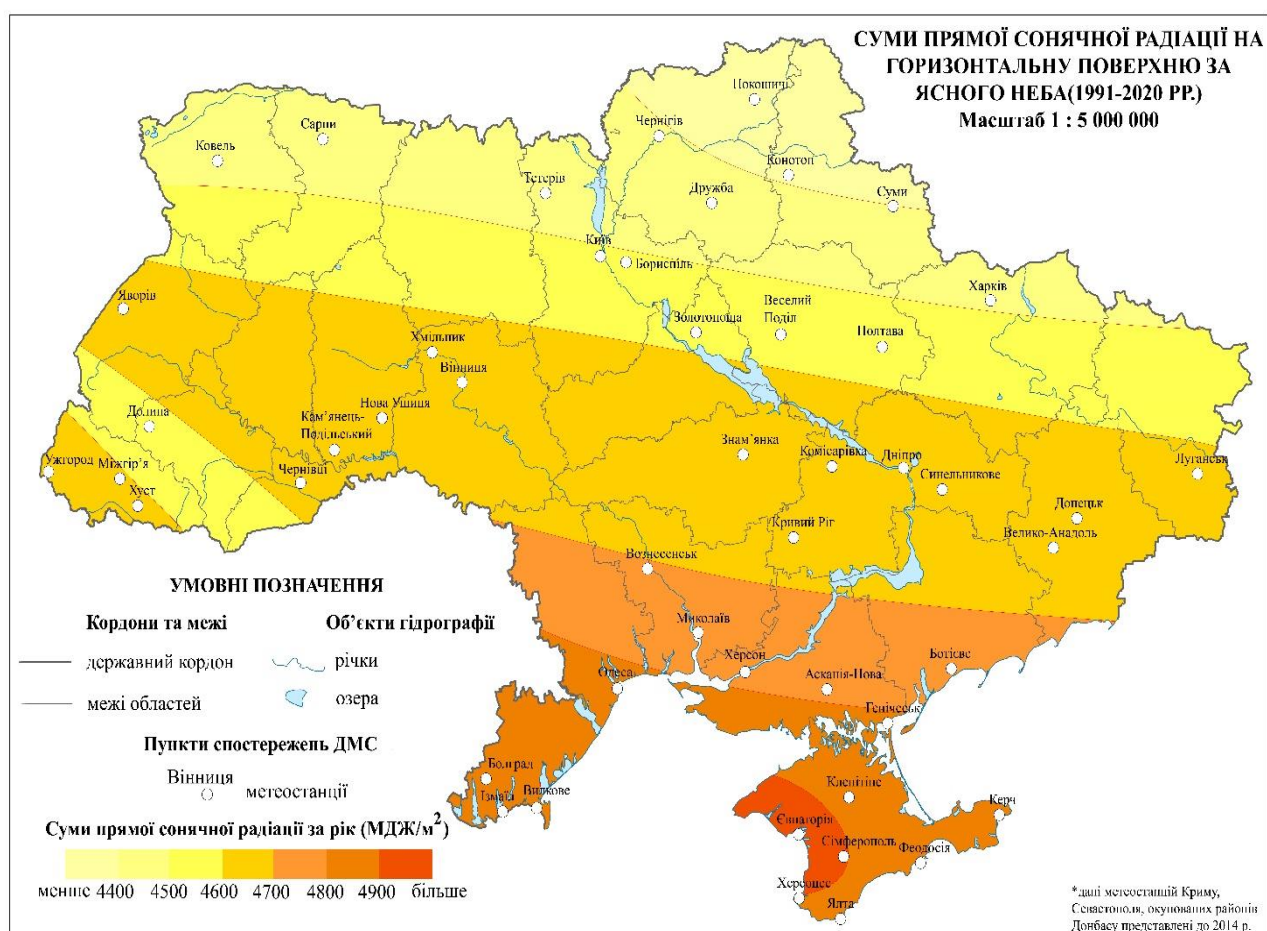


Рис. 3.4. Суми прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню за ясного неба за період 1991-2020 рр. (укладено за даними [5-7])

