

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЮРІЯ ФЕДЬКОВИЧА
Географічний факультет
Кафедра геодезії, картографії та управління територіями

ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЗАСОБАМИ ГІС
(на прикладі територій Чернівецької області)

Дипломна робота

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Виконав:
студент VI курсу, групи 628
спеціальності
193 «Геодезія та землеустрій»

Третяк Володимир Миколайович

Керівник: к. г. н., доцент Дарчук К. В.

До захисту допущено:

протокол засідання кафедри № ___

від « ___ » _____ 2020 р.

зав. кафедри _____ проф. Сухий П. О.

Чернівці – 2020 р.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	4
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ АНАЛІЗУ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	7
1.1. Огляд наукових досліджень в сфері геоінформаційного забезпечення альтернативних джерел енергії.....	7
1.2. Обґрунтування технологічних та теоретико-методичних основ при аналізі потенціалу сонячної енергії.....	10
1.3. Нормативно-правове забезпечення стимулювання розвитку альтернативної енергетики в Україні.....	14
Висновки до 1 розділу.....	18
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ І ТЕХНОЛОГІЇ ГЕОІНФОРМАЦІОНОГО АНАЛІЗУ СОНЯЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ.....	19
2.1. Методологічні принципи та засади застосування геоінформаційних систем при аналізі сонячного потенціалу.....	19
2.2. Технологічна специфіка та вихідні дані при геоінформаційному аналізі сонячної енергії.....	27
2.3. Вітчизняні розробки в галузі геоінформаційного аналізу альтернативних джерел енергії.....	32
Висновки до 2 розділу.....	37
РОЗДІЛ 3. ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АНАЛІЗУ СОНЯЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ.....	38
3.1. Технологія здійснення геоінформаційного аналізу сонячного потенціалу.....	38
3.2. Загальні моделі аналізу потенціалу сонячної енергії.....	40
3.3. Порівняльний аналіз сонячного потенціалу територій Чернівецької області за допомогою геоінформаційних систем.....	57

Висновки до 3 розділу.....	62
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ГІС – географічна інформаційна система

АЕ – альтернативна енергетика

ВДЕ – відтворювальне джерело енергії

ГІМ – геоінформаційне моделювання

ГІТ – геоінформаційні технології

НДДКР – науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи

ПЗ – програмне забезпечення

ЦМР – цифрова модель рельєфу

SRTM – shuttle radar topographic mission

WGS84 – World Geodetic System 1984

EGM96 – Earth Gravitational Model 1996

ВСТУП

Актуальність теми. Сонячна енергетика є одним з перспективних напрямків використання енергії відновлювальних джерел на території України. Переваги використання енергії сонячної радіації як первинного місцевого енергоресурсу, полягають у можливості використання на більшості ділянок поверхні Землі та в можливості безпосереднього перетворення енергії сонячної радіації в теплову та електричну енергію. Основними параметрами, що використовуються у визначенні ефективності впровадження сонячних енергетичних установок, є інтенсивність надходження сонячної радіації і температура зовнішнього повітря. Сонячне випромінювання, яке надходить на будь-яку поверхню, складається з прямої і розсіяної сонячної радіації та випромінювання, що відбивається від поверхні Землі і різних предметів, розташованих поблизу цієї поверхні. Надходження сумарної сонячної радіації змінюється протягом дня, року та з року в рік, однак, її середньорічні значення за багаторічний період досить стійкі. Змінними величинами є самі складові сумарної сонячної радіації (пряма та розсіяна сонячна радіація), причому часто збільшення однієї з величин призводить до зменшення іншої, майже не впливаючи на їхню суму. Складова прямої сонячної радіації в добовій сумі сонячної радіації, що потрапляє на горизонтальну поверхню Землі, може знаходитися в діапазоні від 90% у дуже сонячний день до 0% у дуже похмурий день [1, 2].

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є аналіз потенціалу сонячної енергії.

Для досягнення мети було поставлено такі **завдання**:

- аналіз існуючих теоретико-методичних аспектів геоінформаційного аналізу сонячного потенціалу;
- узагальнення нормативно-правової складової розвитку альтернативних джерел енергії;
- аналітичний огляд зарубіжного й вітчизняного досвіду при дослідженні геоінформаційного аналізу сонячного потенціалу;
- розробка матеріалів із геоінформаційного забезпечення аналізу сонячного потенціалу.

Об'єктом дослідження виступає потенціал сонячної енергії обраної території дослідження.

Предметом дослідження виступають науково-методичні аспекти з геоінформаційного аналізу потенціалу сонячної енергії.

Методологічні основи та методи дослідження. Проблематика впровадження та стимулювання використання альтернативних джерел енергії частково висвітлена в дослідженнях Кудрі С. О., Даффі У. Ж., Бекмана У. А., Кідрука М. І., Петрука В. Г., Коцюбинської С. С., Мацюка Д. В., Патона Б. Є., Ключа М. І., Коротинського О. Є. та інших.

В процесі дослідження були використані загальнонаукові методи, зокрема: аналізу та порівняння – для огляду наукових досліджень; синтезу – для формування методики здійснення аналізу. Також були використані конкретно наукові методи пізнання, зокрема картографічний та геоінформаційних.

Наукова новизна дослідження:

- розроблено методику геоінформаційного аналізу сонячного потенціалу;
- порівняно рівень сонячного потенціалу для різних природніх зон;

Практичне значення дослідження полягає в тому, що його можна буде використати як рекомендації для аналізу потенціалу сонячної енергії різних територій.

Структура роботи. Магістерська робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи – 67 сторінок. Робота містить 36 рисунків та 2 таблиці.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ АНАЛІЗУ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

1.1. Огляд наукових досліджень в сфері геоінформаційного забезпечення альтернативних джерел енергії

Запорукою сталого розвитку енергетичної сфери України є підвищення частки використання альтернативних джерел енергії. Так в дослідженнях О. Агапової зазначено, що стимулювання розвитку альтернативної енергетики має здійснюватися шляхом:

- запровадження відповідної національної енергетичної політики;
- формування стратегічних цілей на державному, обласному, районному та муніципальному рівнях;
- проведення наукових досліджень ресурсного потенціалу та інших аспектів використання альтернативних джерел енергії;
- поширення інформації про альтернативні енергетичні ресурси в різних джерелах, в тому числі – в Інтернеті;
- популяризацією виробництва енергії з альтернативних джерел як у промислових масштабах, так і для приватних домогосподарств [3].

Мається на увазі, що використання картографічних творів дозволить нам більш ефективно вирішувати ряд науково-пізнавальних, оперативних, комунікативно-інформаційних завдань альтернативної енергетики – від дослідження просторового розподілу ресурсів і об'єктів галузі до підтримки прийняття управлінських рішень в енергетичному секторі та поширення інформації про альтернативні джерела енергії серед населення й інвесторів

В Україні практичні розробки з картографування альтернативні енергетичні ресурси представлені як у працях ряду організацій (Інституту відновлюваної енергетики НАН України, Інституту географії НАН України, Інституту геофізики НАН України), так і в дослідженнях окремих науковців (С.А. Величка, О.С. Третьякова, З.У.

Рамазанової та ін.), проте теоретичні та методологічні питання картографічного забезпечення альтернативної енергетики майже не розглядалися. Зростаючий попит на картографічну інформацію, що розкриває різні аспекти використання альтернативних джерел енергії, викликає необхідність розробки концепції картографічного забезпечення альтернативної енергетики України. При вирішенні цього завдання слід урахувати досягнення вітчизняних учених-картографів щодо розробки концепцій у географічній картографії та окремих напрямках тематичного картографування – Л.Г. Руденка, А.І. Бочковської, Т.І. Козаченко, В.П. Разова [4, 7, 8], В.А. Пересадько [6], Г.О. Пархоменко [7, 8] та ін.

В дослідженнях М.М. Тимкова та Д.В. Касіячука [9] розглянуті внески відновлювальних джерел енергії до загального виробництва електроенергії в світі становить майже 23%, при цьому основна частина – це гідроенергія – 16,6%. З інших відновлювальних джерел енергії найбільша частка у вітроенергії – 3,1%, наступна біомаса – 1,8%. Одними із найбільших виробників електроенергії з відновлювальних джерел енергії є 7 країн: Китай, США, Німеччина, Італія, Іспанія, Японія, Індія (рис. 1.1.1). Сьогодні головним джерелом енергії в Україні служить викопне паливо, спалювання якого руйнує навколишнє середовище і викликає зміну клімату. У зв'язку із дефіцитним станом енергетичної сировини та загальним погіршенням екологічної ситуації виникає потреба у використанні так званих відновлюваних екологічно чистих джерел енергії – вітру, сонця, земних глибин, біогазу, біодизельного палива. Основними проблемами енергетики регіону є:

- надмірна енергомідкість продукції промислових підприємств;
- низька ефективність та зношеність теплоелектроцентралі і котелень в системах теплогенерації;
- критична зношеність мереж систем централізованого тепlopостачання у містах;
- відсутність системного підходу до споживання енергоресурсів в побуті.

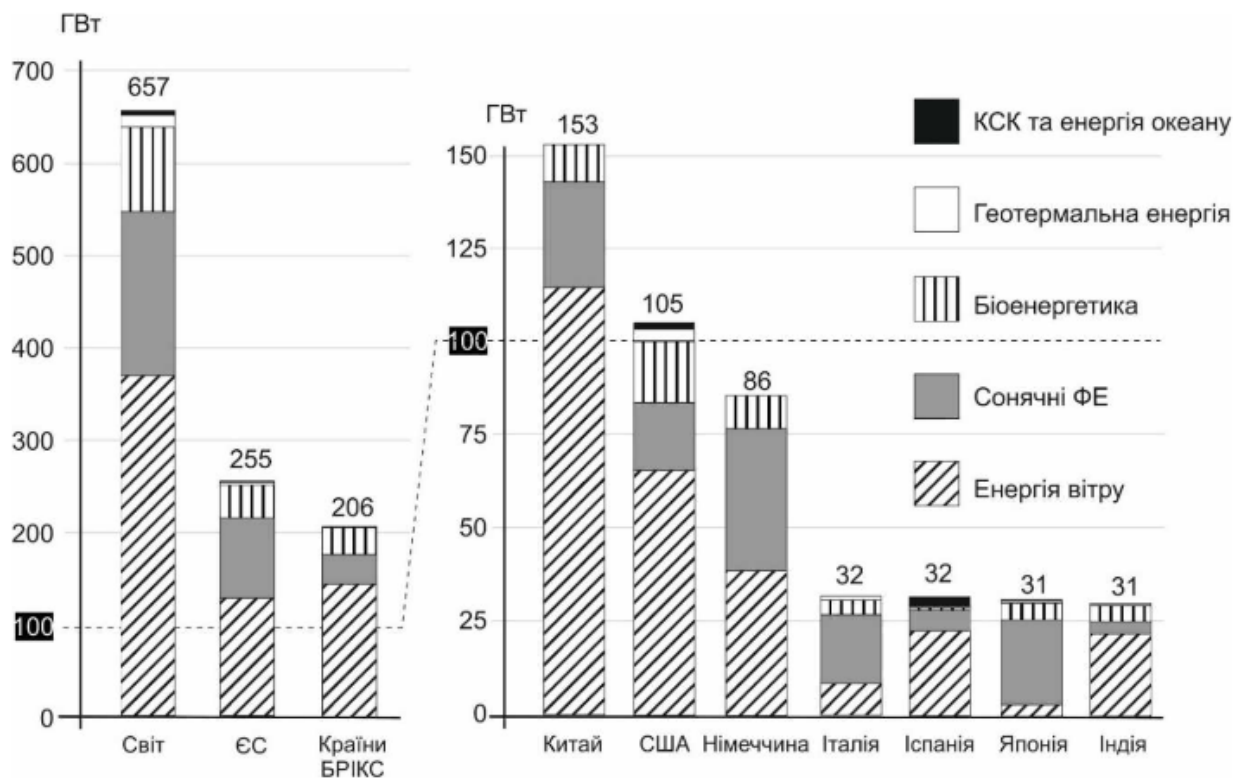


Рис. 1.1.1. Встановлена енергетична потужність відновлювальних джерел енергії у світі без врахування гідроенергії (2014 р.) (*КСК – концентруючі сонячні колектори, ФЕ – фотоелектричні елементи*) [10]

Використання відновлюваних джерел енергії є одним з найважливіших напрямків енергетичної політики України для збереження традиційних енергетичних та енергетичних ресурсів та поліпшення стану навколишнього середовища. Збільшення використання відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі України підвищить рівень диверсифікації джерел енергії, що сприятиме посиленню енергетичної незалежності держави. Застосування ГІС для розробки проектів аналізу потенціалу відновлюваних джерел енергії значно спрощує прийняття рішень у сфері енергетичного менеджменту, а також дозволить покращити розташування установок у найбільш сприятливих районах. Укладання карт умов, факторів, ресурсів, стану та перспектив розвитку АЕ для всіх регіонів України, а також представлення їх у відкритому доступі у вигляді електронних картографічних творів або картографічного Інтернет-сервісу є актуальною задачею державного рівня [3].

1.2. Обґрунтування технологічних та теоретико-методичних основ при аналізі потенціалу сонячної енергії

Більшість сучасних методів для розрахунку кількості сонячної радіації, що надходить до поверхні землі, ґрунтуються на табличних значеннях [1, 11, 12]. Це не дозволяє обрахувати у будь-який момент часу кількість сонячної радіації, що надходить на довільно орієнтовану поверхність. Якщо надавати користувачу можливість довільно виставляти кути нахилу обладнання до горизонту і відхилення від південного напрямку, то для обчислення необхідно використовувати інший підхід – динамічно розраховувати кількість сонячної радіації, яка надходить на довільно орієнтовану поверхню геліоенергетичного обладнання. Для цього використовується методика, що базується на понятті сонячної константи – кількість сонячного тепла, що надходить на землю. Ця величина (сонячна константа) дорівнює 1362 Вт/м² [13].

Оскільки сумарна сонячна радіація складається з прямої і розсіяної радіації, спочатку необхідно обчислити величину кожної з них за відповідними формулами, а потім просумувати ці величини. Формула для розрахунку прямої сонячної радіації має такий вигляд [14]:

$$S_d = S_{max} K_{at} \cos \theta,$$

де:

- S_d – кількість прямої сонячної радіації;
- S_{max} – сонячна константа, що дорівнює 1362 Вт/м²;
- K_{at} – коефіцієнт поправки на повітряну масу, яку необхідно пройти сонячній радіації;
- θ – кут між сонячними променями і поверхнею обладнання.

Кут, під яким пряма сонячна радіація надходить на поверхню геліотехнічного обладнання, обраховується за формулою:

$$\cos \theta = \sin h \cos \alpha + \sin \alpha (\cos \gamma \tan L \sin h + \sin \gamma \cos \delta \sin T),$$

де:

- h – кут, який визначає висоту Сонця над горизонтом в конкретний момент часу;
- α – кут нахилу поверхні до горизонту;
- γ – відхилення поверхні від південного напрямку;
- L – географічна широта місцевості;
- δ – схилення Сонця;
- T – часовий кут.

Для розрахунку часового кута використовується формула:

$$T = \frac{\pi}{12} (12 - t_s),$$

де:

- t_s – сонячний час для місцевості. Сонячний час залежить від довготи і реального часу.

Схилення сонця обчислюється за наступною формулою:

$$\delta = 23,45 \sin \frac{2\pi}{365} (284 + N),$$

де:

- N – порядковий номер дня року.

Висота Сонця над горизонтом в конкретний момент часу знаходиться за формулою:

$$\sin h = \cos T \cos \delta \cos L + \sin \theta \sin L.$$

Коефіцієнт поправки на повітряну масу, яку необхідно пройти сонячним променям, визначається

$$K_{at} = 1,1254 - \frac{0,1366}{\sin h}$$

Для розрахунку кількості розсіяної сонячної радіації використовується така формула:

$$S_s = 137,1 - \frac{14,82}{\sin h}$$

Просумувавши пряму S_d та розсіяну S_s сонячні радіації, отримаємо загальну кількість сонячної енергії, що надходить на поверхню землі, розміщену в заданих географічних координатах з кутом до горизонту α і при відхиленні від південного напрямку γ .

Отже, величина сумарної сонячної радіації, що надходить до поверхні, залежить також від кута нахилу цієї ж поверхні та від її відхилення від напрямку на південь.

Застосування геоінформаційного моделювання дозволяє не тільки інтегрувати і в зручній формі візуалізувати результати проведення обчислювальних робіт з оцінки ресурсного потенціалу ВДЕ, а також ефективно розв'язувати задачі просторової оптимізації галузі.

ГІМ – інтегративна теорія, яка на новій методологічній основі об'єднує вже відомі методи проектування, укладання, використання та аналізу геоінформаційних моделей для дослідження об'єктів реального світу за допомогою системи упорядкування і трансформації інформації про ці об'єкти [15]. ГІМ можна означити як моделювання просторових об'єктів, взаємопов'язаних з атрибутивними даними за допомогою математичних методів і програмних засобів ГІС. На відміну від теоретичних методів моделювання, ГІМ є високотехнологічним процесом і виступає інструментом, який забезпечує збір, збереження, обробку, доступ, відображення та розповсюдження просторово-координатних даних.

ГІМ є засобом інтелектуальної обробки та відображення просторової інформації для одержання нових знань. Комп'ютерне електронно-графічне моделювання, застосування графічних, графо-математичних та електронно-графічних моделей і ГІТ – основа ГІМ. Теоретичну основу ГІМ становить уявлення про картографо-кібернетичну систему, що функціонує завдяки картографічним даним і алгоритмам, які описують усі процеси створення й використання карт із залученням цифрової та графічної інформації. ГІМ полягає в умінні конструювати геоінформаційні моделі та аналізувати їх для вивчення об'єктів реального світу. Його можна розглядати як сучасну ГІТ, яка, на відміну від теоретичних методів моделювання, є технологічним процесом, оскільки взаємодіє з об'єктами бази даних ГІС.

У процесі ГІМ утворюється новий тематичний шар електронної карти, що якісно відрізняється від того, що дослідник бачив раніше. До процедур ГІМ відноситься й тематична обробка даних ДЗЗ, так як в результаті тематичної класифікації утворюється новий шар – класифіковане зображення. Це найпростіший приклад ГІМ. Класифіковане растрове зображення без накладання на нього хоча б якихось векторних шарів не є ГІМ, це просто перефарбована в умовні кольори картина земної поверхні. А ось коли на підставі класифікації створюється тематична карта – це вже ГІМ.

Виділяють декілька видів ГІМ, яке реалізується як у векторних, так і в растрових ГІС, а саме [16]:

- 1) геогруповання – побудова просторово-часової динамічної моделі шляхом об'єднання сукупностей геооб'єктів у більш великі. Тут використовуються аналітичні залежності і фізичні моделі. Апарат достатньо добре формалізований, тому більша частина процесів може бути автоматизована;
- 2) буферизація – процедура побудови буферних зон для різних типів об'єктів. Апарат – побудова обвідної на заданій відстані від межі об'єктів, а потім об'єднання і видалення перекриттів. Ця процедура також є формальною, тому може виконуватись автоматично;

- 3) генералізація – узагальнення графічних об'єктів і зміна їх відображення при зміні масштабу. Методологічний апарат дуже розмаїтий. Повна формалізація практично неможлива: занадто багато чинників, які потрібно враховувати;
- 4) комбінування – композиція і декомпозиція геооб'єктів на основі відношень між ними. Якщо геогрупування використовується головним чином при роботі з растровими моделями, то комбінування – це методологія для векторних ГІС;
- 5) геокодування – процедура позиціонування табличних даних. У загальному випадку задача є відносно простою і відноситься до теорії реляційних баз даних;
- 6) узагальнення даних – процедура створення атрибутів нових об'єктів на основі відношень між вихідними. Процедура узагальнення часто включає топологічний аналіз графічних об'єктів, однак загалом вона достатньо добре формалізується. Може бути інтерактивною, проте може бути й суто аналітичною;
- 7) побудова тематичних карт на основі аналізу та обробки атрибутивних даних. Ця методологія лежить в основі створення легенд. Класифікація здійснюється за одним атрибутом. Якщо потрібна класифікація об'єктів за декількома атрибутами, то використовується кореляційний і факторний аналіз;
- 8) ректифікація даних. Коли при цьому також ставиться і розв'язується завдання максимально можливого усунення спотворень, зумовлених рельєфом місцевості, то таке ректифікування називають орторектифікуванням;
- 9) проведення автоматичної класифікації ознак геооб'єктів за заданими критеріями.

1.3. Нормативно-правове забезпечення стимулювання розвитку альтернативної енергетики в Україні

Останнім часом в Україні спостерігаються певні зрушення щодо збільшення частки відновлюваних джерел енергії, насамперед енергії сонця, вітру і води, у загальному обсязі енергії, яка надходить на енергоринок. Наприклад, в Автономній Республіці Крим працюють термальні котельні, а також упроваджено перший в Україні

тепловий насос, що використовує тепло Землі як джерело енергії; у Вінницькій області відновлено функціонування малих ГЕС; у Новоазовському районі Донецької області введено в експлуатацію вітропарк «Новоазовський».