Таким чином, даний етап дослідження включав в себе створення 4 картографічних зображень за тематикою радіаційного режиму України, які включають в себе географічну прив'язку для 5 показників і були використані для

проведення геопросторового аналізу з метою виявлення закономірностей у поширенні різних показників сонячної радіації і виявлення причин, чому порушений субширотний характер поширення отриманих ізоліній, враховуючи, що кількість сонячної радіації в першу чергу залежить від географічної широти та кута падіння сонячних променів.

3.2. Геопросторовий аналіз картографічних зображень

Завдяки побудові серії картографічних зображень на тему «Радіаційний режим України» є змога проаналізувати просторовий характер поширення показників сонячної радіації із залученням актуальних статистичних даних за період 1991-2020 рр.

В цілому, за логікою надходження сонячної радіації до земної поверхні, очікується, що поширення ізоліній на карті буде носити субширотний характер. Однак вже на прикладі першого геозображення (рис. 3.1) чітко видно, що все набагато складніше. В цілому для території України показники сумарної сонячної радіації варіюються в межах від 3400 до 5200 МДж/м². Найменшу кількість сумарної сонячної радіації отримують північно-західні регіони України, які отримують більше атмосферних опадів і характеризуються більшою хмарністю впродовж року.

Також невелика кількість сонячної радіації припадає на район Українських Карпат (менше 3400 МДж/м²), оскільки цей хребет характеризується рекордною кількістю атмосферних опадів, а отже і хмарністю.

На Західній Україні, на Закарпатті та у Правобережному Придніпров'ї сонячна радіація коливається від 3600 до 4000 МДж/м², що спричинене також відносно великою хмарністю та кількістю опадів, порівняно із лівобережним Лісостепом та степом.

Трохи більшою є кількість сонячної радіації на лівобережжі та на Донбасі (до 4200 МДж/м²), де хмарність ще менша. Найвищі показники сонячної радіації

характерні для степової зони (4400-4800 МДж/м²), а максимальними вони є для Азово-Чорноморського узбережжя і Криму. Так, вздовж морського узбережжя радіація складає 4800-5000 МДж/м². В районі Євпаторії кількість сонячної радіації сягає 5200 МДж/м² і вище, і на інших картах буде видно, що у цьому районі всі показники, пов'язані із сонячною радіацією також є найвищими. У тому числі це пов'язано із тим, що тут випадає найменша кількість атмосферних опадів в Україні.

Тривалість сонячного саява за рік в цілому співпадає із поширенням сонячної радіації. Мінімальні показники спостерігаються в районі Українських Карпат (1700-1800 годин на рік) та на півночі України (до 1900 годин). У Лісостепу і Степу тривалість коливається в межах між 2100 та 2500 годин, і як, і сонячна радіація досягає максимуму на морському узбережжі та у степовій частині Кримського півострова.

Наступний показник – кількість днів без сонця має зворотній характер поширення, оскільки відсутність сонячного саява прямо протилежна надходженню сонячної радіації. Тому найбільше днів без сонця спостерігається у Карпатах та на північному сході України, а найменше на узбережжі Азовського та Чорного морів та у Криму. Проте характер поширення ізоліній тривалості сонячного саява паралельний широті, а значить більш залежний від кута падіння сонячних променів, ніж від інших кліматотвірних факторів.

Суми сонячної радіації на нормальну до променя поверхню за умов ясного неба демонструють потенціал сонячної радіації за ідеальних змодельованих умов, коли сонячні промені падають під прямим кутом і їх кут не залежить від часу доби, сезонів та погодних умов. Впливає на нього лише географічна широта та характер підстилаючої поверхні (в першу чергу рельєф). Тому, не дивлячись на теоретичний характер цього показника, характер його поширення по території України в цілому нагадує і сумарну сонячну радіацію, і кількість годин сонячного саява.

Останній показник, що аналізувався – суми сонячної радіації на горизонтальну поверхню є більш наближеним до реальних умов і залежить від географічної широти, пори року і часу доби, тому суми сонячної радіації тут майже вдвічі менші, ніж у сумах радіації на нормальну поверхню. Проте характер поширення цього показника майже співпадає із попереднім.

Таким чином, проаналізувавши ресурси сонячної енергії України та характер їх поширення, можна прийти до висновку, що найменший геліоенергетичний потенціал мають Волинська, Чернігівська, Сумська, частина Львівської, Закарпатської та Івано-Франківської областей через більший показник хмарності, який знижує відсоток прямої сонячної радіації, яка є найбільш енергоефективною з точки зору прогрівання земної поверхні та використання цієї енергії для потреб альтернативної енергетики.

Найбільший потенціал характерний для південної частини Одеської, Миколаївської, Херсонської та Запорізької областей, а також для Криму та Севастополя. Причиною цього, окрім суто географічної широти, через яку на даній території вищий кут падіння сонячних променів впродовж року, є значно менша хмарність, і цей регіон є найпосушливішим в Україні. Саме тому тут розташовані найбільші сонячні електростанції, проте нажаль велика частина цих територій наразі опинилася під окупацією – Крим і Севастополь з частиною Донбасу з 2014 року, і східна частина Північного Причорномор'я та Приазов'я з весни 2022 року.

Можливості використання сонячної енергії Лісостепу і північної частини Степу не такі значні, як приморських районів, проте через потепління клімату і зменшення кількості атмосферних опадів у багатьох регіонів, кількість годин сонячного сяйва зростає через зменшення хмарності, а разом із цим і сумарна сонячна радіація. Тому геліоенергетичний потенціал України в цілому має перспективи до зростання, що є однією із небагатьох позитивних рис глобального потепління.

ВИСНОВКИ

Таким чином, проведене в рамках написання кваліфікаційної роботи бакалавра дослідження дозволило прийти до наступних висновків:

1. Український науковий досвід щодо вивчення теоретичних основ картографування кліматичних умов демонструє, що дана тема є доволі популярною, особливо протягом останніх десятиліть. Причиною такого сплеску інтересу є кліматичні зміни, що зачепили Україну і проявляються у зростанні температури повітря. Основним природним фактором, який регулює цей показник є сонячна радіація, а тому її вивчення є актуальним питанням, однак аналіз наявних публікацій довів необхідність оновлення картографічного забезпечення подібних досліджень. Другою причиною є дослідження геліоенергетичного потенціалу, оскільки після початку війни на Донбасі та повномасштабного вторгнення з боку РФ Україна зіткнулася з кризовими явищами в енергетиці, а тому необхідно шукати альтернативні шляхи енергоживлення.
2. Встановлено, що сонячна радіація вимірюється більш-менш точно впродовж відносно короткого історичного періоду, проте інтерес до сонця як до джерела енергії, яка дозволяла вирощувати культурні рослини зафіксований у різних народів світу ще з часів зародження писемності, однак більшість із них носять радше клерикальний характер. Наукові публікації, присвячені сонцю і його ролі у формування глобальної кліматичної системи, з'явилися в європейській літературі вже у Новий час. На сучасному етапі існує ряд глобальних онлайн-джерел, які дозволяють відслідкувати різні показники сонячної радіації за даними супутникових зйомок, проте залишається актуальним створення схожих платформ чи картографічних зображень для України.