Водночас треба відзначити одинчність проектів у сфері альтернативної енергетики, що зумовлено високою вартістю їх реалізації й істотними витратами на забезпечення технологічних процесів. На сучасному етапі, враховуючи досягнутий рівень технологій, виробництво «зеленої» енергії не є рентабельним без спеціального стимулювання. Одним із найефективніших способів стимулювання розвитку альтернативної енергетики є цільове фінансування наукових розробок у цій сфері, а також їх упровадження, яке може здійснюватися як державою, так і суб'єктами господарювання. За формами надання таке фінансування може бути прямим (розміщення державних замовлень на НДДКР, інвестування тощо) та опосередкованим (встановлення податкових пільг для розробників відповідних проектів або суб'єктів господарювання, що їх упроваджують, надання кредитів на пільгових умовах або державних гарантій за звичайними кредитами, встановлення порядку ціноутворення на «зелену» енергію, який би стимулював її розвиток, тощо). Чинним законодавством передбачено використання комплексної моделі державного фінансування, яка поєднує пряму й опосередковану форми. Проте відсутність системного взаємозв'язку між положеннями відповідних нормативно-правових актів знижує ефективність реалізації цього механізму державного фінансування. Так, згідно зі ст. 8 Закону України «Про альтернативні джерела енергії» [16] та ст. 14 Закону України «Про енергозбереження» [17], фінансування заходів у сфері альтернативних джерел енергії, в тому числі НДДКР, здійснюється за рахунок:

- а) коштів, передбачених в оптових тарифах на електроенергію і тарифах на теплову енергію, шляхом упровадження спеціальної цільової надбавки до тарифу;
- б) підприємств, установ, організацій;
- в) державного та місцевого бюджетів;
- г) добровільних внесків та інших коштів, не заборонених законодавством.

Ці кошти мають акумулюватися у фонді цільового фінансування, порядок формування якого встановлює Кабінет Міністрів України. Суттєвою перепорою на

шляху формування політики державного цільового фінансування є невизначеність щодо правового становища фонду. Так, Постановою Кабінету Міністрів України від 07.02.1996 р. № 163 «Про загальнодержавний позабюджетний фонд енергозбереження» [18] було затверджено Положення про фонд, передбачено відкриття спеціального поточного рахунку Державного комітету з енергозбереження України для акумулювання відповідних коштів. У 2001 р. цей нормативно-правовий акт втратив чинність, унаслідок чого ці кошти, що раніше мали чітке цільове призначення, певний час надходили на загальний рахунок Комітету. 20 квітня 2005 р. у зв'язку з удосконаленням системи органів виконавчої влади, які беруть участь у формуванні та реалізації державної політики у сфері енергозаощадження, Державний комітет з енергозбереження України було ліквідовано, а його функції передано Міністерству палива та енергетики України. Дещо пізніше (06.05.2005 р.) положення відповідного Указу Президента України в частині покладення на зазначене Міністерство функцій Державного комітету з енергозбереження втратили чинність.

Невідкладним кроком у напрямку покращення енергетичної ситуації України, зменшення її енергозалежності, а також подальшої інтеграції в Європейську співдружність, повинна стати усебічна підтримка держави розвитку та впровадження альтернативних енергетичних установок у регіонах з найвищими показниками економічної доцільності. Цього можливо досягнути шляхом виконання наступних дій:

- удосконалення низки існуючих законодавчих актів щодо відновлювальних джерел енергії, які б сприяли підвищенню економічної ефективності виробництва альтернативної енергії;
- розробка інвестиційних проектів з метою залучення додаткових вкладень в дану галузь;
- надання гарантій державою виробникам «чистої» енергії щодо її купівлі за фіксованими тарифами;
- забезпечення рівня енергетичної безпеки України завдяки модернізації мережі існуючих енергетичних установок, підвищення рівня їх надійності та безперебійності роботи;

- інформування населення України щодо перспективності використання нетрадиційних джерел енергії, необхідності збереження довкілля та зменшення викидів парникових газів в атмосферу від спалювання традиційних видів палива.

Висновки до 1 розділу

Використання ВДЕ на сучасному етапі економічного розвитку України є недостатнім і не відповідає загальноєвропейському рівню. Проте поступово держава робить кроки у законодавчій та нормативно-правовій базі, що зробило поштовх для подальшого розвитку відновлюваної енергетики в Україні.

Основним завданням геоінформаційного моделювання для потреб ВДЕ є забезпечення просторово-координованої інформації про ресурсний потенціал, умови та фактори, стан і перспективи розвитку даної галузі, що реалізується шляхом розробки картографічних творів різного роду, різного територіального охоплення та функціонального призначення.

Проблема з розвитку ВДЕ регіону та включення відповідних ресурсів є доволі складною за кількістю етапів та завдань, які потрібні для ефективного впровадження. Відтак, навіть існування досить великої кількості методів не вичерпує актуальність та перспективи для даної задачі. Досягнення ефективного використання ВДЕ повинно передбачати, як аналіз всіх альтернатив використання доступних ресурсів, так і врахування прямої та опосередкованої вигоди, для досягнення максимального рівня енергетичного самозабезпечення в регіоні.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ І ТЕХНОЛОГІЇ ГЕОІНФОРМАЦІОННОГО АНАЛІЗУ СОНЯЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ

2.1. Методологічні принципи та засади застосування геоінформаційних систем при аналізі сонячного потенціалу

Пряме сонячне випромінювання (інсоляція), отримане від сонця – це первинне джерело енергії, яке запускає багато фізичних та біологічних процесів на Землі. Розуміння його значення для масштабів території є ключем для розуміння широкого діапазону природних процесів і діяльності людини.

З масштабом території, топографією є основним чинником, що визначає просторову мінливість інсоляції. Зміна висот, орієнтація (крутизна ухилу і експозиція) і тіні топографічних об'єктів впливають на кількість інсоляції, отриманої в різних місцях. Ця мінливість також змінюється з плином часу доби і пори року, і в свою чергу, вносить свій внесок у мінливість клімату, включаючи такі фактори, як повітря і режими температури ґрунту, випаровування, моделі танення снігу, вологість ґрунту і світло для фотосинтезу.

З огляду на сукупність цих всіх факторів, ми рекомендуємо використовувати ПЗ ArcGIS Desktop, зокрема інструменти аналізу сонячного випромінювання в додатковому модулі ArcGIS Spatial Analyst, які дозволяють картографувати і аналізувати наслідки сонячного випромінювання над географічною областю для конкретних періодів часу. Це враховує атмосферний вплив, широту і висоту, крутизну і експозицію, добові та сезонні зрушення кута до сонця і ефекти тіней навколишньої топографії. Отримані вихідні дані легко можна інтегрувати з іншими ГІС даними, вони можуть допомогти в моделюванні фізичних і біологічних процесів, так як на них впливає сонце [19].

Пряме сонячне випромінювання отримане від джерела освітлення змінюється в міру переміщення через атмосферу, далі змінюється залежно від топографії та об'єктів на поверхні і перехоплюється на поверхні Землі як прямі, розсіяні і відбиті промені (рис. 2.1.1). Пряме випромінювання Пряме випромінювання безперешкодно

перехоплюється по прямій лінії від джерела світла. Розсіяне випромінювання розсіюється в складових атмосфери, наприклад, в хмарах. Відбите випромінювання відбивається від об'єктів поверхні. Сума прямого, розсіяного і відбитого випромінювання називається загальним або глобальним сонячним випромінюванням.

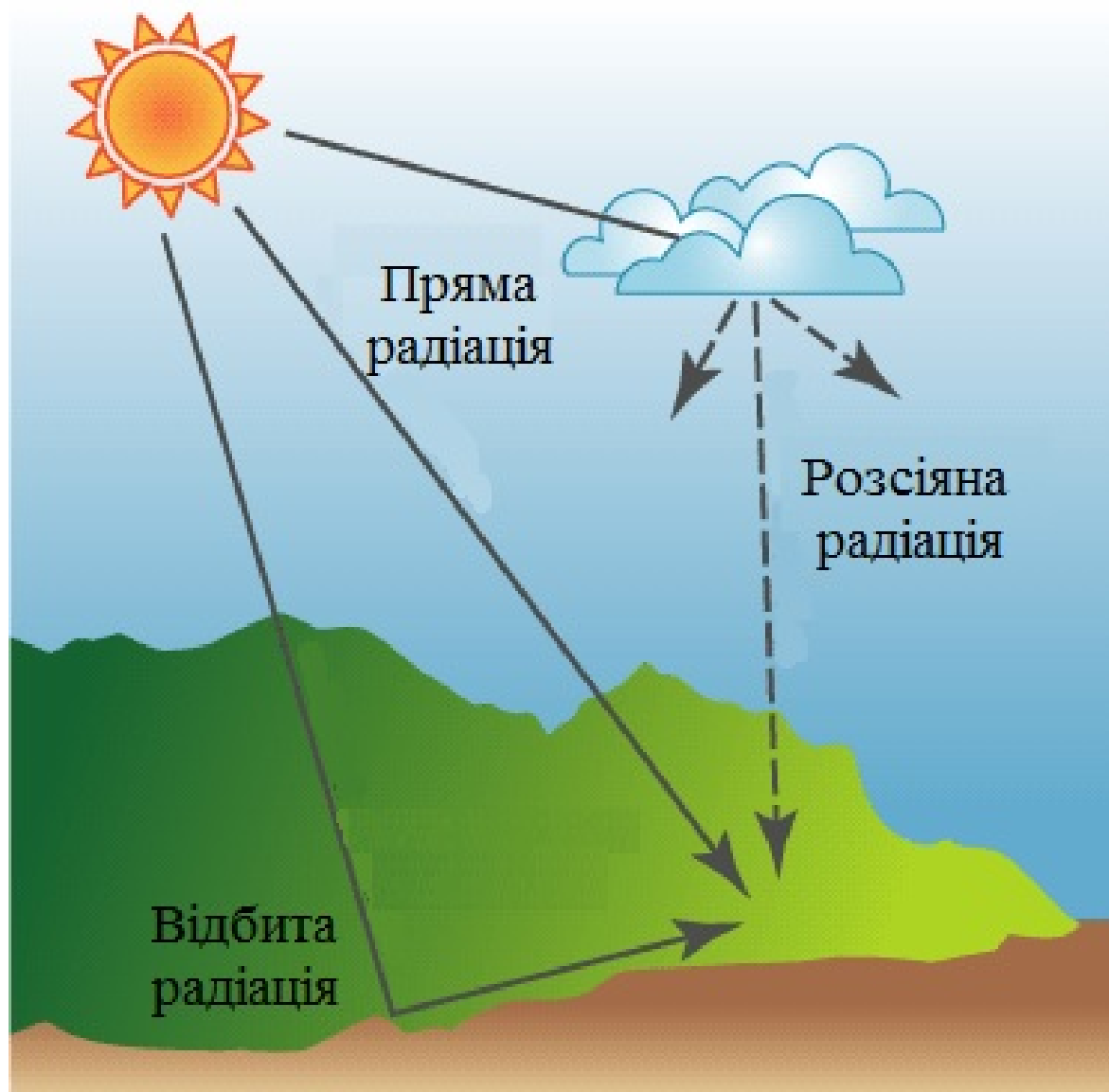


Рис. 2.1.1. Пряме сонячне випромінювання у вигляді прямих, розсіяних і відбитих променів [20]

Як правило, пряме промені є найбільшою складовою загального випромінювання, а розсіяні промені є другою за величиною складовою. Відбите промені в цілому складають лише невелику частку від загального числа випромінювання, за виключенням територій, що оточені поверхністю, яка сильно відбиває промені, наприклад, сніговим покривом. Інструменти сонячного випромінювання в додатковому модулі Spatial Analyst не враховують відбиті промені для обчислення загального ви-

промінювання. Таким чином, сумарне випромінювання розраховується як сума прямого і розсіяного випромінювання.

Інструменти сонячного випромінення виконують обчислення точкових об'єктів або для певної території. Воно включає в себе 4 етапи:

- 1) обчислення направленої вверх напівсферичної області видимості на основі топографії;
- 2) накладення області видимості на карту прямого сонячного освітлення для оцінки прямого випромінення;
- 3) накладення області видимості на карту розсіяного сонячного випромінення для оцінки розсіяного випромінення;
- 4) повторення процесу для кожного місця розташування для створення карти випромінення.

Так як на випромінення може сильно впливати топографія і об'єкти поверхності, для ключової складової алгоритму обчислення потрібне створення направленої вверх напівсферичної області видимості для кожного місця розташування ЦМР. Напівсферичні області видимості схожі на направлені вверх напівсферичні знімки («риб'яче око») які показують все небо повністю. На рис.2.1.2 зображено направлена вверх напівсферична фотографія, яка забезпечує огляд на видимий повітряний простір і напрямків повітряного простору, яким перешкоджає навколишня топографія та об'єкти на поверхні. Це схоже з видом з землі вверх у всіх напрямках.



Рис.2.1.2. Напівсферична фотографія «риб'яче око» [20]

Область видимості – це растрове представлення всього неба, видимого або обмеженого при спостереженні в певному місці розташування. Область видимості обчислюється шляхом пошуку в заданих напрямках навколо досліджуваного розташування і визначення максимального кута повітряного простору з перешкодами або горизонтального кута. Для всіх інших напрямків, які не беруть участі в пошуку, горизонтальні кути інтерполуються. Горизонтальні кути потім конвертуються в напівсферичну систему координат, таким чином представляючи тривимірну півсферу напрямків в якості двовимірного растрового зображення. Кожній клітині растру області видимості присвоюється значення, яке відповідає тому, чи видно напрямок, чи зустрічається якась перешкода. Вихідні клітини (рядок і стовпець) відповідають куту зеніту Θ (кут від напрямку вверх) і куту азимута α (кут відносно півночі) на півсфері напрямків. На рис.2.1.3 показано обчислення видимості для однієї клітинки

ЦМР. Горизонтальні кути обчислюються вздовж заданої кількості напрямів і використовуються для створення напівсферичного представлення неба. Результируюча область видимості показує чи видно напрямки повітряного простору (білий колір) або ж чи зустрічають вони перешкоди (сірий колір). Область видимості показана накладеною на напівсферичну фотографію для демонстрації теорії.

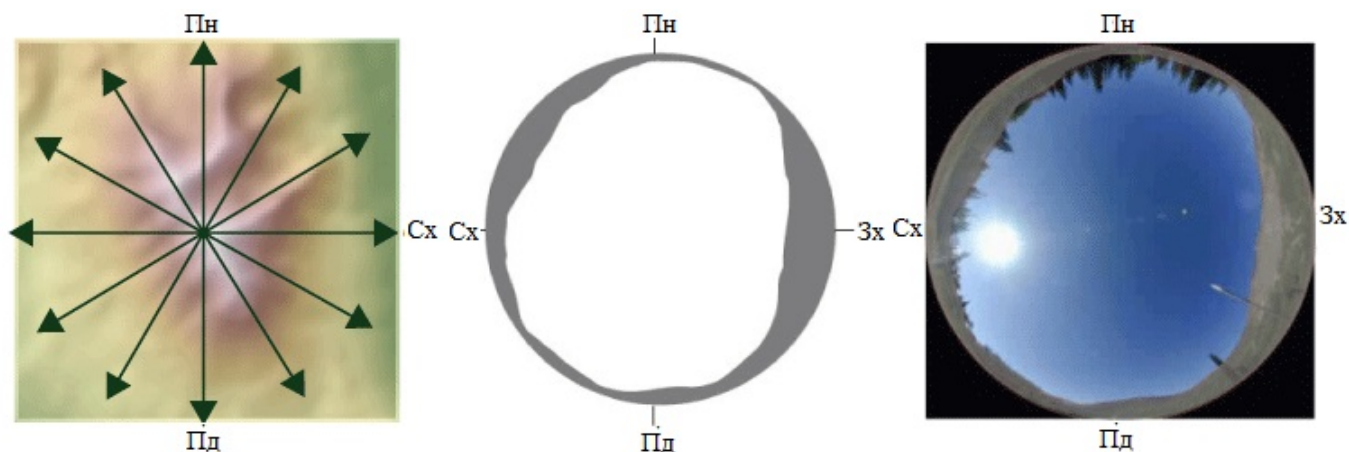


Рис.2.1.3. Ілюстрація горизонтальних кутів, результируючої області видимості та видимості, що показує вигляд небесного зводу [20]

Самі ці області видимості використовуються у відповідності з інформацією про місце розташування джерела освітлення і напрямків повітряного простору (представлені картами сонячного освітлення і неба, відповідно) для обчислення прямого, розсіяного і загального випромінення в кожному місці розташування і для створення точної карти інсоляції.

Пряме сонячне випромінення, яке отримується з кожного напрямку простору, обчислюється з використанням карти сонячного освітлення в тій же напівсферичній проекції, що і область видимості. Карта сонячного освітлення – це растрове представлення, яке відображає трек сонця чи видиме положення сонця при його зміні з часом доби і з плином днів. Карта сонячного освітлення складається з дискретних секторів сонячного освітлення, які визначаються положенням джерела освітлення в певні інтервали впродовж дня (години) і пори року. Трек сонця обчислюється на основі широти області дослідження і конфігурації часу, які визначають сектори карти сонячного освітлення. Для кожного сектору карти сонячного освітлення задається значення, поряд з зенітом центроїда і кутом азимута. Сонячне випромінювання, отримане з кожного сектору, обчислюється окремо і область видимості накладається

на карту сонячного освітлення для прямого випромінювання.

На рис.2.1.4. зображена карта сонячного освітлення для 45° північної широти, що бере відлік від зимнього сонцестояння до літнього сонцестояння. Кожен сектор джерела освітлення представляє положення самого джерела за допомогою півгодинних інтервалів впродовж дня, а також місячних інтервалів впродовж року. Варто зазначити, що зображення знаходиться в тій же напівсферичній проекції, що й область видимості, яка направлена вгору. Положення джерела освітлення представлено по мірі його переміщення в просторі впродовж дня чи пори року.

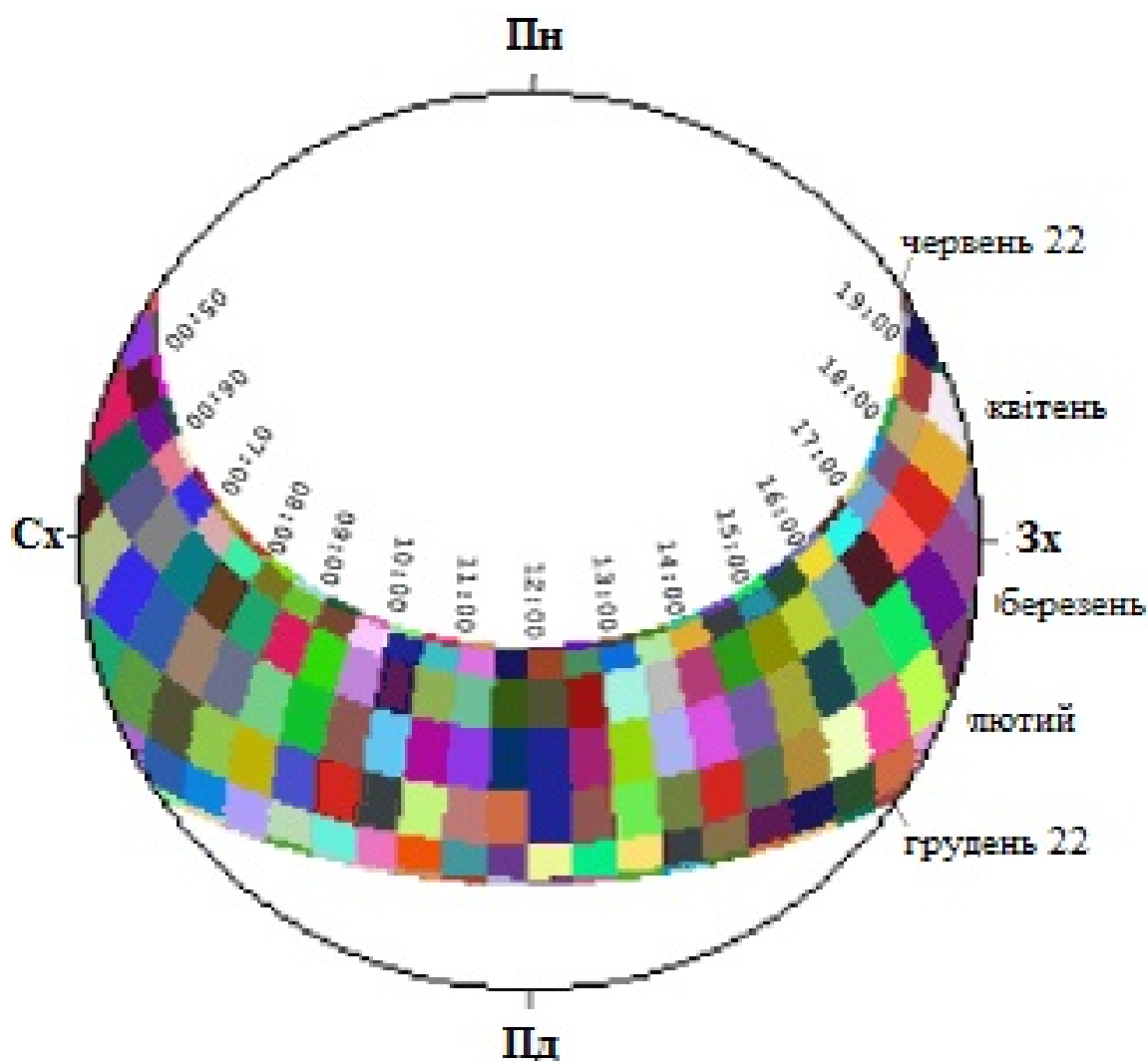


Рис. 2.1.4. Приклад карти сонячного освітлення [20]

Розсіяне випромінювання отримується із всіх напрямків простору як результат розсіювання по складових атмосфери. Щоб обчислити розсіяне випромінювання для певного місця розташування, створюється карта неба для представлення напівсферичного вигляду всього повітряного простору, розділеного на ряд секторів неба, які

визначенні кутами зеніту та азимуту. Кожному сектору присвоюється значення унікального ідентифікатора, а також значення кутів зеніту, центроїда та азимута. Розсіяне випромінювання обчислюється для кожного сектору повітряного простору на основі напрямків (зеніту та азимуту).