3. Підтверджено, що радіаційний режим має дуже вагоме значення у формуванні кліматичних умов України, однак оцінювати його роль без урахування інших факторів – рельєфу і характеру пануючих повітряних мас та їх перенесення неможливо. За ідеальних умов сонячна радіація мала би поширюватися по території України у широтному напрямку, однак вплив Українських Карпат, Кримських гір та західного перенесення повітряних мас, що спричиняє підвищену кількість опадів на північному заході України трансформують характер територіального розподілу сонячної енергії. Українські Карпати, формуючи бар'єрний ефект для західних вітрів, сприяють зростанню хмарності у цьому районі, внаслідок чого формується смуга вздовж гірського хребта, що отримує найменшу кількість сонячної радіації в Україні.
4. Застосування геоінформаційних засобів дозволило створити серію картографічних зображень, які дозволили довести вагому роль гірських хребтів України у формуванні загальних полів сонячної радіації. Водночас, характерною особливістю є максимальні значення цього показника вздовж Азово-Чорноморського узбережжя та у Криму, а також у південній частині степу, що робить ці території найбільш ефективними для будівництва сонячних електростанцій. Головною перешкодою для цього є незаконна окупація частини цих територій з боку РФ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Атлас річок України. URL: <https://river.land.kiev.ua/atlas-rivers.html> (дата звернення: 17.03.2025).
2. Булавенко І.Г. Величини складових радіаційного балансу в південному Розточчі, як передумова функціонування природних територіальних комплексів. *Фізична географія та геоморфологія*. Київ, 2013. С. 243-249. URL: https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2015/08/Vplyv_sklad_rad_balansu.pdf (дата звернення: 27.03.2025).
3. Відкритий посібник з відкритих даних / Кубай Д. та ін. Київ, 2016. URL: <https://socialdata.org.ua/manual/> (дата звернення: 14.05.2025).
4. Вісь Воєйкова в Україні. URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/23/%D0%92%D1%96%D1%81%D1%8C_%D0%92%D0%BE%D1%94%D0%B9%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0.png (дата звернення: 27.03.2025).
5. Державний Кадастр з клімату. 1991-2000 рр. Київ: ЦГО, 2001. 570 с.
6. Державний Кадастр з клімату. 2001-2010 рр. Київ: ЦГО, 2012. 495 с.
7. Державний Кадастр з клімату. 2011-2020 рр. Київ: ЦГО, 2021. 503 с.
8. ДСТУ 3682-98. Енергозбереження. Методика визначення повної енергоємності продукції, робіт та послуг. Київ. 11 с.
9. Енергія Сонця на території України: реферат. URL: <https://osvita.ua/vnz/reports/astronom/22945/> (дата звернення: 11.03.2025).
10. Завадських Г.М. Природно-ресурсний потенціал України і його економічна оцінка. *Електронний посібник*. URL: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/feb/ptbd_2/page8.html (дата звернення: 19.03.2025).

11. Зміна клімату збільшує туристичний потенціал Чорного моря. Укрінформ. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-society/3834648-zmina-klimatu-zbilsue-turisticnij-potencial-cornogo-mora.html> (дата звернення: 15.03.2025).
12. Зображення модуля МКС. URL: <https://eosps.nasa.gov/sites/default/files/sat/TSIS.jpg> (дата звернення: 19.04.2025).
13. Зображення Сонця в ультрафіолетовому спектрі 2010 року. URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b4/The_Sun_by_the_Atmospheric_Imaging_Assembly_of_NASA%27s_Solar_Dynamics_Observatory_-_20100819.jpg/1024px-The_Sun_by_the_Atmospheric_Imaging_Assembly_of_NASA%27s_Solar_Dynamics_Observatory_-_20100819.jpg (дата звернення: 11.03.2025).
14. Кліматична карта України. URL: <https://meteopost.com/weather/climate-normals/climat.png> (дата звернення - 11.04.2025).
15. Кліматичні рекорди: 9 кліматичних рекордів України. Центральна Геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського ДСНС України. URL: <http://cgo-sreznevskiyi.kyiv.ua/uk/diialnist/klimatolohichna/klimatychni-rekordy> (дата звернення: 25.03.2025).
16. Корчемний М. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. 11 с.
17. Лівик Н.В., Верхолацева В.О., Самойчук К.О. Використання енергії Сонця в сучасному енергозабезпеченні України : електронний навчальний посібник. 2020. URL: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_1/page12.html (дата звернення: 19.03.2025).