На рис.2.1.5. зображена карта неба зі секторами неба, визначені по 8 секторам зеніту і 16 секторам азимуту. Кожен колір представляє унікальний сектор або частину неба з якої відбувається розсіяне випромінювання.

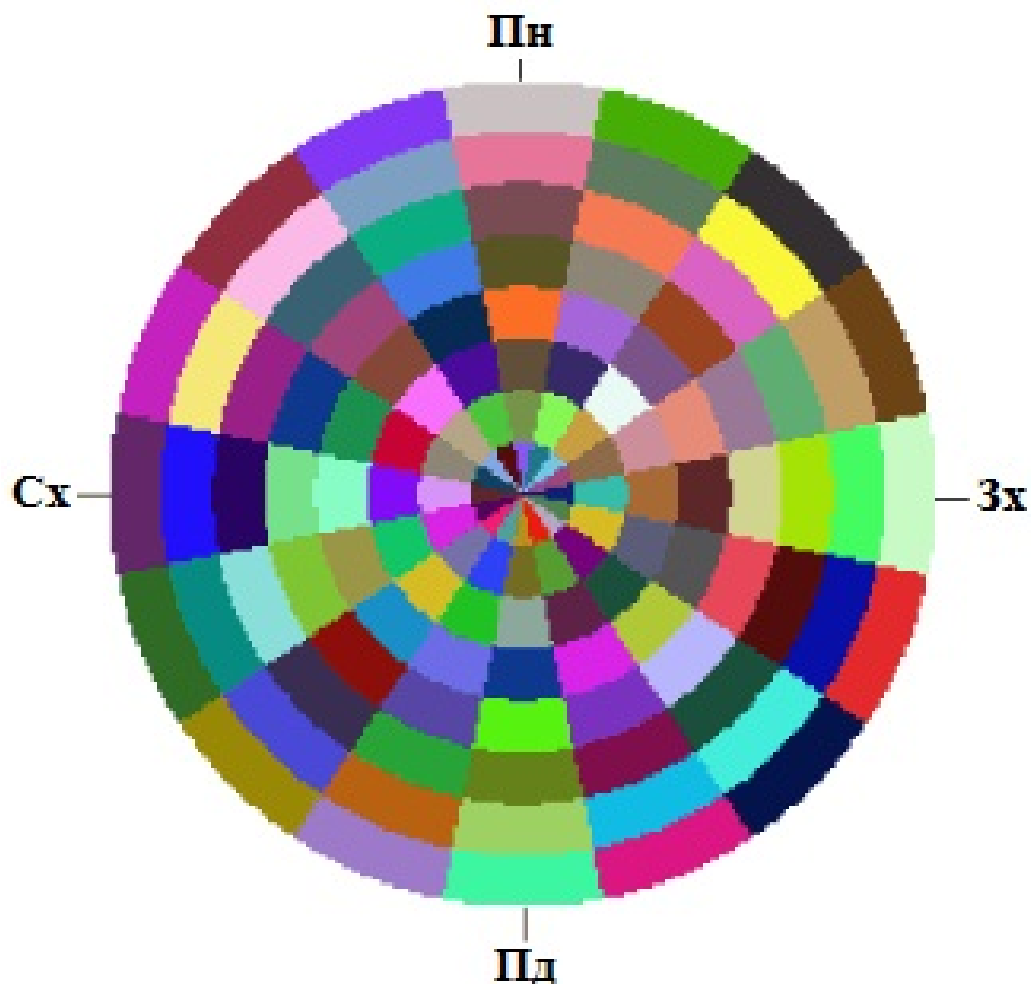


Рис. 2.1.5. Приклад карти неба [20]

В процесі обчислення інсоляції, растр області видимості накладається на растри карт сонячного освітлення і неба для обчислення розсіяного чи прямого випромінювання, отриманого з кожного напрямку повітряного простору. Частка видимої області неба в кожному секторі обчислюється шляхом ділення кількості клітинок, які не зустрічають перешкоди, на загальну кількість клітинок кожного сектору. Приймається допуск для частково обмежених секторів неба.

На рис. 2.1.6. та 2.1.7. показано накладання області видимості на картах сонячного освітлення і неба. Сірий колір представляє напрям повітряного простору з перешкодами. Загальне сонячне випромінювання обчислюється шляхом підсумовування прямого і розсіяного випромінювань, отриманих із напрямів повітряного простору з перешкодами.

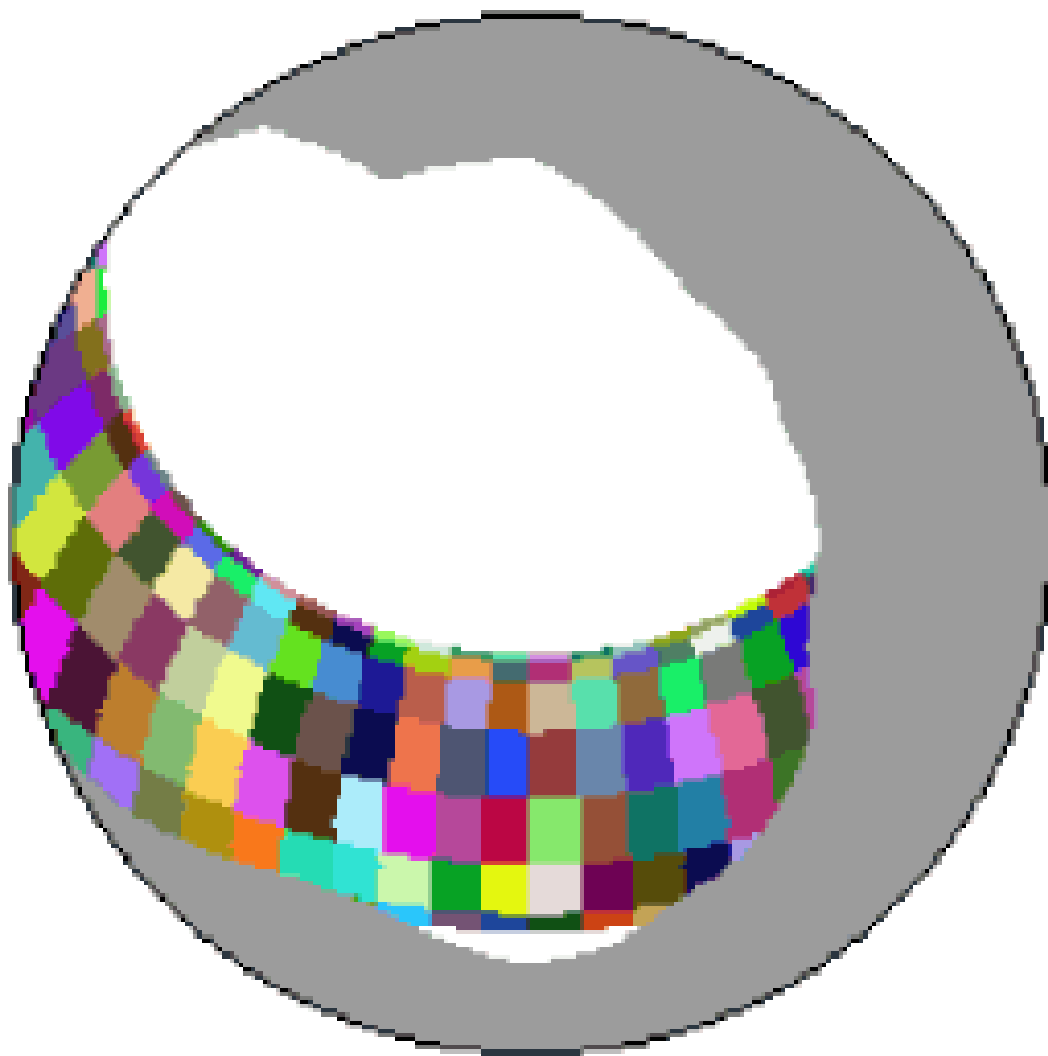


Рис. 2.1.6. Приклад накладення області видимості з сонячним освітленням [20]

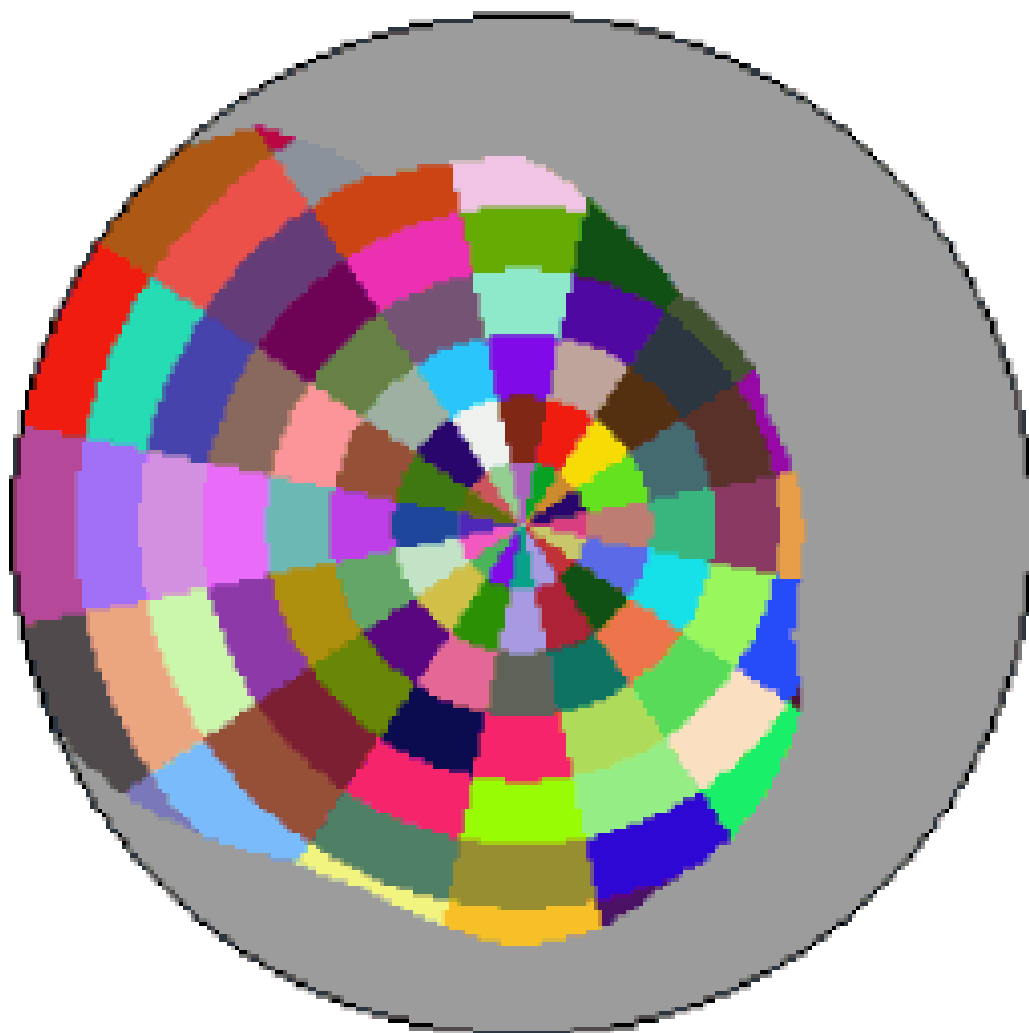


Рис. 2.1.7. Приклад накладення області видимості з небом [20]

2.2. Технологічна специфіка та вихідні дані при геоінформаційному аналізі сонячної енергії

Інструменти аналізу сонячного випромінювання обчислюють інсоляцію по ландшафту або для визначених місць розташування, засновані на методах з алгоритму напівсферичної видимості, що були розроблені професорами Пінде Фу та Полом М. Річем [21-25].

Загальна кількість випромінювання, що обчислюється для конкретного місця розташування чи області, визнається як глобальне випромінювання. Обчислення прямого, розсіяного і глобального випромінювання повторюється для кожного місця

розташування об'єкта, а також для інших місць розташувань на вхідній топографічній поверхності, що приводить до побудови карт інсоляції для всієї географічної області.

Глобальне випромінювання ($Global_{tot}$) обчислюється як сума прямого (Dir_{tot}) і розсіяне (Dif_{tot}) випромінювання всіх секторів сонячного випромінювання і повітряного простору.

$$Global_{tot} = Dir_{tot} + Dif_{tot}$$

Загальне пряме випромінювання (Dir_{tot}) для даного місця розташування як сума прямої інсоляції ($Dir_{\theta,\alpha}$) з усіх секторів сонячного випромінювання:

$$Dir_{tot} = \sum Dir_{\theta,\alpha} \quad (1)$$

Пряма інсоляція зі сектору сонячного освітлення ($Dir_{\theta,\alpha}$), де центроїд з кутом зеніту (θ) і кутом азимуту (α) обчислюється за допомогою наступного рівняння:

$$Dir_{\theta,\alpha} = S_{const} \times \beta^{m(\theta)} \times SunDur_{\theta,\alpha} \times SunGap_{\theta,\alpha} \times \cos(AngIn_{\theta,\alpha}) \quad (2)$$

де:

- S_{const} – сонячний потік за межами атмосфери на середній відстані від Землі до Сонця, відомий як сонячна константа. Сонячна константа, використовується при аналізі, - 1367 Вт/м²;
- β – прозорість атмосфери для найкоротшого шляху (в напрямку зеніту);
- $m(\theta)$ – відносна довжина оптичного шляху, що визначається як частка по відношенню до довжини шляху зеніту (див. рівняння 3);
- $SunDur_{\theta,\alpha}$ – тривалість часу, що представляє сектор повітряного простору. Для більшості секторів, тривалість дорівнює денному інтервалу

(наприклад, місяць), помноженому на часовий інтервал (наприклад, півгодини). Для часткових секторів (близьких до горизонту) тривалість обчислюється за допомогою сферичної геометрії;

- SunGap $_{\theta,\alpha}$ – (частка видимого повітряного простору) для сектору сонячного освітлення;
- AngIn $_{\theta,\alpha}$ – кут падіння між центроїдом сектору повітряного простору і віссю, яка перпендикулярна до поверхності (див. рівняння 4).

Відносна оптична довжина – $m(\theta)$ – визначається пор зеніту сонця і висотою над рівнем моря. Для кутів зеніту менше 80° , її можна обчислити за допомогою наступного рівняння:

$$m(\theta) = \text{EXP}(-0.000118 \times \text{Elev} - 1.638 \times 10^{-9} \times \text{Elev}^2) \div \cos(\theta) \quad (3)$$

де:

- θ – кут зеніту сонця;
- Elev – висота над рівнем моря в метрах.

Вплив орієнтації поверхності враховується шляхом множення на косинус кута падіння. Кут падіння (AngIn $_{\theta,\alpha}$) між пересіченою поверхнею і даним сектором повітряного простору, де центроїд з кутом зеніту та азимуту обчислюється за допомогою наступного рівняння:

$$\text{AngIn}_{\theta,\alpha} = \arccos(\cos\theta \times \cos G_z + \sin\theta \times \sin G_z \times \cos(\alpha - G_a)) \quad (4)$$

де:

- G_z – кут зеніту поверхні;
- G_a – кут азимуту поверхні.

Для кожного сектору повітряного простору обчислюється розсіяне випромінювання в його центроїда (Dif), інтегроване в часовому інтервалі і виправлене за допомогою частки видимого повітряного простору і куту падіння за допомогою наступного рівня:

$$Dif_{\theta,\alpha} = R_{glb} \times P_{dif} \times Dur \times SkyGap_{\theta,\alpha} \times Weight_{\theta,\alpha} \times \cos(AngIn_{\theta,\alpha}) \quad (5)$$

де:

- R_{glb} – глобальне нормальне випромінювання;
- P_{dif} – частка сукупності потоку випромінювання, яка розсіюється. Типові значення – це 0,2 для дуже ясного неба і 0,7 для дуже хмарного неба;
- Dur – часовий інтервал для аналізу;
- $SkyGap_{\theta,\alpha}$ – (частка видимого повітряного простору) для сектору повітряного простору;
- $Weight_{\theta,\alpha}$ - частка розсіяного випромінювання, що визходить з даного сектора повітряного простору відносно всіх секторів (див. формули 7 і 8);
- $AngIn_{\theta,\alpha}$ – кут падіння між центроїдом сектору повітряного простору і пересіченою поверхнею.

Глобальне нормальне випромінювання (R_{glb}) можна обчислити, сумуючи пряме випромінювання з кожного сектору без врахування кута падіння, а потім враховуючи частку прямого випромінювання, яке дорівнює $1 - P_{dif}$:

$$R_{glb} = (S_{const} \Sigma(\beta^{m(\theta)})) \div (1 - P_{dif}) \quad (6)$$

Для універсальної моделі розсіяного повітряного простору, частка розсіяного випромінювання ($Weight_{\theta,\alpha}$) обчислюється так:

$$Weight_{\theta,\alpha} = (\cos\theta_2 - \cos\theta_1) \div Div_{azi} \quad (7)$$

де:

- θ_1 і θ_2 – обмежуючі кути зеніту сектору повітряного простору;
- Div_{azi} - число азимутальних поділів у повітряному просторі.

Для стандартної моделі посмурного неба, частка розсіяного випромінювання ($Weight_{\theta,\alpha}$) обчислюється так:

$$\text{Weight}_{\theta,\alpha} = (2\cos\theta_2 + \cos2\theta_2 - 2\cos\theta_1 - \cos2\theta_1) \div 4 \times \text{Div}_{azi} \quad (8)$$

Загальне розсіяне сонячне випромінення (Dif_{tot}) для певного місця розташування обчислюється як сума розсіяного сонячного випромінення (Dif) з усіх секторів повітряного простору:

$$\text{Dif}_{\text{tot}} = \Sigma \text{Dif}_{\theta,\alpha} \quad (9)$$

Для дослідження було використані знімки SRTM, що були отримані в результаті радарної топографічної зйомки великої частини території земного шару. Для обраних територій були необхідні 3 знімки ЦМР (рис. 2.2.1).

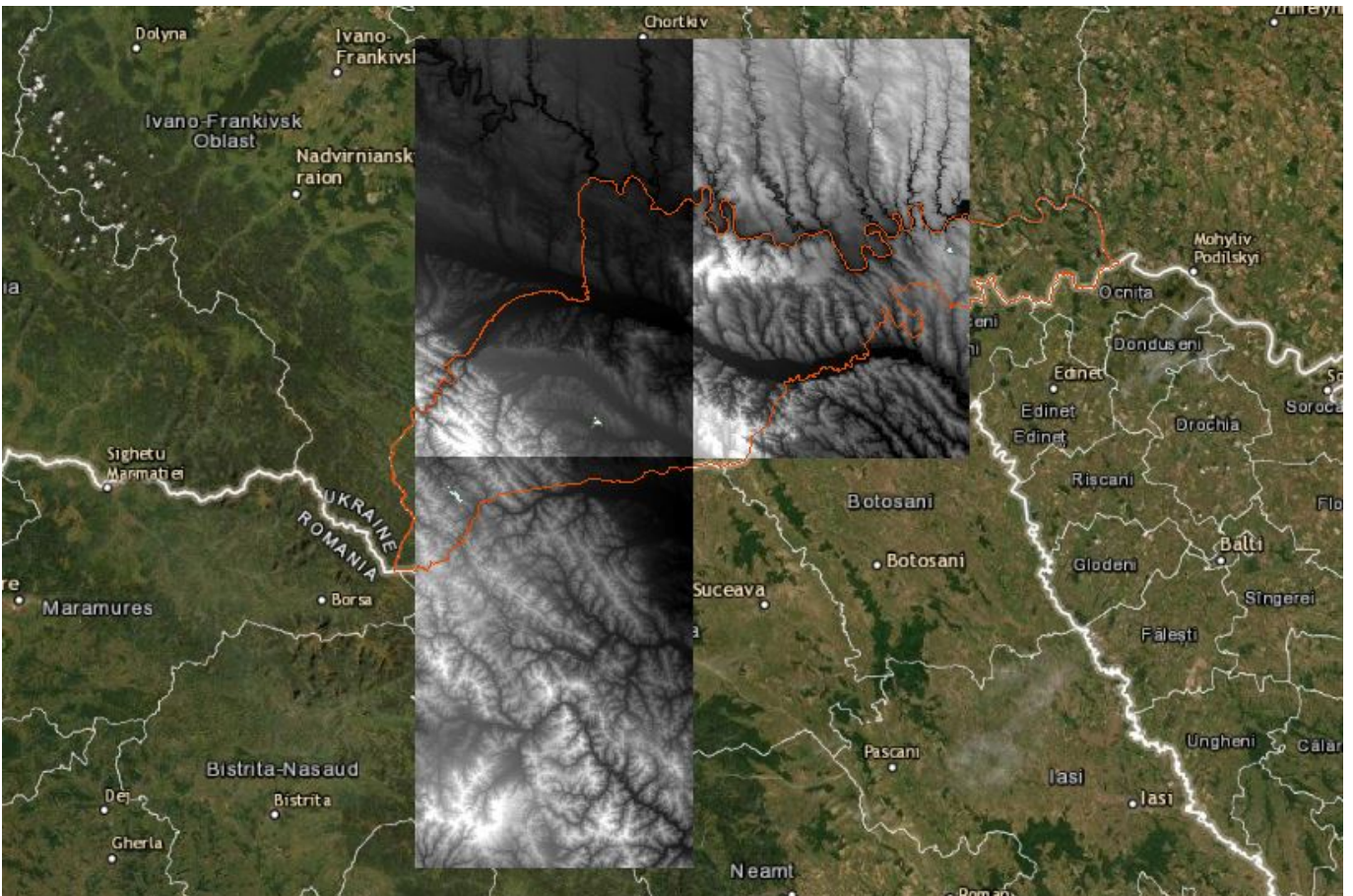


Рис. 2.2.1. Покриття знімками SRTM територій дослідження

Дані висот SRTM призначені для наукового використання з ГІС або іншим спеціальним ПЗ. Знімки SRTM надаються в географічній проекції. Горизонтальна

система координат – WGS84, вертикальна система координат – EGM96. Одиниця вимірювання – метри, просторова роздільна здатність ~30 метрів.

2.3. Вітчизняні розробки в галузі геоінформаційного аналізу альтернативних джерел енергії

Основними напрямками використання відновлюваних джерел енергії України є: вітрова енергія, сонячна енергія, енергія річок, енергія біомаси, геотермальна енергія, енергія навколишнього природного середовища з використанням теплових насосів. В роботі М. М. Тимкова та Д. В. Касіянчука [26] представлено результати дослідження тільки трьох основних типів ВДЕ: вітрова енергія, сонячна енергія та енергія біомаси. На основі зібраної статистичної інформації, можна стверджувати, що Івано-Франківська область належить до енергодефіцитних, з коефіцієнтом забезпеченості 0,45. Зважаючи на значне вичерпання покладів нафти та природного газу, а також спрямованість області на розвиток туристично-рекреаційної сфери послуг, підвищення рівня енергозабезпеченості доцільно вести за рахунок комплексного використання ВДЕ з одночасним підвищенням енергоефективності та реалізації заходів з енергозбереження. Основний енергопотенціал ВДЕ в Івано-Франківській області припадає на біомасу, енергію вітру та енергію сонця. Використання енергії сонця в обсягах технічно-досяжного потенціалу справляє мінімальний вплив на навколишнє середовище в місцях його використання. Касіянчуком Д. В. була розроблена карта (рис. 2.3.1) потенціалу використання сонячної енергії. Основним недоліком використання сонячної енергії є її низька концентрація, що призводить до значних габаритів сонячних колекторів та батарей. Це в свою чергу призводить до значної землемісткості (0,003-0,004 га/кВт), що значно перевищує показники установок з перетворення енергії традиційних палив. В той же час, розміщення таких об'єктів на будівлях та не продуктивних землях дозволяє уникнути вилучення продуктивних земель із обігу. SWOT-аналіз використання сонячної енергії представлено в табл. 2.3.1

Таблиця 2.3.1

SWOT-аналіз використання сонячної енергії

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> • кількість; • сталість; • доступність; • екологічна чистота; • безшумність; • економічність; • велика область застосування; • інноваційні технології 	<ul style="list-style-type: none"> • основним недоліком використання сонячної енергії є її низька концентрація; • вихід енергії – непостійний; • вартісне устаткування; • мінливість; • незначне забруднення НС; • мала щільність потужностей
Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> • можливість експорту; • за рахунок вдосконалення технології та введення в експлуатацію нових потужностей виробництво електроенергії СЕС може бути значно збільшено 	<ul style="list-style-type: none"> • використання площі родючих земель не за призначенням.

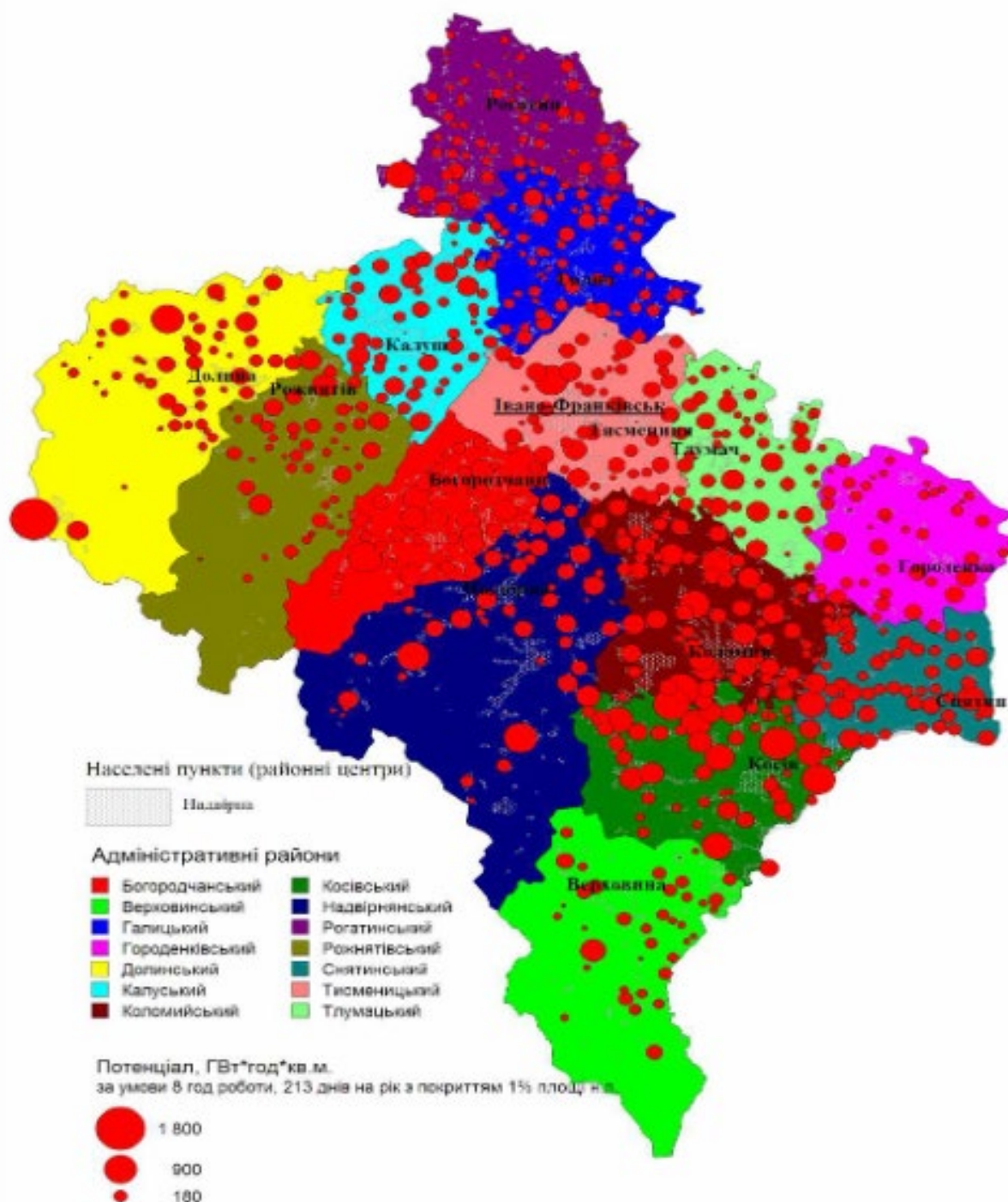


Рис. 2.3.1. Карта потенціалу використання сонячної енергії, ГВт×год×кв.м на прикладі населених пунктів Івано-Франківської області [27]

В дослідженнях О. Агапової [3] розглядається концепція картографічного забезпечення АЕ, яка полягає у створенні для отреб галузі актуальної, повної, інтегрованої інформаційно-картографічної бази даних за рахунок розробки та укладання системи картографічних творів, що розкривають структуру АЕ, відображають ресу-

рси, передумови та перспективи її розвитку, а також задовольняють вимоги різних груп користувачів.

Підхід, заснований на створенні карт різної функціональної спрямованості, дозволяє всебічно забезпечувати потреби користувачів у картографічній інформації для дослідження передумов розвитку галузі, оцінки її ресурсного потенціалу, планування нових об'єктів АЕ та інших задач. Такий підхід пропонується покласти в основу концепції картографічного забезпечення АЕ.

Картографування для потреб АЕ здійснюється на різних рівнях – національному, регіональному й локальному. Останній передбачає укладання карт і планів окремих енергетичних об'єктів АЕ та проведення уточнювальних досліджень ресурсної бази за спецзамовленням. Слід зазначити, що на національному рівні доцільне створення лише інвентаризаційних і оцінювальних карт ресурсів та стану розвитку АЕ. Для забезпечення задовільної детальності картографічної інформації картографування для потреб АЕ України пропонується здійснювати на регіональному (обласному) рівні.

Відповідно до вищезазначених вимог до картографічного забезпечення АЕ була запропонована система регіональних картографічних творів, що містить:

- 1) окремі карти та серії карт областей України;
- 2) регіональні атласи для потреб АЕ;
- 3) загальнонаціональну ГІС для потреб АЕ.

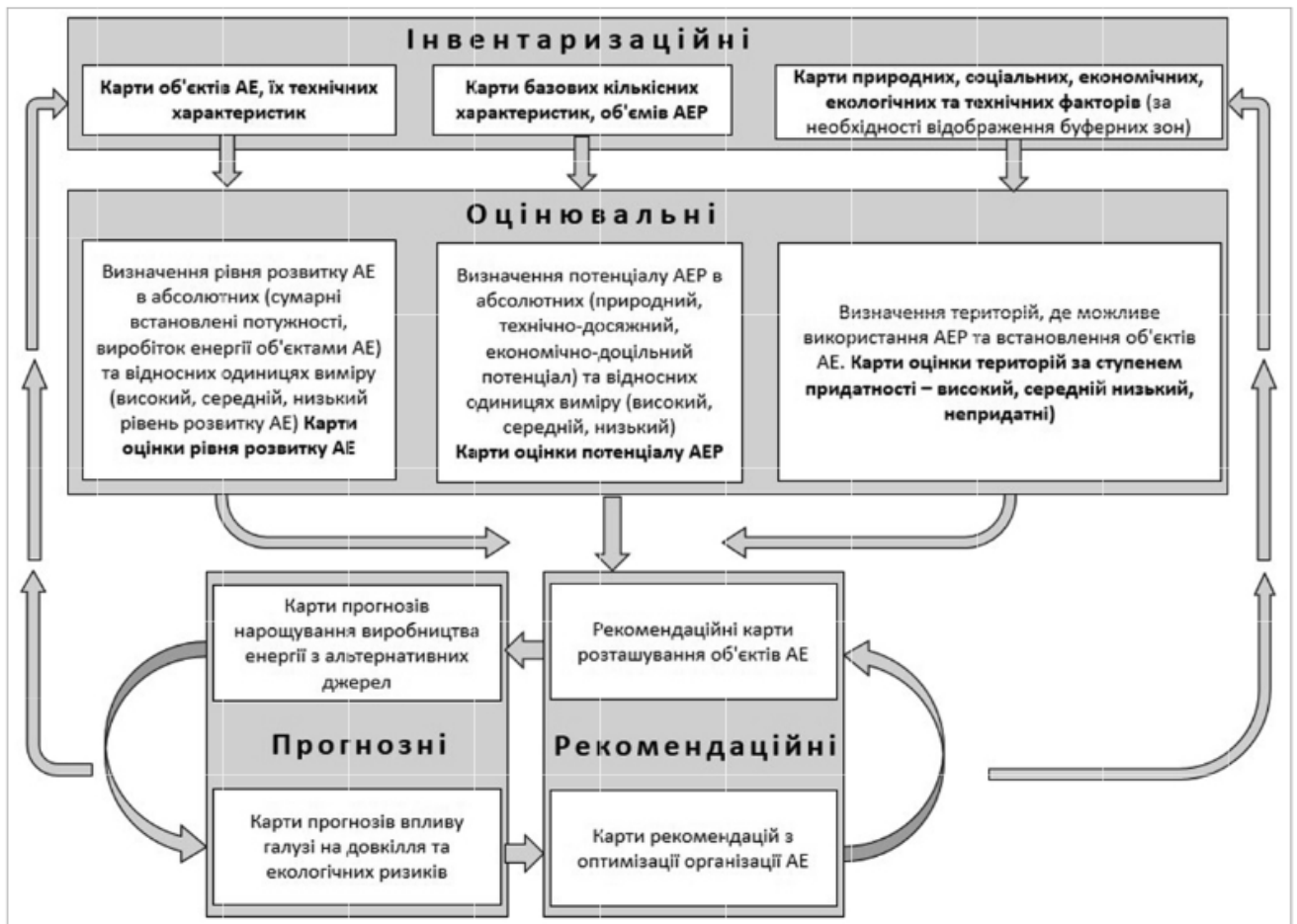


Рис. 2.3.2. Алгоритм картографічного забезпечення АЕ шляхом розробки картографічних творів різної функціональної спрямованості

Картографічне забезпечення АЕ пропонується визначати як комплекс заходів зі створення картографічних творів, що візуалізують інформацію про умови, фактори, ресурси, стан та перспективи розвитку АЕ, охоплюючих територіальні одиниці різного рангу та призначені для забезпечення планування розвитку галузі, раціонального й ефективного використання АЕ.

Висновки до 2 розділу

Використання ВДЕ є одним з найважливіших напрямів енергетичної політики України, що сприятиме збереженню традиційних енергетичних ресурсів та поліпшенню стану навколишнього середовища. Збільшення використання ВДЕ в енергетичному балансі України підвищить рівень диверсифікації джерел енергії буде сприяти посиленню енергетичної незалежності держави. Застосування ГІС при розробці проектів аналізу потенціалу ВДЕ значно спрощує прийняття рішень при енергетичному менеджменті.

Картографічне забезпечення ВДЕ є комплексом заходів зі створення картографічних творів, що відображають інформацію про умови, фактори та ресурси, стан і перспективи розвитку альтернативної енергетики, охоплюючи різні територіальні одиниці для забезпечення планування розвитку даної галузі.

Використання методики представленої у вигляді модулю інструктів Spatial Analyst ПЗ ArcGIS дозволяє діагностувати об'єкти та області дослідження, створюючи графічні представлення видимого неба, положення сонця на небі за певний період часу, а також секторів неба, які впливають на кількість поступаючого сонячного випромінювання. Використовуючи їх для аналізу, можна обчислити сумарну кількість сонячного випромінювання для конкретного місця розташування чи території.

Дані інструменти дозволяють легко картографувати і аналізувати наслідки сонячного випромінювання над географічною областю для конкретних періодів часу. Це враховує атмосферний вплив, широту і висоту, крутизну і експозицію, добові та сезонні зрушення кута до сонця і ефекти тіней навколишньої топографіїю

РОЗДІЛ 3

ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АНАЛІЗУ СОНЯЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ

3.1. Технологія здійснення геоінформаційного аналізу сонячного потенціалу

При здійсненні аналізу сонячного потенціалу, використовуючи засоби ГІС, а саме інструменти сонячного аналізу випромінювання в додатковому модулі ArcGIS Spatial Analyst, потрібно враховувати деякі особливості. Обчислення сонячного випромінювання може займати значний проміжок часу, для великих ЦМР – до декількох годин, а для дуже великих навіть до декількох днів. Тому для початку, варто зробити ряд тестових запусків з використанням маленьких розширень або ж вирізавши певний набір даних, щоб переконатися, що ви вказали коректні параметри, перед тим як запустити процес отримання даних в максимальному розширенні.

Вихідні растри сонячного випромінювання завжди будуть представлені числами з плаваючою точкою і виражені у ватах на квадратний метр ($\text{Вт}/\text{м}^2$). Растр тривалості прямого випромінювання буде цілісильним, а одиниці виміру його значень будуть години.

Методика аналізу розроблена для ландшафтів локального рівня, тому рекомендується для всієї ЦМР використовувати одне значення широти. Для великих наборів даних, наприклад, областей, країн чи континентів, результати інсоляції будуть значно відрізнятися на різних широтах (що відрізняються більш, ніж на 1 градус). Для аналізу більш обширних географічних регіонів, необхідно розділити територію дослідження на зони з різними широтами.

Для багатоденних моделей, максимальна кількість днів може бути рівна одному року (365 днів чи 366 для високосного року). Якщо дата першого дня перевищує дату останнього дня, то обчислення часу будуть продовжені з переходом на наступний рік. Наприклад, вираз «початковий день, кінцевий день» = «365, 31» буде показувати часовий інтервал з 31 грудня до 31 січня наступного року. Наприклад, якщо

параметр визначений як «1, 2», в обчисленнях буде використано період від першого дня з 0:00 годин (1 січня) до 0:00 другого дня (2 січня). Дати першого і останнього дня не можуть співпадати.

Значення цього року для часової конфігурації використовується для визначення високосного року. Іншого впливу на аналіз сонячного випромінювання воно немає, так як аналіз сонячного випромінювання є функцією часового періоду, визначеного днями Юліанського календарю.

Для одноденних моделей, максимальний діапазон часу складає один день (24 години). Обчислення не можуть бути виконані через дні (наприклад, з 12:00 одного дня до 12:00 години наступного дня). Початковий час повинен бути менше часу закінчення.

В тих випадках, коли значення висоти поверхні виражені в одиницях виміру, що відрізняються від наземних одиниць вимірювання, застосовується коефіцієнт для коригування обчислень. Наприклад, якщо одиницями вимірювання на поверхні є метри, а на висотні одиниці – фути, то можна використати коефіцієнт 0,3048 для перетворення футів в метри.

Так як обчислення видимості можуть достатньо інтенсивними, для цілого ряду заданих напрямів обчислення відстежуються тільки горизонтальні кути. Дійсні значення повинні бути множниками 8 (8, 16, 24, 32 і т.д.) Як правило, для областей з м'яким рельєфом підходить значення 8 або 16, в той же час значення 32 повинно бути використано для територій з сильно пересіченим рельєфом.

Число необхідних напрямків обчислення пов'язано з роздільною здатністю вхідної ЦМР. Модель земної поверхні з роздільною здатністю в 30 м. зазвичай представляє собою доволі згладжену поверхню, тому для більшості ситуацій достатньо використовувати кількість напрямків 16 чи 32. Для ЦМР з більш високою роздільною здатністю і для ЦМР в яких відображені штучні структури, кількість напрямків потрібно збільшити. Кількість напрямків збільшує точність, але при цьому збільшується і час необхідний на виконання обчислення.

Частка розсіювання – це частина загального нормального потоку випромінювання, яка розсіюється. Значення знаходяться в діапазоні від 0 до 1. Це значення повин-

но бути задано у відповідності до атмосферних умов. Типові значення – це 0,2 для дуже ясного неба і 0,7 – для дуже хмарного неба.

Об'єм сонячного випромінення, отриманого з поверхні – це тільки частина випромінення, отриманого за межами атмосфери. Коефіцієнт пропускання є властивістю атмосфери і являє собою співвідношення енергії, що надходить до поверхні землі, до енергії, отриманої на верхній межі атмосфери. Типові значення знаходяться в діапазоні від 0 (відсутнє пропускання випромінювання) до 1 (повне пропускання). Типові значення – 0,7 чи 0,6 для дуже ясного неба та 0,3 чи 0,2 для дуже хмарного.

3.2. Загальні моделі аналізу потенціалу сонячної енергії

При підготовці робіт до аналізу сонячного випромінення для початку потрібно проаналізувати наявні вихідні дані та ознайомитися з методичними джерелами щодо здійснення аналізу.

Спершу, отримаємо векторні шари меж сільських рад з різних природних зон для подальшого порівняння. Векторні шари були отримані з сайту адміністративно-територіального устрою України, процес показаний на рис. 3.2.1.