18. Масляк П.О., Шищенко П.Г. Географія України: Пробний підручник для 8-9 класів середньої школи. Київ : Зодіак-ЕКО, 1996. 432 с. URL: https://eduknigi.com/geo_view.php?id=1 (дата звернення: 10.03.2025).
19. Новини. Суспільство: 2024 рік став найтеплішим у Києві за час спостережень — метеорологи. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/news-kyiv-2024-rik-meteorolohy/33261132.html> (дата звернення: 22.03.2025).
20. Ожеледь на деревах (фотоматеріал). URL: https://teren.in.ua/uploads/media/73/a2/73a2cd3113cf745546928f6b07eba546_w640.webp (дата звернення: 18.03.2025).
21. Офіційний веб-сайт Українського Гідрометеорологічного центру ДСНС України. URL: <https://www.meteo.gov.ua/> (дата звернення: 22.04.2025).
22. Пізнавальний сайт «Географія». URL: https://geoknigi.com/book_view.php?id=796 (дата звернення: 29.03.2025).
23. Портал «Географічні карти України». URL: <https://geomap.land.kiev.ua/index.html> (дата звернення: 31.03.2025).
24. Рибченко Л.С., Савчук С.В. 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. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.3.7> (дата звернення: 02.04.2025).
25. Тарасюк С.В. Рекреаційно-туристичний потенціал Волинської області як об'єкт шкільного краєзнавства. Київ, 78 с. URL: https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/01/Tarasiuk_mahisterska_robota_2023.pdf (дата звернення: 11.04.2025).

26. Тривалість сонячного сяйва: аналітична довідка. URL: <https://geographyuaonline.blogspot.com/2020/11/blog-post.html> (дата звернення: 19.04.2025).
27. Центральна Геофізична обсерваторія: офіційний веб-сайт. URL: <https://cgo-sreznevskyi.kiev.ua/index.php?dv=pos-klim-kadastr> (дата звернення: 18.04.2025).
28. Як утворюється ожеледиця? URL: <https://www.pogodairadar.com.ua/pohodni-novyny/yak-utvoryuyetsya-ozheledytsya--9d6086b4-b8d4-4642-9fe1-cdc147dfc26a> (дата звернення: 12.03.2025).
29. A statistical model of solar radiation absorption in the United States / Lim A. and others // *Atmosphere, Oceanology, Science*. V. 35. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44195-024-00069-3> (дата звернення: 19.03.2025).
30. Basunia, M., Yoshio, H., & Abe, T. Simulation of Solar Radiation Incident on Horizontal and Inclined Surfaces. *The Journal of Engineering Research [TJER]*. 9(2). 2012. PP. 27–35. DOI: <https://doi.org/10.24200/tjer.vol9iss2pp27-35> (дата звернення – 18.04.2025).
31. Besharat, F., Dehghan, A. A., Faghih, A. R. Empirical models for estimating global solar radiation: a review and case study. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 21. 2013. PP. 798–821. DOI: 10.1016/j.rser.2012.12.043 (дата звернення: 18.04.2025).
32. Bhatia S.C. *Advanced Renewable Energy Systems*. 2014. URL: <https://www.sciencedirect.com/book/9781782422693/advanced-renewable-energy-systems#book-info> (дата звернення: 18.04.2025).
33. Earthdata Search. URL: <https://www.earthdata.nasa.gov/> (дата звернення: 21.03.2025).