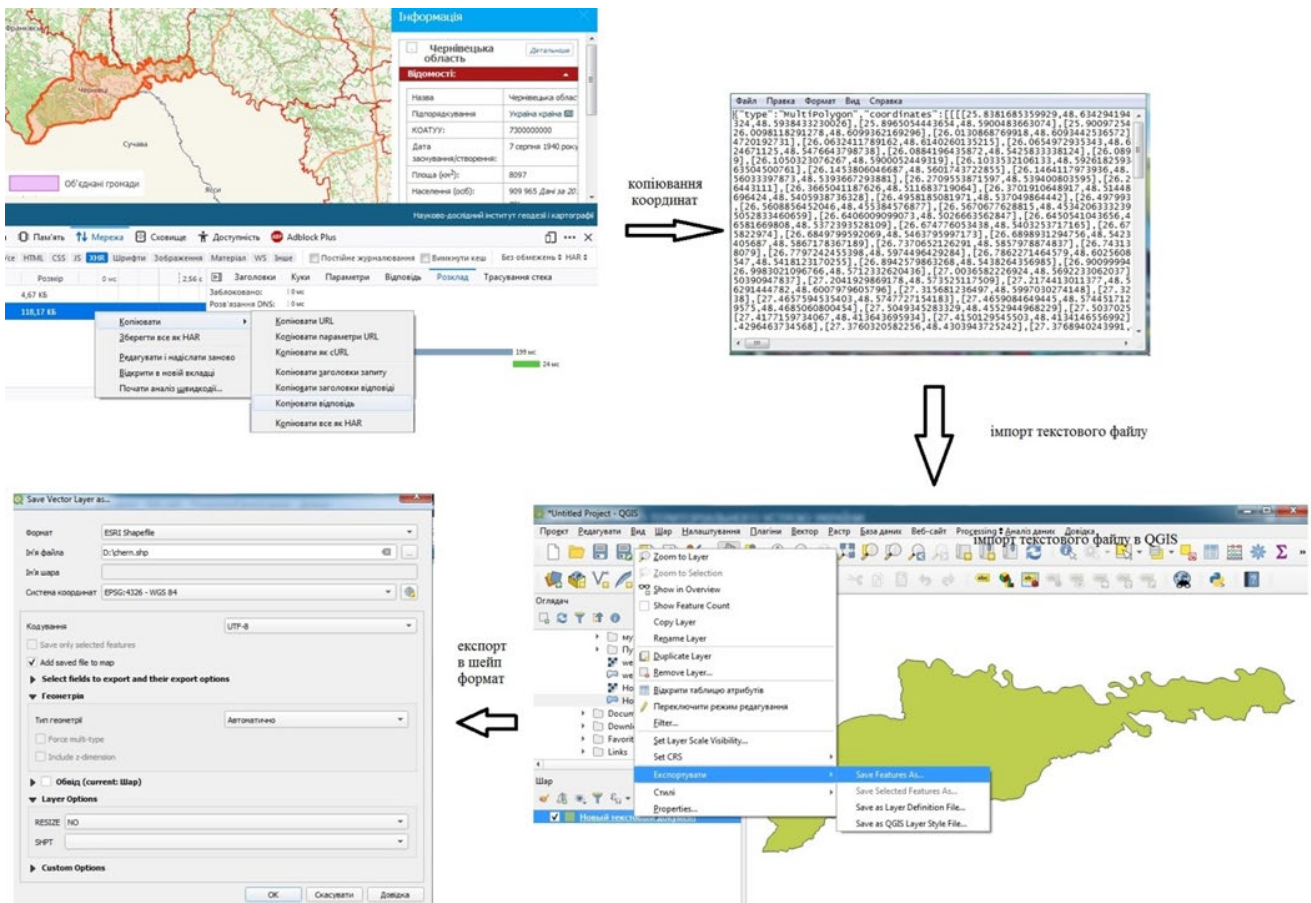


Рис. 3.2.1. Процес отримання векторних шарів

Отримані векторні шари меж відкриваємо в ArcMap 10.5. Після цього території сільських рад було збільшено шляхом утворення буферних зон в 500 метрів рис 3.2.2 для подальшого коректного відображення ЦМР та растру сонячного випромінювання.



Рис. 3.2.2. Межі населеного пункту с. Буденець з його буферною зоною в 500 м.

Так як знімки SRTM доволі об'ємні та покривають велику територію необхідно було обмежити її до території дослідження. Для цього ми застосували додатковий модуль інструментів «Управління даними» в якому обрали інструменти для обробки растру «Растр» → «Обробка растру» → «Вирізати». В меню самого інструменту обрали знімок SRTM в якості об'єкта, який будемо вирізати та буферну зону сільської ради в якості контуру по якому буде здійснене вирізування. В результаті отримали ЦМР сільської ради рис. 3.2.3.

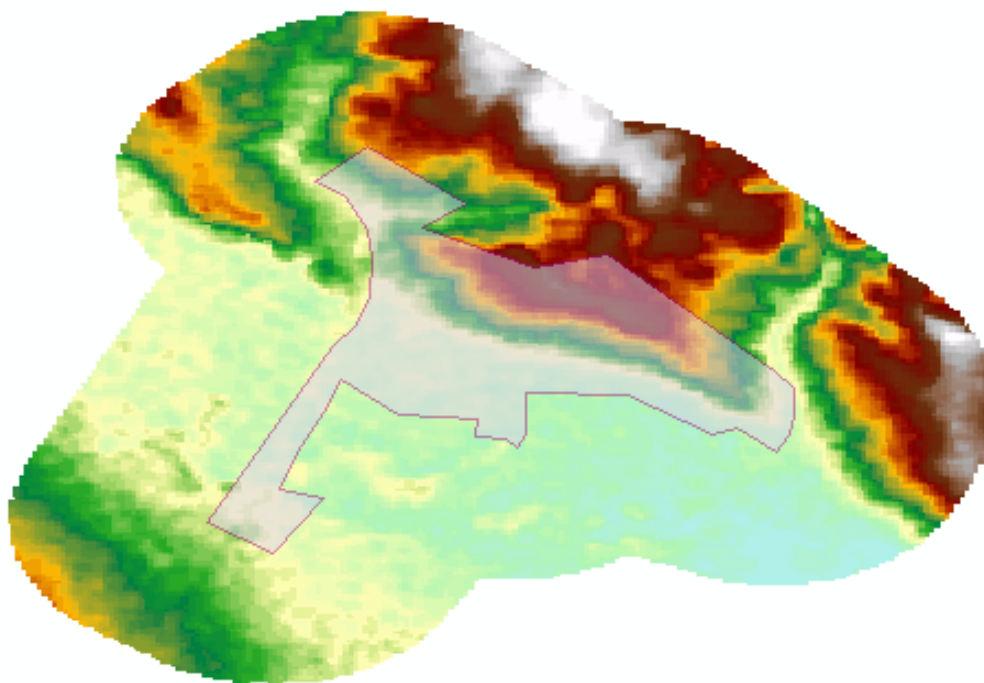


Рис. 3.2.3. ЦМР Буденецької сільської ради та її околиць

Після зменшення території можна обчислювати сонячне випромінення для неї. Для цього в модулі інструментів «Spatial analyst» обираємо інструменти «Сонячне випромінення» → «Область сонячного випромінення». В якості вхідного растру вибираємо ЦМР сільської ради та вказуємо місце куди будемо зберігати вихідний растр. Далі вказуємо розмір неба як максимальне значення – 10000, для аналізу одного дня це не займе багато часу обчислювання. Використовуючи сонячний календар задаємо параметри, що відповідають дню літнього сонцестояння (21 червня), в який схід сонця в 3:45, а захід – 20:13. Кількість напрям обчислення залишаємо за замовчанням – 32. Коефіцієнт дифузності (розсіювання) використаємо як для дуже

ясної погоди – 0,2, відповідно, коефіцієнт пропускання, також використовуємо для дуже ясної погоди – 0,7. В результаті отримуємо растр сонячного випромінення для 21 червня 2020 року та після пере класифікації отримуємо рис. 3.2.4.

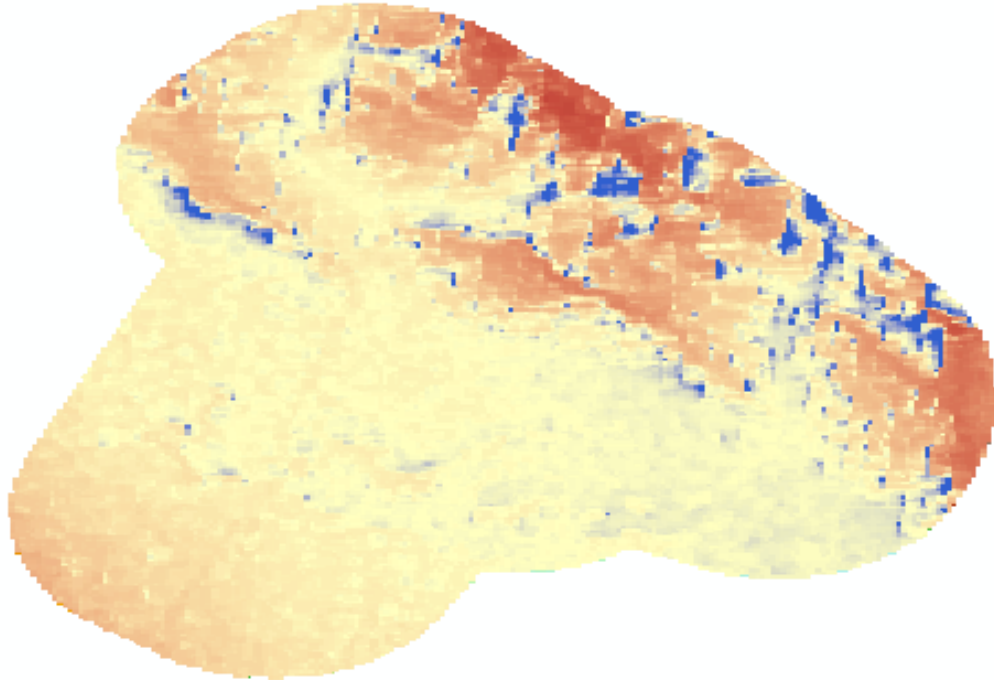


Рис. 3.2.4. Растрове зображення отриманого сонячного випромінювання Буденецької сільської ради та її околиць

Відкривши вікно класифікації у властивостях даного растру, отримали інформацію про статистику даної класифікації у вигляді гистограми рис. 3.2.5, ці дані будуть необхідні в подальшому для виділення областей з найбільшою кількістю отриманої сонячної інсоляції.

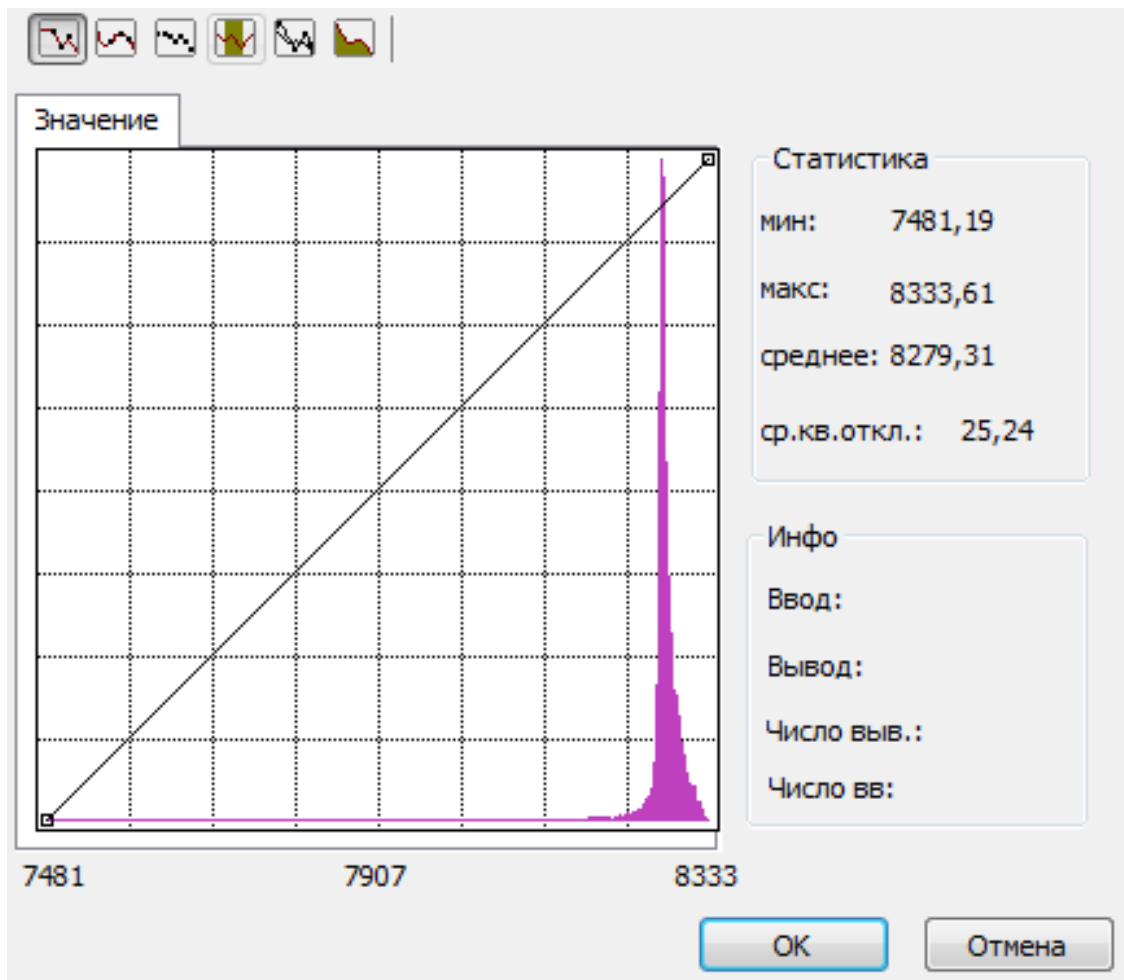


Рис. 3.2.5. Інформація про статистику растру Буденецької с. р.

Середнє значення растру буде використано для виділення областей з найбільшим рівнем інсоляції. Наприклад, для цієї території, округливши воно складає – 8279 Вт/м². Після цього в модулі «Spatial Analyst» інструментом «Алгебра карт» → «Калькулятор растру» виділяємо області з найбільшою інсоляцією. В результаті отримуємо растр, який відображає територію інсоляції з показником від середнього до максимального значення рис. 3.2.6.

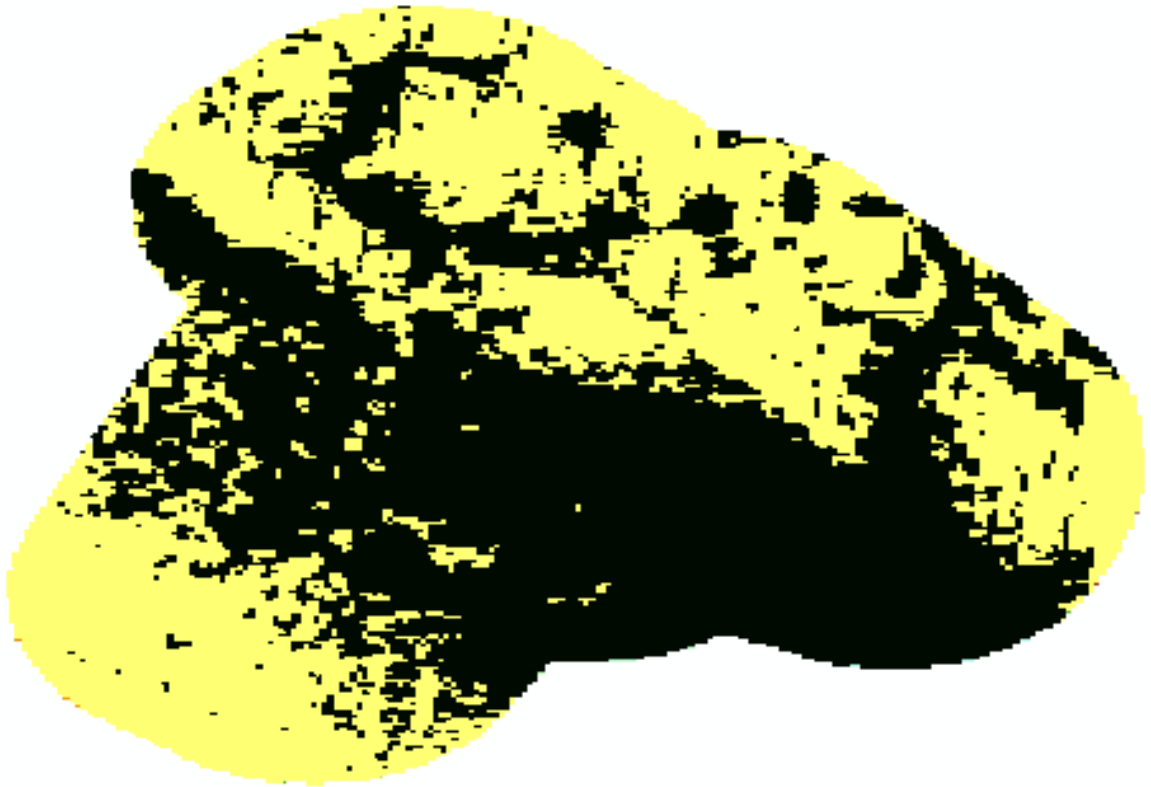


Рис. 3.2.6. Растр інсоляції Буденецької с. р. з показником від середнього до максимального значення (жовтий колір відображає показник)

Після цього використовуючи модуль «Конвертація», а саме інструменти «З растру» → «Растр в полігони», ми отримали шейп-файл з територією цього показника рис. 3.2.7.

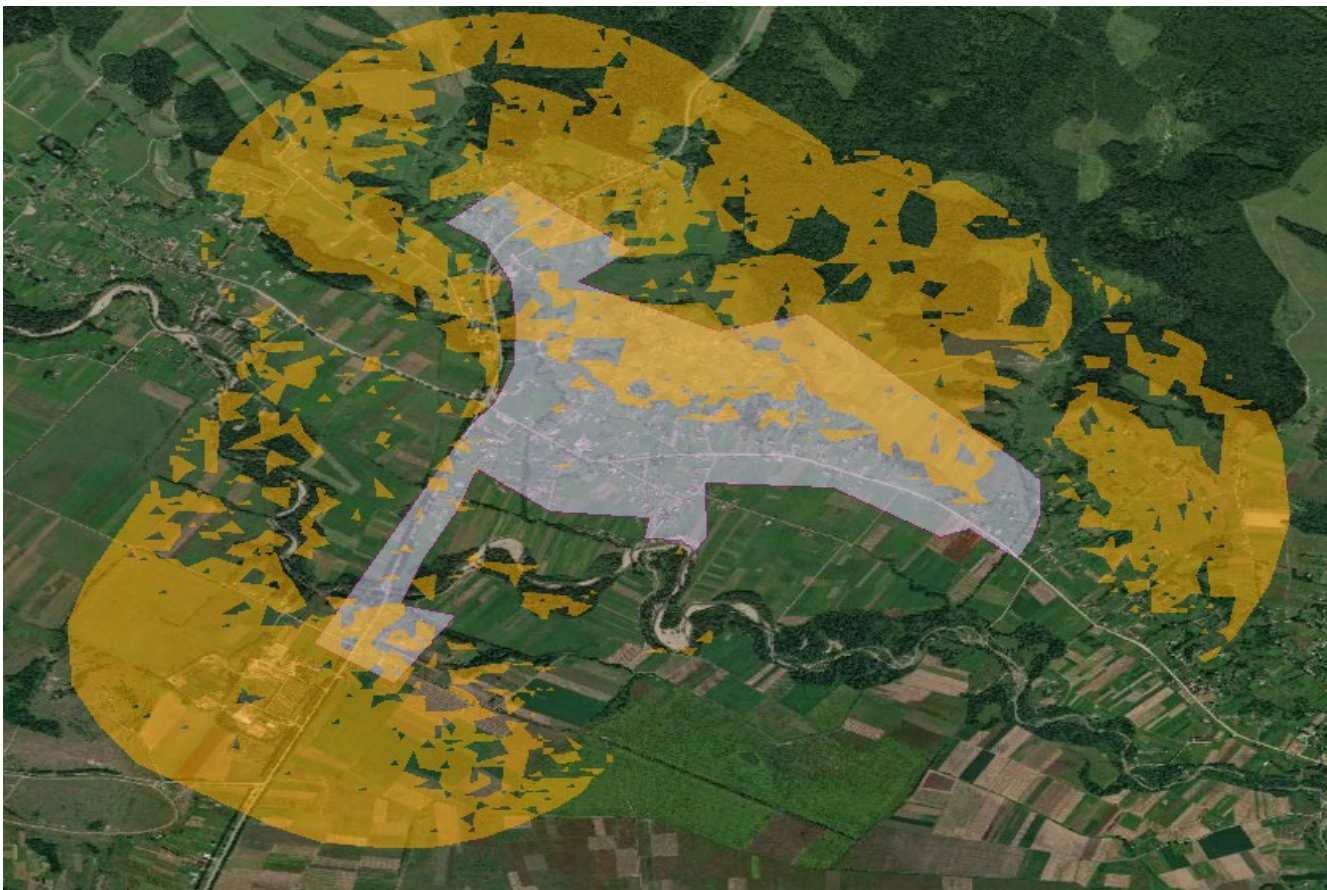


Рис. 3.2.7. Векторні шари даних Буденецької с. р. на супутниковому знімку

Цей шейп-файл обмежить область дослідження та полегшить вибір точки для подальшого порівняльного аналізу. Після цього в межах населеного пункту та в межах зони середнього показнику інсоляції було обрано точку на відкритій території для подальших порівнянь рис. 3.2.7-3.2.8.



Рис. 3.2.7. Точка на відкритому просторі в с. Буденець



Рис. 3.2.8. Розміщення точки відносно меж Буденецької сільської ради та зони середнього показнику інсоляції

Для сільських рад Плоска та Бузовиця були буферні зони були сторені аналогічно в 500 м. Нижче на рисунках 3.2.9 та 3.2.10 представлені ці сільські ради.



Рис. 2.3.9. Межі населеного пункту с. Пlosка з його буферною зоною в 500 м.



Рис. 3.2.10. Межі населеного пункту с. Бузовиця з його буферною зоною в 500 м.

Потім знову обмежили знімки SRTM для цих сільських рад через їх об'ємність. Для цього ми повторно застосували додатковий модуль інструментів «Управління даними» в якому обрали інструменти для обробки растру «Растр» →

«Обробка растру» → «Вирізати». Обрали знімок SRTM в якості основи, яку будемо обрізати та буферні зони сільських рад в якості контурів по якому будуть здійснені вирізання. В результаті отримали ЦМР сільських рад рис. 3.2.11 та 3.2.12.

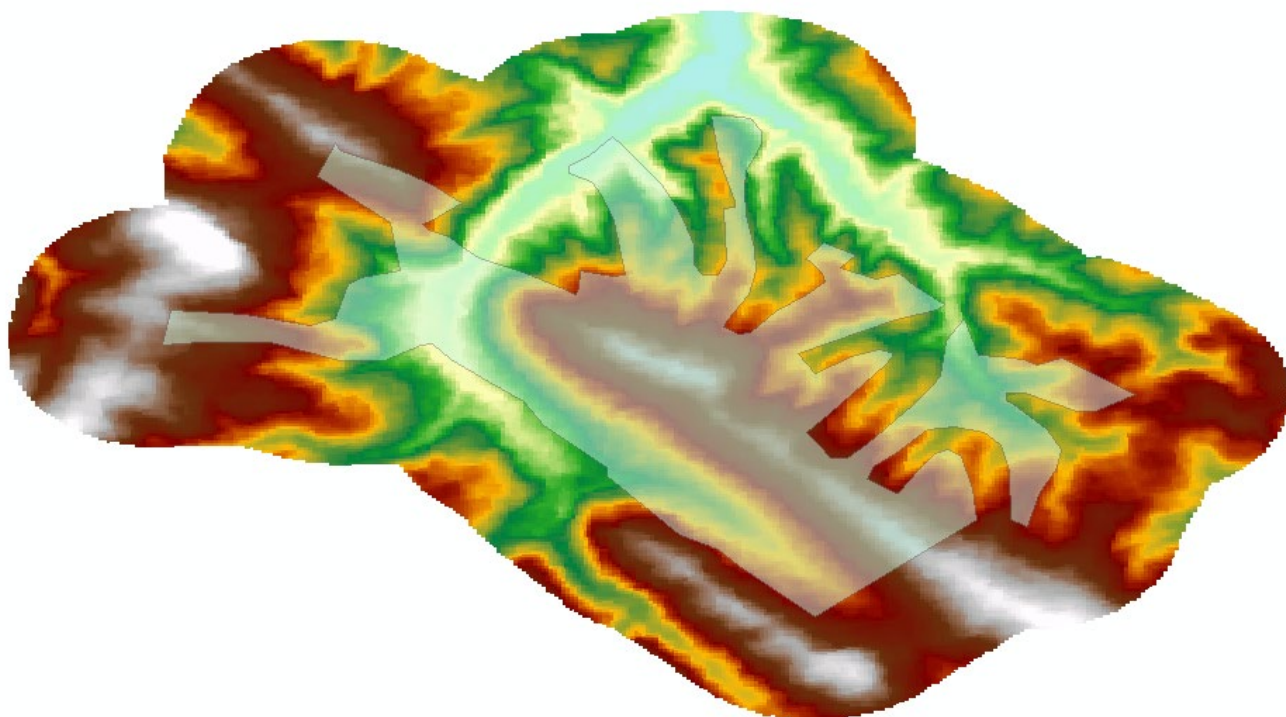


Рис. 3.2.11. ЦМР Плосківської сільської ради та її околиць

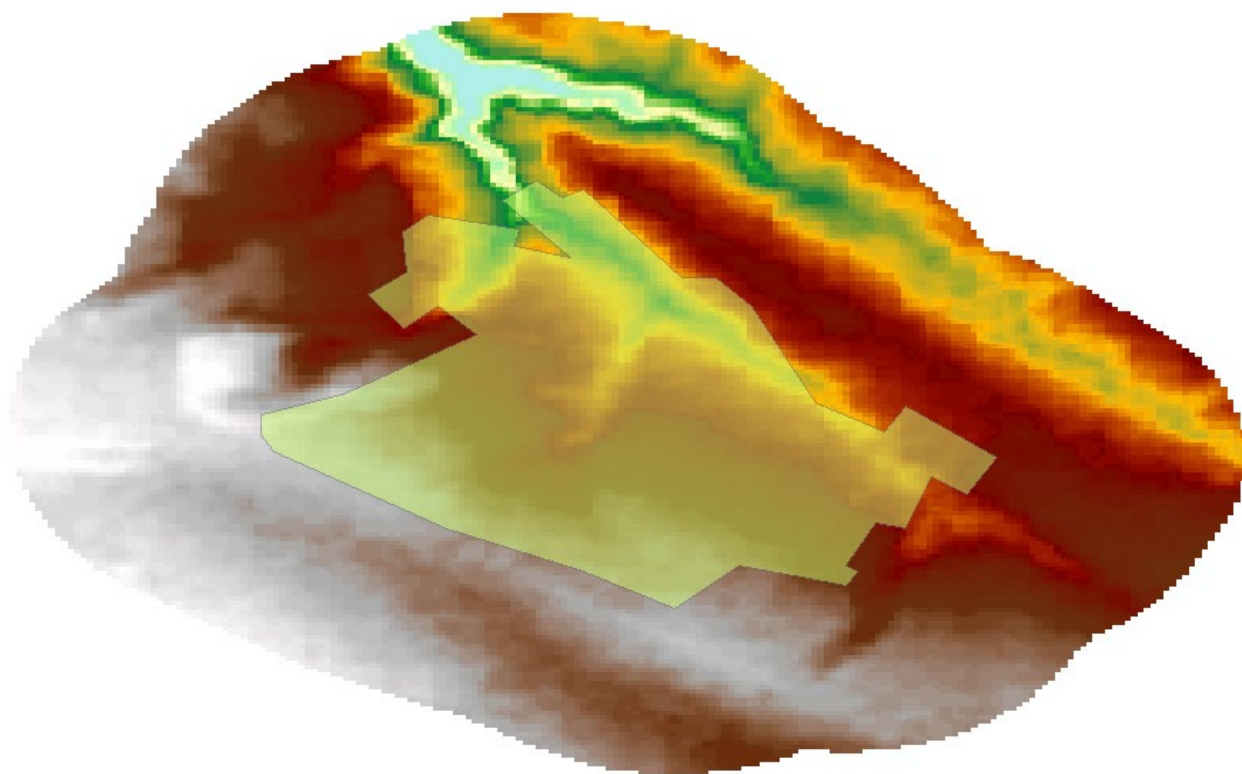


Рис. 3.2.12. ЦМР Бузовицької сільської ради та її околиць

Після зменшення цих територій ми можемо повторити обчислення сонячного випромінення для них. Повертаємось до модуля інструментів «Spatial analyst» обираємо інструменти «Сонячне випромінення» → «Область сонячного випромінення». В якості вхідних растрів вибираємо ЦМР сільських рад та вказуємо місце зберігання цих растрів. Далі вказуємо ті самі параметри для розміру неба, встановлюючи його як максимальне значення – 10000. Задаємо параметри відповідного світлового дня, що відповідають дню літнього сонцестояння (21 червня), в який схід сонця в 3:45, а захід – 20:13. Напрямів обчислення залишаємо за замовчанням – 32. Коефіцієнт дифузності (розсіювання) використаємо, як і для попередньої сільради, для дуже ясної погоди – 0,2, відповідно, коефіцієнт пропускання, також використовуємо для дуже ясної погоди – 0,7. В підсумку отримуємо растри сонячного випромінення для 21 червня 2020 року та після перекласифікації значень отримуємо відповідні растри рис. 3.2.13 – 3.2.14.

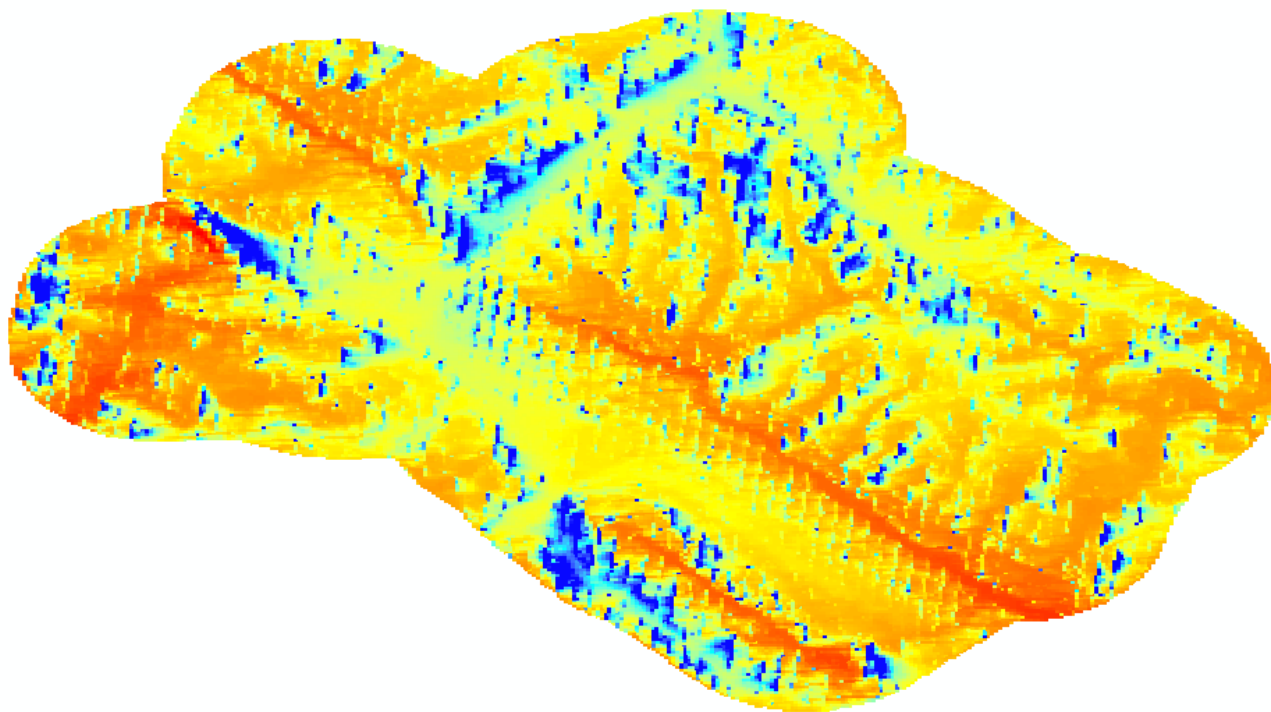


Рис. 3.2.13. Растрове зображення отриманого сонячного випромінювання Плосківської сільської ради та її околиць

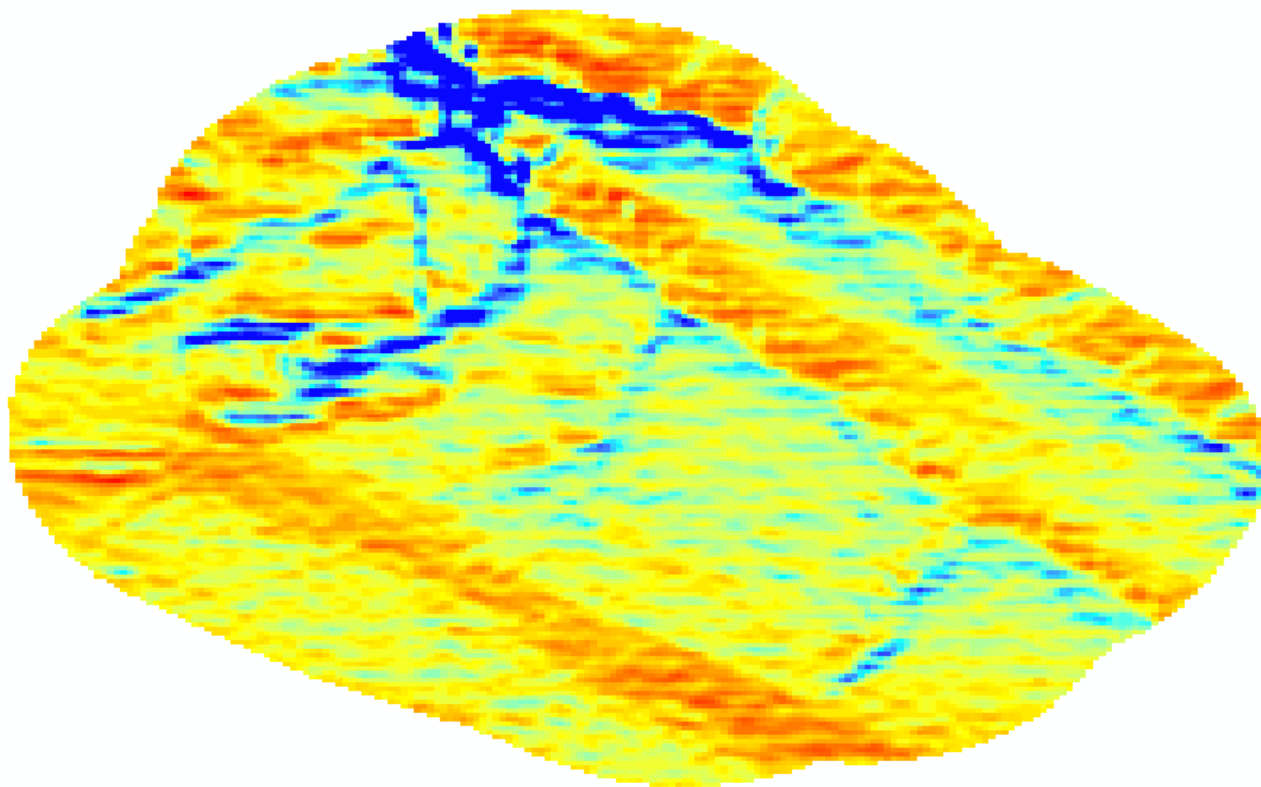


Рис. 3.2.14. Растрове зображення отриманого сонячного випромінювання Бузовицької сільської ради та її околиць

Для виділення областей з найбільшою кількістю сонячного випромінювання відкрили вікно класифікації цих растрів та знайшли в інформацію про статистику даних класифікацій у вигляді гістограм рис 3.2.15-3.2.16. з цих даних ми будемо виділяти області з найбільшою кількістю отриманого сонячного випромінювання.

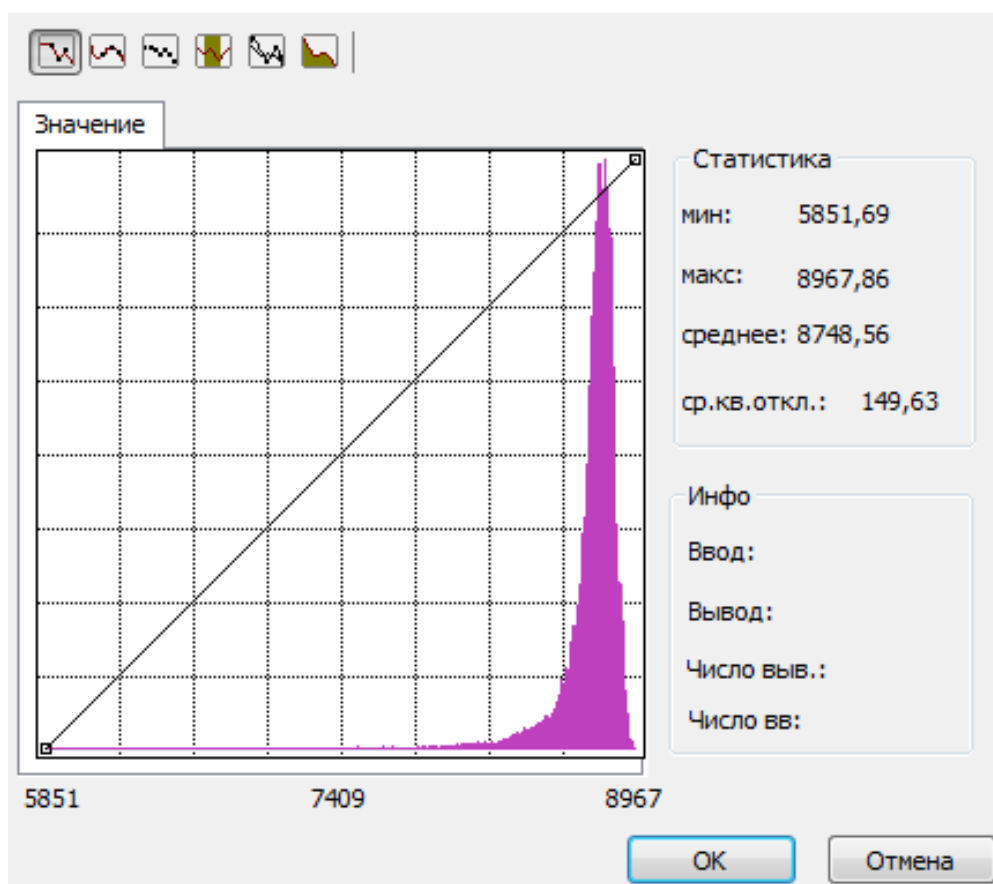


Рис. 3.2.15. Інформація про статистику растру Плосківської с. р.

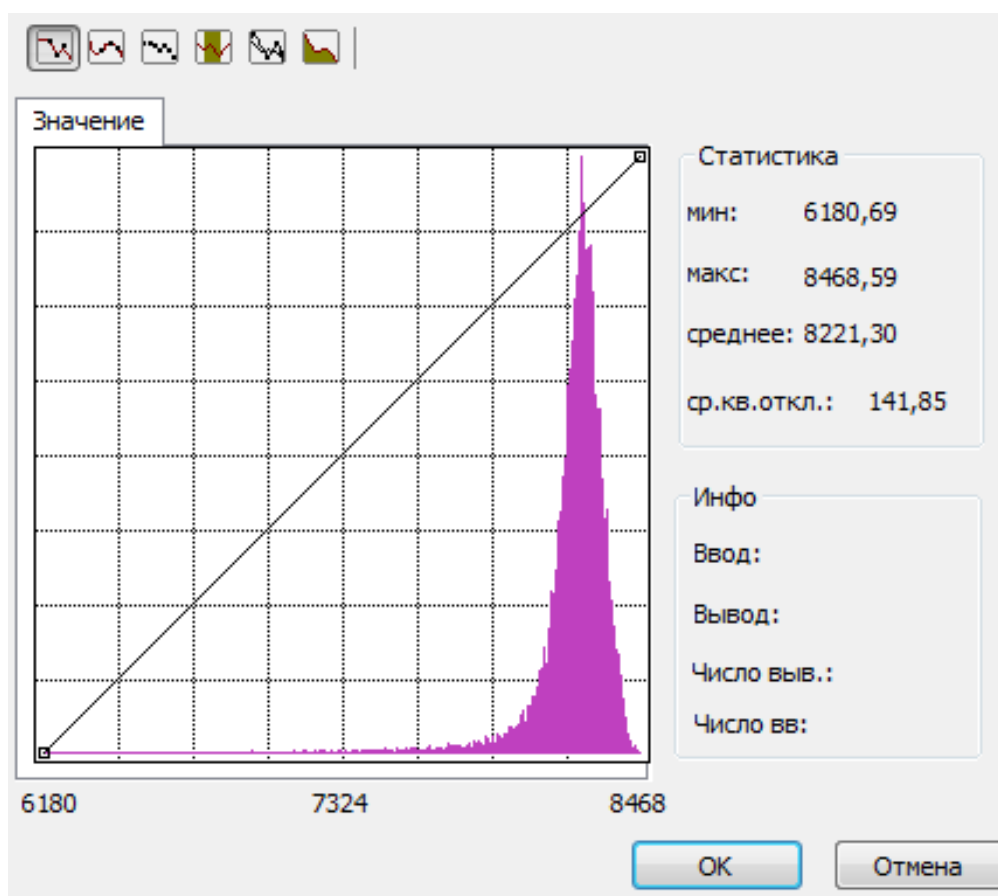


Рис. 3.2.16. Інформація про статистику растру Бузовицької с. р.