34. Frohlich, C., Brusa, R.W. Solar radiation and its variation in time. *Sol Phys* 74. 1981. PP. 209–215. DOI : <https://doi.org/10.1007/BF00151291> (дата звернення: 15.03.2025).
35. Global Solar Atlas. URL: <https://globalsolaratlas.info/map?c=49.164464,31.522745,6&a=23.417469,47.016217,23.417469,51.223398,39.62802,51.223398,39.62802,47.016217,23.417469,47.016217> (дата звернення: 15.04.2025).
36. Global Wind Atlas. URL: <https://globalwindatlas.info/en/> (дата звернення: 15.04.2025).
37. Hong L., Bing F., Fei J. The criteria to achieving sub-ambient radiative cooling and its limits in tropical daytime. *Building and Environment*. V. 221. 2022. PP. 145-158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109281> (дата звернення: 18.03.2025).
38. Introduction to solar radiation: tutorial. URL: <https://www.newport.com/t/introduction-to-solar-radiation> (дата звернення: 17.03.2025).
39. Kendall J.M. Proc. Symposium on Solar Radiation. Smithsonian Institution. Washington D.C. 1973. 190 p.
40. Meteoclim. URL: <https://meteoclim.com/en/> (дата звернення: 19.04.2025).
41. Mueller R. Verification of NCEP Reanalysis Shortwave Radiation with Mesoscale Remote Sensing Data // *Geosciences and Remote Sensing Letters*. V. 5. 2008. PP. 34-38. DOI: <https://doi.org/10.1109/LGRS.2007.907537> (дата звернення: 31.03.2025).
42. NASA Power Docs. URL: <https://power.larc.nasa.gov/docs/> (дата звернення: 21.04.2025).

43. NASA Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER). URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (дата звернення: 21.04.2025).
44. Neale R.E., Lucas R.M., Byrne S.N. The effects of exposure to solar radiation on human health. *Photochem Photobiol Sci.* V. 22 (5). 2023. PP. 1011-1047. DOI: doi:10.1007/s43630-023-00375-8 (дата звернення: 11.03.2025).
45. Pandey, Chanchal & Katiyar, A. K. Solar Radiation: Models and Measurement Techniques. *Journal of Energy.* 2013. DOI: 10.1155/2013/305207 (дата звернення: 19.04.2025).
46. Ryle M., Vonberg D. Solar Radiation on 175 Mc/s // *Nature.* V. 158. 1946. PP. 339-340. DOI: <https://doi.org/10.1038/158339b0> (дата звернення: 11.04.2025).
47. Solar Radiation Basics / U.S. Department of Energy. URL: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-radiation-basics> (дата звернення: 20.02.2025).
48. The impact of solar radiation on the temperature regime of a room in winter / Fialko N.M. and others // *Energy Technologies & Resource Saving.* V. 80. P. 135-145. DOI: <https://doi.org/10.33070/etars.3.2024.09> (дата звернення: 12.05.2025).
49. Total and Spectral Solar Irradiance Sensor 1 (on the ISS) (TSIS-1). URL: <https://eosps.nasa.gov/missions/total-and-spectral-solar-irradiance-sensor-1-iss> (дата звернення: 18.03.2025).
50. Werner K. S. Changes in the Total Solar Irradiance and climatic effects // *Agora – Scientific reflections.* Davos, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1051/swsc/2021016> (дата звернення: 28.03.2025).
51. Werner K. S. Changes in the Total Solar Irradiance and climatic effects // *J. Space Weather Space Clim.* V. 11. 2021. PP. 40-57. DOI: <https://doi.org/10.1051/swsc/2021016> (дата звернення: 19.04.2025).

52. Wiki Open Street Map. URL:
<https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Shapefiles> (дата звернення:
 20.04.2025).
53. Wilson R.C., Hudson H.S. The Sun's luminosity over a complete solar
 cycle. *Nature*. 1991. 351 (6321). PP. 42-44. DOI:
<https://doi.org/10.1038/351042a0> (дата звернення: 19.03.2025).