Середні значення растру по територіям використано для виділення областей з найбільшим рівнем сонячного випромінення. Для с. Пlosка, округливши воно складає – 8748 Вт/м², а для с. Бузовиця – 8221 Вт/м². Визначивши середні значення повернулися до модуля «Spatial Analyst» інструмента «Алгебра карт» → «Калькулятор растру» та виділили області з найбільшою інсоляцією. Після чого отримуємо растри, що відображають території інсоляції з показником від середнього до максимального значення рис. 3.2.17-3.2.18.

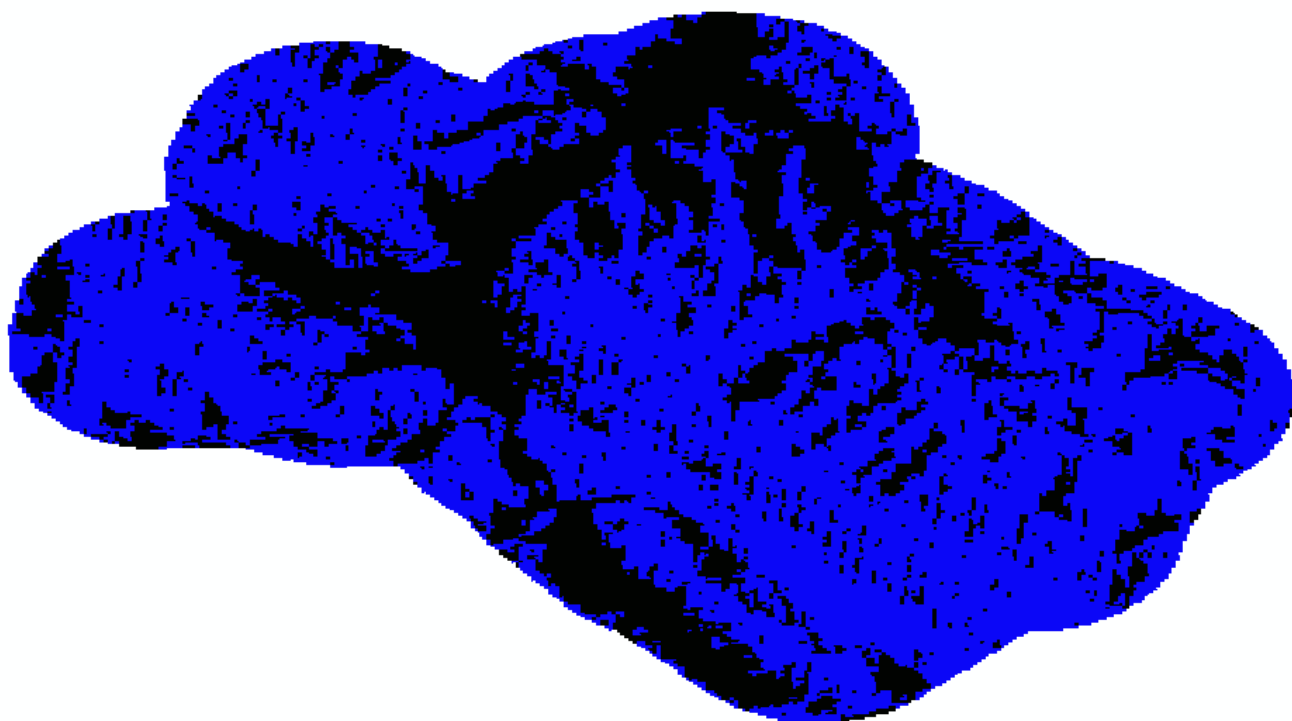


Рис. 3.2.17. Растр інсоляції Пlosківської с. р. з показником від середнього до максимального значення (синій колір відображає показник)

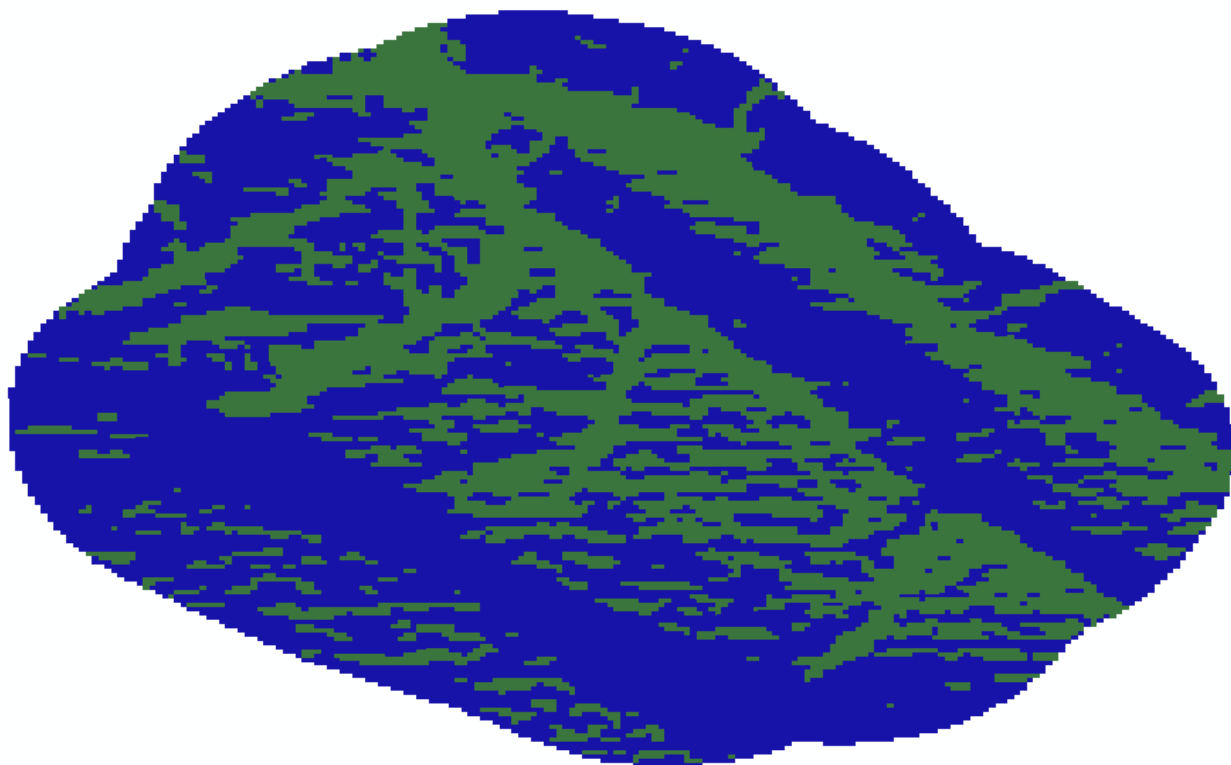


Рис. 3.2.18. Растр інсоляції Бузовицької с. р. з показником від середнього до максимального значення (синій колір відображає показник)

Потім застосовуємо модуль «Конвертація», а саме інструмент «З растру» → «Растр в полігони» та отримуємо шейп-файли з територіями цього показника рис. 3.2.19-3.2.20.



Рис. 3.2.19. Векторні шари даних Плосківської с. р. на супутниковому знімку

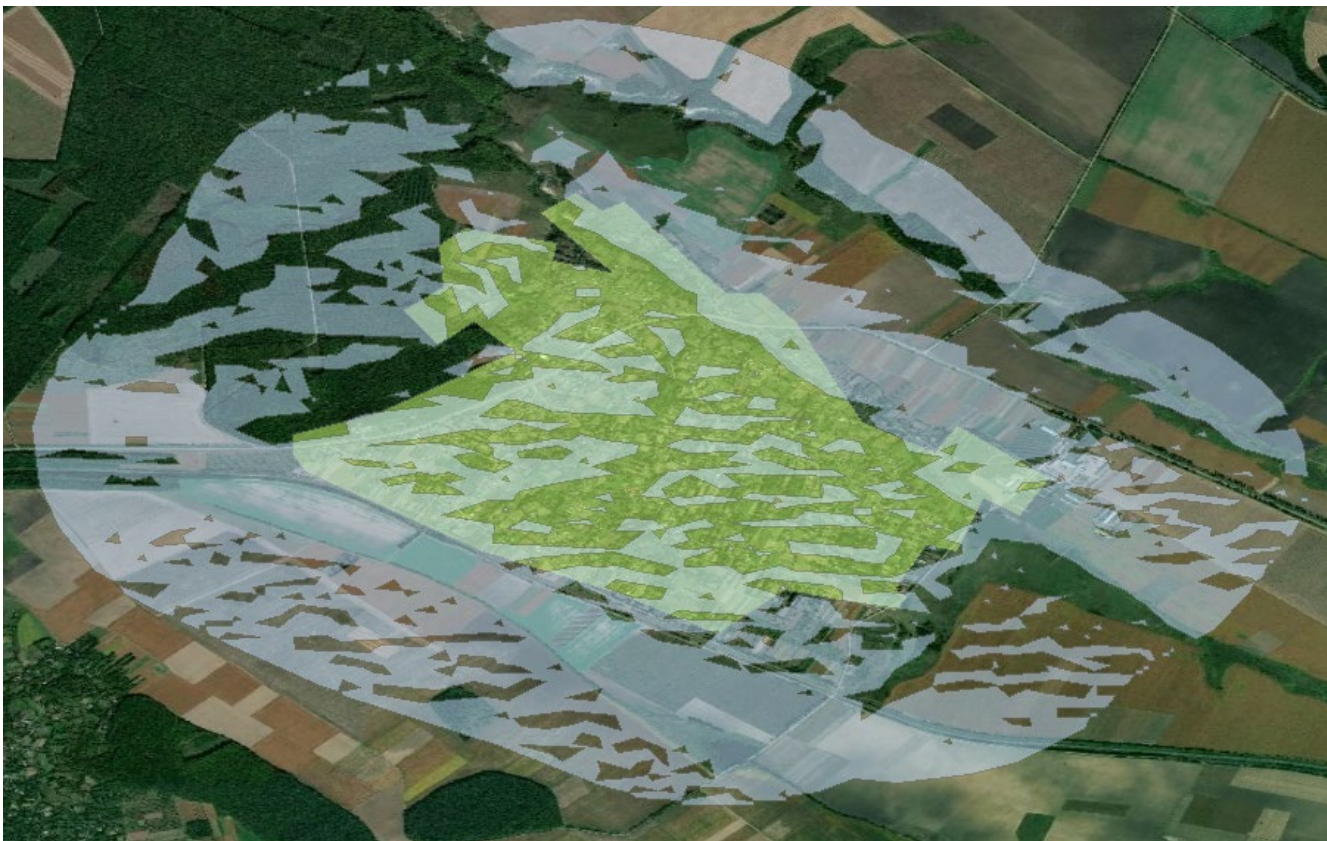


Рис. 3.2.20. Векторні шари даних Бузовицької с. р. на супутниковому знімку

Обмеження області дослідження, полегшило вибір точок для подальшого порівняльного аналізу. В межах населених пунктів та в межах зон середнього показнику інсоляції було обрано точки на відкритій території для подальших порівнянь рис. 3.2.21-3.2.24.



Рис. 3.2.21. Точка на відкритому просторі в с. Плоска

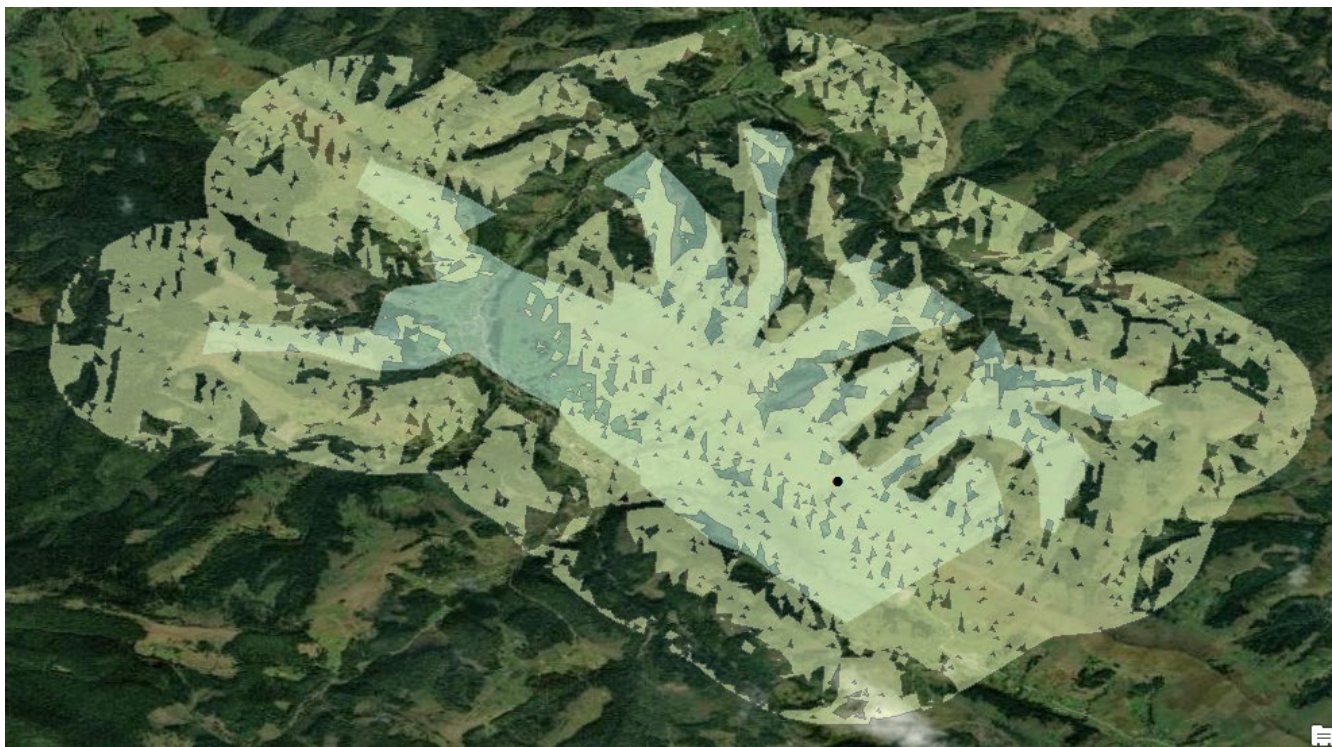


Рис. 3.2.22. Розміщення точки відносно меж Пłosківської сільської ради та зони середнього показнику інсоляції



Рис. 3.2.21. Точка на відкритому просторі в с. Бузове

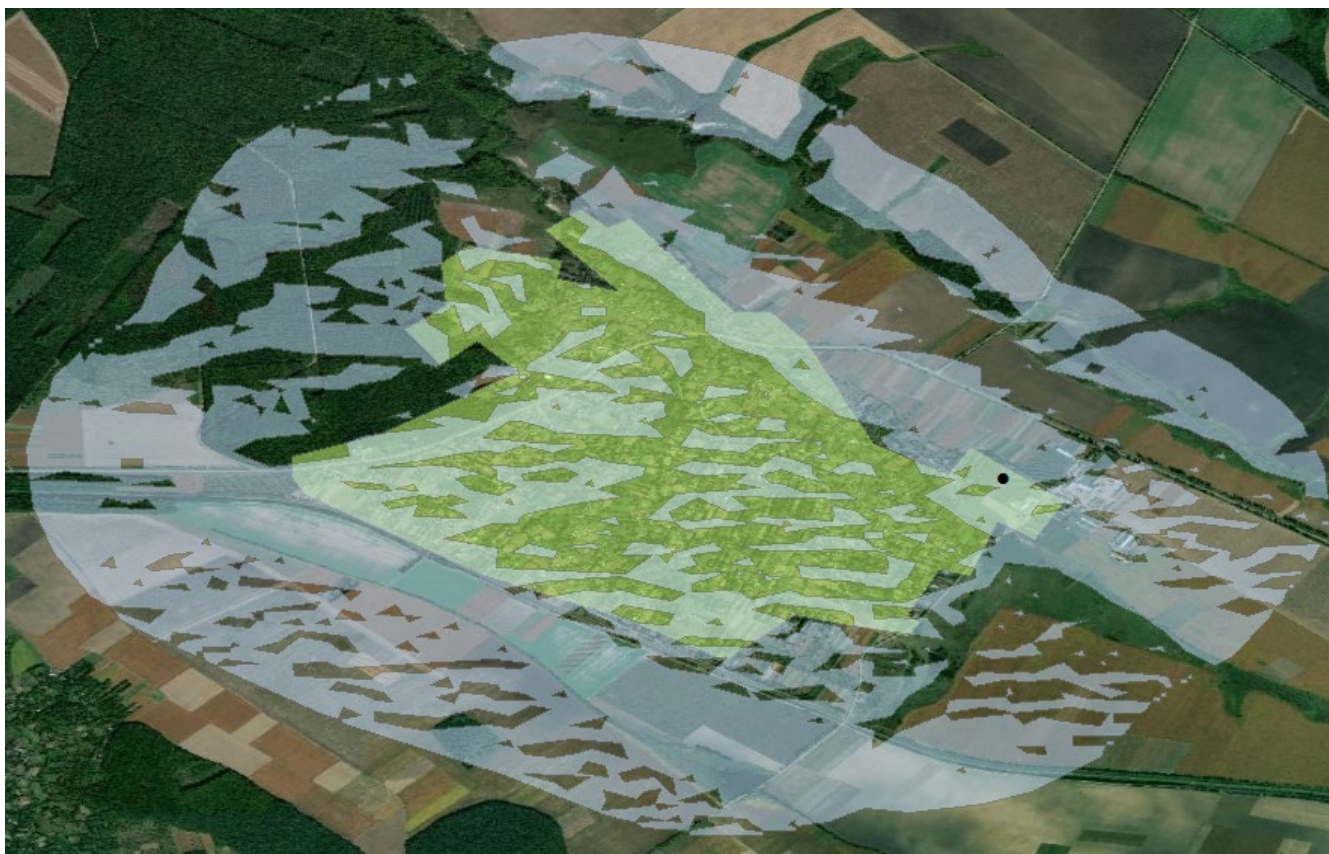


Рис. 3.2.22. Розміщення точки відносно меж Бузовицької сільської ради та зони середнього показнику інсоляції

Аналогічні дії були проведені для територій з коефіцієнтами для поганої погоди та з середніми значеннями коефіцієнтів, в день зимнього сонцестояння 22 грудня та для періоду часу в один рік. Після чого було проведено порівняльний аналіз цих сільських рад.

3.3. Порівняльний аналіз сонячного потенціалу територій Чернівецької області за допомогою геоінформаційних систем

В результаті проведення аналізу використовуючи ПЗ ArcGIS, а саме модулю інструментів Spatial Analyst інструменти «Сонячне випромінення» → «Область сонячного випромінення», ми отримали значення для кожної довільно обраної точки. Точки були обрані в області, що відповідала показнику сонячного випромінювання

із значенням від середнього до максимального. Значення обраних точок представлені в таблиці 3.3.1.

Таблиця 3.3.1

Отриманні в результаті аналізу значення інсоляції

Назва сільської ради		Плоска	Буденець	Бузовиця
Природна зона		Гірська	Передгірська	Лісостепова
Середні значення всієї території, Вт/м ²		8748	8279	8221
Висота точки, м		1015	434	244
Коефіцієнти розсіювання та пропускання для хорошої погоди, Вт/м ²	21 червня	8899	8311	8257
	22 грудня	946	1124	804
	2020 рік	1697232	1756639	1589139
Коефіцієнти розсіювання та пропускання для поганої погоди, Вт/м ²	21 червня	7296	6042	5738
	22 грудня	259	182	139
	2020 рік	1145393	1038852	1059896
Середні значення коефіцієнтів розсіювання та пропускання, Вт/м ²	21 червня	7957	7186	6881
	22 грудня	594	530	398
	2020 рік	1491637	1362861	1248097

Можна помітити, що для гірської природної зони середні значення для всієї території вище за передгірську і лісостепову зону, що пояснюється висотою території. Для наочного порівняння було створено ряд графік (рис. 3.3.1 - 3.3.3). За умов хорошої погоди в період за 2020 рік найбільший показник у передгірській зоні для точки в с. Буденець. Також показник сонячного випромінювання був найвищим при хорошій погоді за 21 грудня для с. Буденець. Крім цих випадків найбільші значення були для с. Плоска. Для с. Бузовиця значення показника було найменшим, крім випадку, де були застосовані коефіцієнти поганої погоди, там значення було середнім.

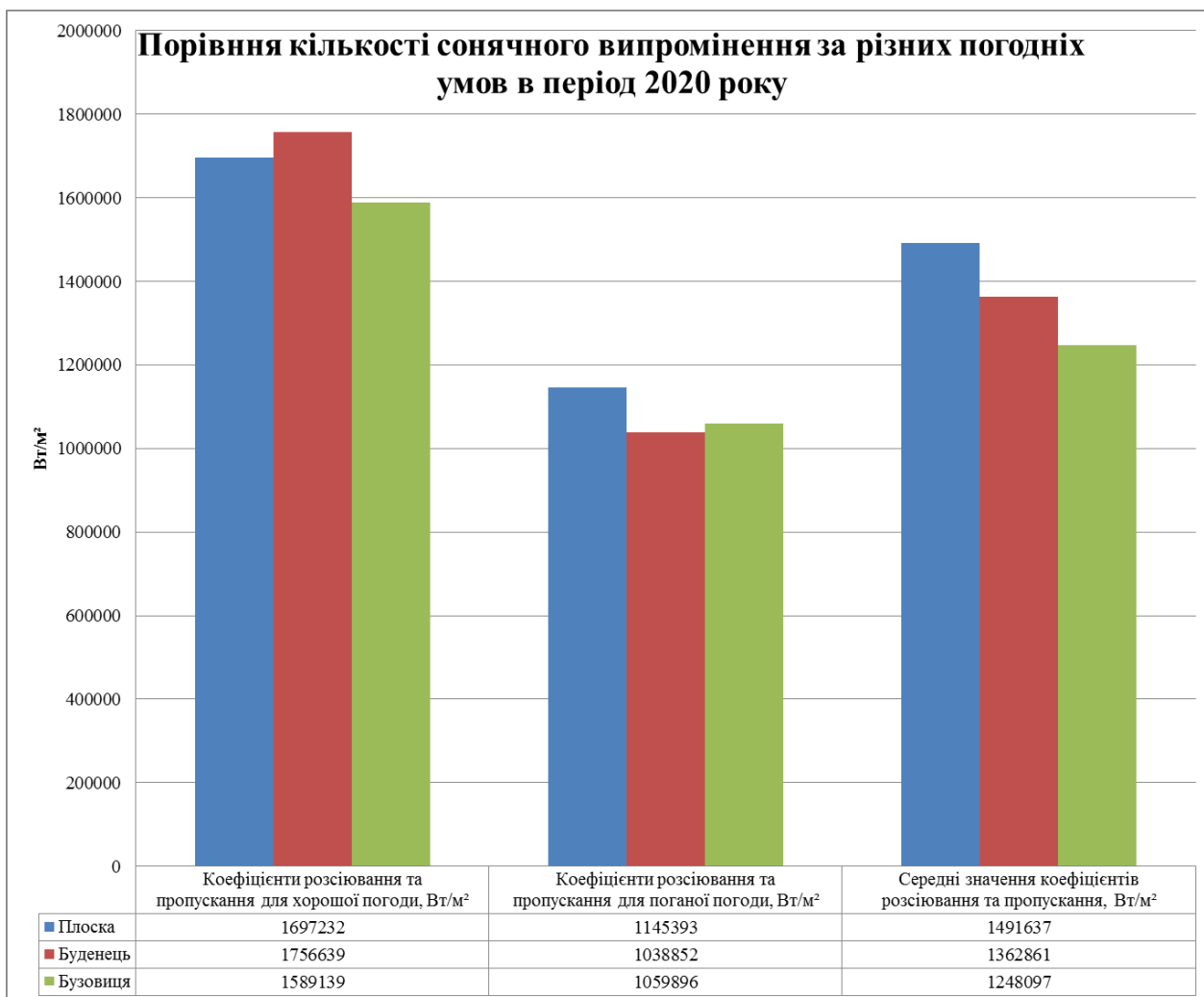


Рис. 3.3.1. Гістограма кількості сонячного випромінення в період 2020 року

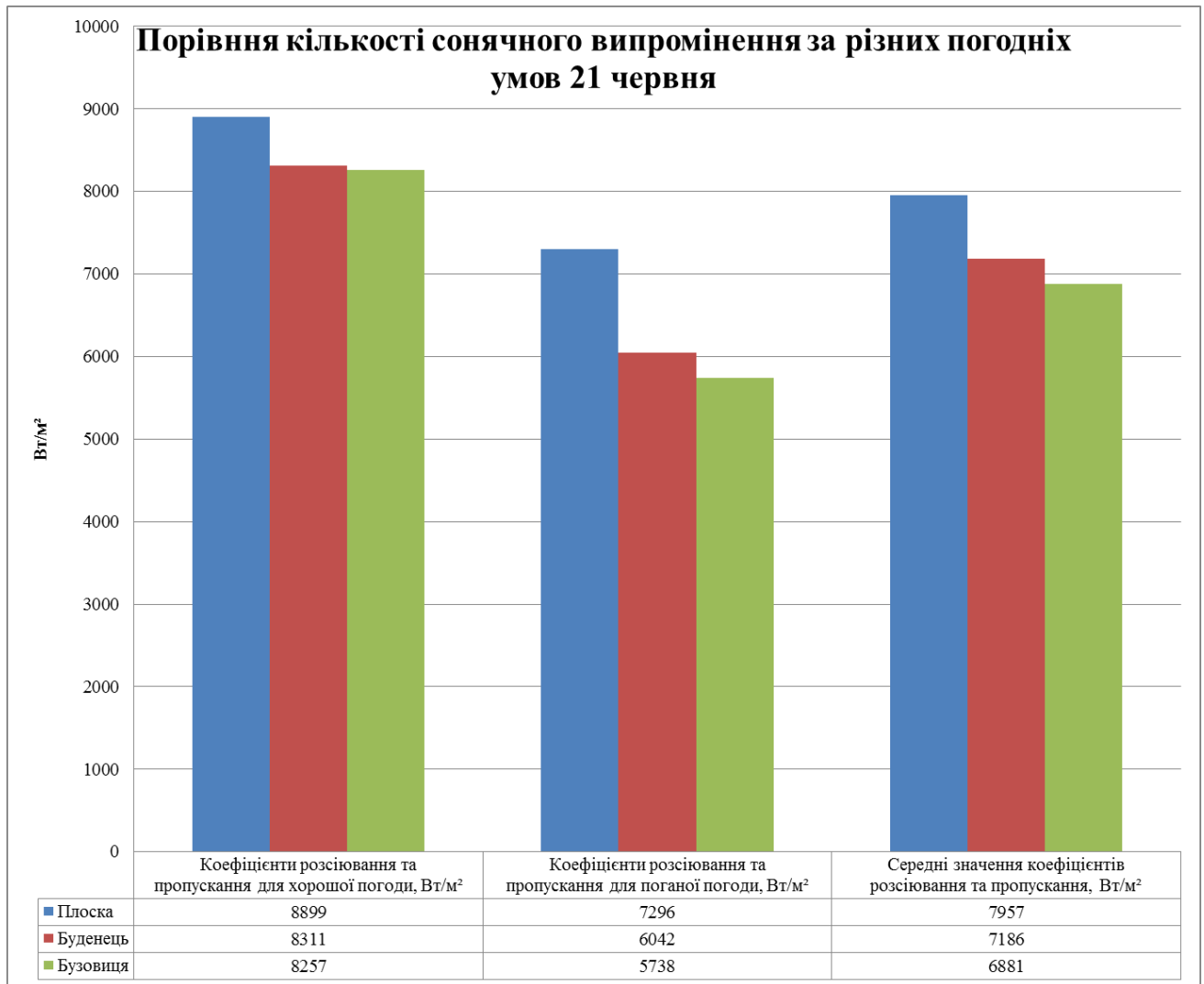


Рис. 3.3.2. Гістограма кількості сонячного випромінювання 21 червня

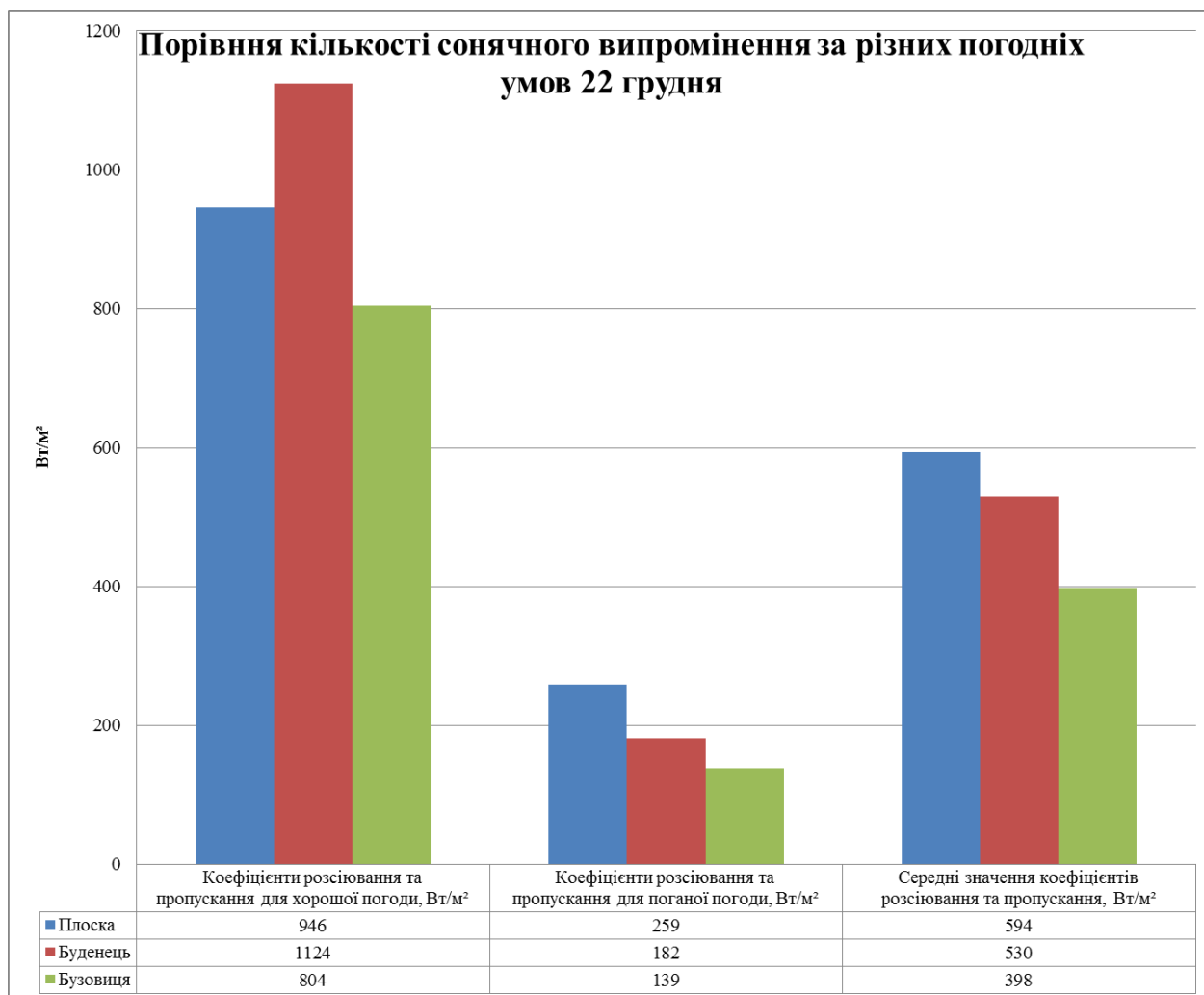


Рис. 3.3.2. Гістограма кількості сонячного випромінення 22 грудня

Висновки до 3 розділу

В результаті дослідження та вивчення особливостей використання засобів ГІС, а саме інструментів сонячного аналізу випромінювання в додатковому модулі ArcGIS Spatial Analyst, ми враховували особливості їхнього використання. Обчислення сонячного випромінювання могло зайняти значний проміжок часу, для великої ЦМР – до декількох годин, але після того як ми обмежили території, обчислення було здійснене за лічені хвилини.

Під час дослідження ми здійснювали геоінформаційне моделювання сонячного випромінювання для територій трьох сільських рад: Плоска, Буденець та Бузовиця. В результаті ми отримали ряд растрових зображень сонячного випромінювання. Ми визначили кількість сонячного випромінювання для визначених проміжків часу, а саме:

- a) впродовж світлового дня 21 червня;
- b) впродовж світлового дня 22 грудня;
- c) впродовж 2020 року.

Для подальшого порівняння були створені гістограми з накопиченням, що дало змогу наочно порівняти отримані результати. Було створено 3 гістограми для кожного з проміжків часу.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Використання ВДЕ на сучасному етапі економічного розвитку України є недостатнім і не відповідає загальноєвропейському рівню. Проте поступово держава робить кроки у законодавчій та нормативно-правовій базі, що зробило поштовх для подальшого розвитку відновлюваної енергетики в Україні.

Основним завданням геоінформаційного моделювання для потреб ВДЕ є забезпечення просторово-координованої інформації про ресурсний потенціал, умови та фактори, стан і перспективи розвитку даної галузі, що реалізується шляхом розробки картографічних творів різного роду, різного територіального охоплення та функціонального призначення.

Проблема з розвитку ВДЕ регіону та включення відповідних ресурсів є доволі складною за кількістю етапів та завдань, які потрібні для ефективного впровадження. Відтак, навіть існування досить великої кількості методів не вичерпує актуальність та перспективи для даної задачі. Досягнення ефективного використання ВДЕ повинно передбачати, як аналіз всіх альтернатив використання доступних доступних ресурсів, так і врахування прямої та опосередкованої вигоди, для досягнення максимального рівня енергетичного самозабезпечення в регіоні.

Використання ВДЕ є одним з найважливіших напрямів енергетичної політики України, що сприятиме збереженню традиційних енергетичних ресурсів та поліпшенню стану навколишнього середовища. Збільшення використання ВДЕ в енергетичному балансі України підвищить рівень диверсифікації джерел енергії буде сприяти посиленню енергетичної незалежності держави. Застосування ГІС при розробці проектів аналізу потенціалу ВДЕ значно спрощує прийняття рішень при енергетичному менеджменті.

Картографічне забезпечення ВДЕ є комплексом заходів зі створення картографічних творів, що відображають інформацію про умови, фактори та ресурси, стан і перспективи розвитку альтернативної енергетики, охоплюючи різні територіальні одиниці для забезпечення планування розвитку даної галузі.

Використання методики представленої у вигляді модулю інструтів Spatial Analyst ПЗ ArcGIS дозволяє діагностувати об'єкти та області дослідження, створюючи графічні представлення видимого неба, положення сонця на небі за певний період часу, а також секторів неба, які впливають на кількість поступаючого сонячного випромінювання. Використовуючи їх для аналізу, можна обчислити сумарну кількість сонячного випромінювання для конкретного місця розташування чи території.

Дані інструменти дозволяють легко картографувати і аналізувати наслідки сонячного випромінювання над географічною областю для конкретних періодів часу. Це враховує атмосферний вплив, широту і висоту, крутизну і експозицію, добові та сезонні зрушення кута до сонця і ефекти тіней навколишньої топографіїю

В результаті дослідження та вивчення особливостей використання засобів ГІС, а саме інструментів сонячного аналізу випромінювання в додатковому модулі ArcGIS Spatial Analyst, ми враховували особливості їхнього використання. Обчислення сонячного випромінювання могло зайняти значний проміжок часу, для великої ЦМР – до декількох годин, але після того як ми обмежили території, обчислення було здійснене за лічені хвилини.

Під час дослідження ми здійснювали геоінформаційне моделювання сонячного випромінювання для територій трьох сільських рад: Плоска, Буденець та Бузовиця. В результаті ми отримали ряд растрових зображень сонячного випромінювання. Ми визначили кількість сонячного випромінювання для визначених проміжків часу, а саме:

- d) впродовж світлового дня 21 червня;
- e) впродовж світлового дня 22 грудня;
- f) впродовж 2020 року.

Для подальшого порівняння були створені гістограми з накопиченням, що дало змогу наочно порівняти отримані результати. Було створено 3 гістограми для кожного з проміжків часу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. Підручник. Київ: Національний технічний університет України («КПІ»), 2012. 495 с.
2. Даффи У. Дж., Бекман У. А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. Под ред. Ю. Н. Малевского. М., 1977.
3. Агапова О. Концепція картографічного забезпечення альтернативної енергетики. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. Харків. 2016. Вип. 26. С. 3-7.
4. Геоінформаційне картографування в Україні: концептуальні основи і напрями розвитку Л.Г. Руденко, Т.І. Козаченко, Д.О. Ляшенко та ін. К.: Наук. думка, 2011. 104 с.
5. Пархоменко Г.О. Нова концепція атласного еколого-географічного картографування Г.О. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2009. Вип. 10. С. 157–164.
6. Пересадько В.А. Картографічне забезпечення екологічних досліджень і охорони природи: монограф. Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2009. 215 с.
7. Руденко Л.Г. Концепція створення Атласу природних, техногенних, соціальних небезпек і ризиків виникнення надзвичайних ситуацій в Україні. Л.Г. Руденко, О.Л. Дронова, Д.О. Ляшенко, В.В. Путренко, В.С. Чабанюк. К.: Ін-т географії НАН України, 2010. 48 с.
8. Руденко Л.Г. Національний атлас України. Концепція та шляхи її реалізації. Л.Г. Руденко, А.І. Бочковська, Т.І. Козаченко, Г.О. Пархоменко, В.П. Разов. К.: ІГ НАНУ, 2001. 45 с.
9. Тимків М. М. Аналіз відновлюваних джерел енергії на території Івано-Франківської області з використанням геоінформаційних систем. М. М. Тимків, Д. В. Касіячук. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2017. № 2. С. 153-159.
10. Гелетуша Г., Железна Т. Аналіз енергетичних стратегій країн ЄС та світу і ролі в них відновлювальних джерел енергії [Електронний ресурс] : Режим доступу

<http://greenergy.com.ua/info-data/analiz-energetichnih-strategij-krayin-es-ta-svitu-i-roliv-nih-vidnovlyuval-nih-dzherel-energiyi/>

11. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. Київ: ТОВ «Віол Принт», 2008. 55 с.

12. Рекомендации по проектированию установок солнечного горячего водоснабжения для жилых и общественных зданий. Киев: Киев ЗНИИЭП, 1987. 119 с.

13. Вибір потужності сонячних батарей та кута нахилу панелей. СТЕМ. Інтелектуальні системи. [Електронний ресурс] : Режим доступу : <http://sutem.com.ua/932alten.php>.

14. Кидрук М. И. Расчет потока солнечной радиации. М.И. Кидрук. 2016. URL : <http://progress21.com.ua/ru/news/energoberegayushchie-tehnologii-v-ukraine/item/330-raschet-potoka-solnechnoj-radiatsii>

15. Зацерковний В. І.,. Геоінформаційне моделювання в задачах відновлювальної енергетики. В. І. Зацерковний, Н. В. Оберемок, А. А. Пузик. *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Серія : Нові рішення в сучасних технологіях.* 2018. №. 9. С. 118-127.

16. Про альтернативні джерела енергії : Закон України, 555 – IV, 23.12.03 р. (в редакції від 16.10.20 р.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15> (дата звернення 26.11.2020).

17. Про енергозбереження : Закон України, 74/94-Вр, 01.07.94 р. (в редакції від 16.10.20 р.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-вр/ed20201016> (дата звернення 26.11.2020).

18. Про загальнодержавний позабюджетний фонд енергозбереження : Постанова КМУ, № 163, 07.02.96 р. (в редакції від 16.03.2000 р.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/163-96-п> (дата звернення 26.11.2020).

19. Understanding solar radiation analysis [Електронний ресурс] : Режим доступу : <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/understanding-solar-radiation-analysis.htm>

20. Modeling solar radiation [Електронний ресурс] : Режим доступу : <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/modeling-solar-radiation.htm>

21. Fu, P. A Geometric Solar Radiation Model with Applications in Landscape Ecology. Ph.D. Thesis, Department of Geography, University of Kansas, Lawrence, Kansas, USA. 2000.

22. Fu, P., P. M. Rich. The Solar Analyst 1.0 Manual. Helios Environmental Modeling Institute (HEMI), USA. 2000.

23. Fu, P., P. M. Rich. "A Geometric Solar Radiation Model with Applications in Agriculture and Forestry." Computers and Electronics in Agriculture 2002. 37:25–35 p.

24. Rich, P. M., R. Dubayah, W. A. Hetrick, S. C. Saving. "Using Viewshed Models to Calculate Intercepted Solar Radiation: Applications in Ecology. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers. 1994. 524–529 p.

25. Rich, P. M., P. Fu. "Topoclimatic Habitat Models." Proceedings of the Fourth International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling. 2000.

26. Тимків М. М., Касіянчук Д. В. *Аналіз відновлюваних джерел енергії на території Івано-Франківської області з використанням геоінформаційних систем. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування.* 2017. № 2. С. 153-159.

27. Касіянчук Д. В. *Геоінформаційний аналіз потенціалу вітрової енергії території Івано-Франківської області.* IV Міжнародна науково-практична конференція "Екологія і природокористування в системі оптимізації відносин природи і суспільства", 27-28 квітня 2017 р. м. Тернопіль, 2017. С. 50-52.