

Підкатегорія. Кліматичні дані в QGIS та ArcGIS

Дмитро Дядін, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова

Про ресурс

Цей навчальний ресурс містить практичні рекомендації щодо використання QGIS та ArcGIS для візуалізації, оброблення, аналізу й картографування кліматичних даних. Він призначений для студентів, аспірантів, викладачів, дослідників і фахівців, які працюють із метеорологічними спостереженнями, даними реаналізу та кліматичними проєкціями. Матеріал охоплює основні формати кліматичних даних, просторову роздільну здатність, багатовимірні файли NetCDF, установлення та інтерфейс QGIS, відкриття й візуалізацію даних, обрізання растрів і виконання математичних операцій.

Приклади переважно наведено для QGIS, оскільки це безкоштовна геоінформаційна система з відкритим вихідним кодом. В ArcGIS Pro доступні аналогічні інструменти, хоча їхні назви та розташування в інтерфейсі можуть відрізнятися.

Підкатегорії для категорії

1. Ключові особливості кліматичних даних
2. Основні формати кліматичних даних
3. Просторова роздільна здатність
4. Багатовимірні дані NetCDF
5. Установлення та використання QGIS
6. Інтерфейс QGIS
7. Відкриття кліматичних даних у QGIS та ArcGIS
8. Візуалізація кліматичних даних
9. Обрізання кліматичних растрів
10. Математичні операції з растрами
11. Додаткові матеріали для вивчення теми

1. Ключові особливості кліматичних даних

Кліматичні дані мають низку специфічних особливостей, які суттєво відрізняють їх від більшості інших просторових даних, що використовуються в геоінформаційних системах. Насамперед вони є безперервними як у просторі, так і в часі, тобто кожна точка території характеризується певними кліматичними параметрами, які постійно змінюються. Аналіз може виконуватися на різних просторових рівнях – від глобального й континентального до регіонального та локального, а також для різних часових масштабів: від погодинних і добових спостережень до місячних, сезонних, багаторічних і кліматичних норм.

Кліматична інформація характеризується значним різноманіттям показників. Хоча базових метеорологічних змінних існує відносно небагато (температура повітря, атмосферні опади, вітер, вологість, атмосферний тиск, сонячна радіація тощо), саме на їх основі розраховуються сотні похідних кліматичних індикаторів. До них належать, зокрема, кількість спекотних або морозних днів, тривалість посушливих періодів, суми ефективних температур, індекси пожежної небезпеки, показники екстремальних опадів, посух та багато інших. Саме похідні індикатори найчастіше використовуються для оцінювання кліматичних ризиків, вразливості територій та планування адаптаційних заходів.

Важливою особливістю є також різноманіття джерел кліматичних даних. У практиці ГІС використовуються результати метеорологічних спостережень, дані реаналізу, які поєднують вимірювання з чисельними моделями атмосфери, а також результати кліматичного моделювання майбутніх змін. Для прогнозування клімату використовуються численні глобальні кліматичні моделі та їхні конфігурації, представлені в різних поколіннях міжнародних проєктів CMIP. Розрахунки виконуються для кількох сценаріїв майбутніх викидів парникових газів, що дає змогу оцінювати широкий спектр можливих змін клімату.

Усе це зумовлює надзвичайно великі обсяги інформації, з якими доводиться працювати. Для кожного кліматичного показника можуть одночасно існувати історичні ряди спостережень, сучасні оцінки, прогнозні дані для різних часових горизонтів, абсолютні значення показників та їх відносні зміни порівняно з базовим періодом. Поєднання великої кількості часових кроків, просторових шарів, моделей і сценаріїв призводить до формування масивів даних обсягом від десятків гігабайтів до багатьох терабайтів. Саме тому кліматичні дані обґрунтовано відносять до категорії Big Data.

Разом із тим робота з кліматичними даними потребує критичної оцінки їхньої якості. На точність результатів можуть впливати просторова роздільна здатність, неповнота рядів спостережень, невизначеність моделей, відмінності між сценаріями розвитку клімату та особливості методів оброблення інформації. Тому використання кліматичних даних у ГІС вимагає не лише володіння інструментами просторового аналізу, а й розуміння походження даних, їхніх обмежень та рівня невизначеності, що є необхідною умовою отримання надійних результатів для наукових досліджень і прийняття управлінських рішень.

2. Основні формати кліматичних даних

У геоінформаційних системах кліматичні дані переважно використовуються у форматі растрових даних (рис.1), які забезпечують просторове представлення безперервних кліматичних полів. Найпоширенішими форматами є GeoTIFF (.tif, .geotiff), GRIB (.grib) та NetCDF (.nc). Формат GeoTIFF найчастіше застосовується для окремих растрових шарів, наприклад карт середньорічної температури або кількості опадів. Формат GRIB широко використовується для оперативного обміну метеорологічними даними та чисельними прогнозами погоди, тоді як NetCDF є міжнародним стандартом для зберігання багатовимірних кліматичних і океанографічних даних.

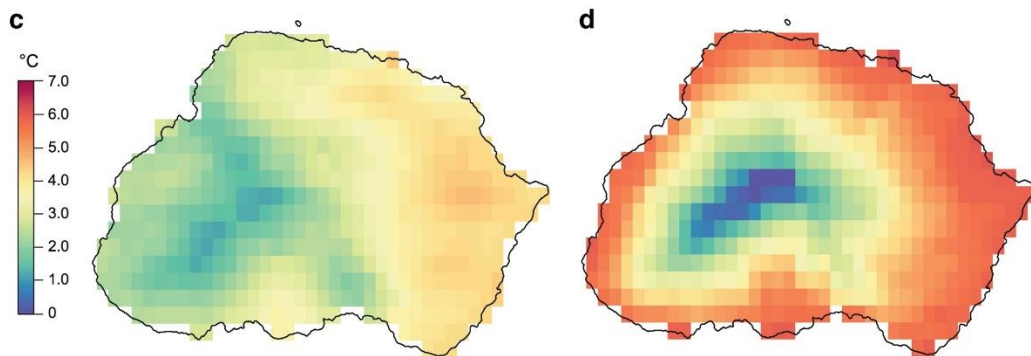
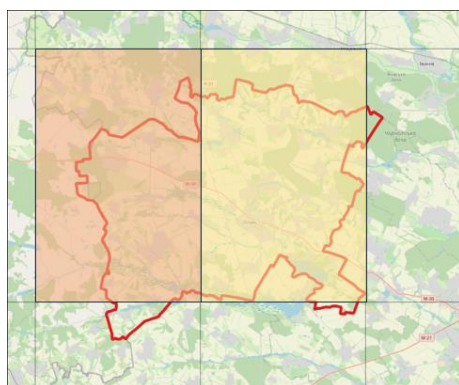


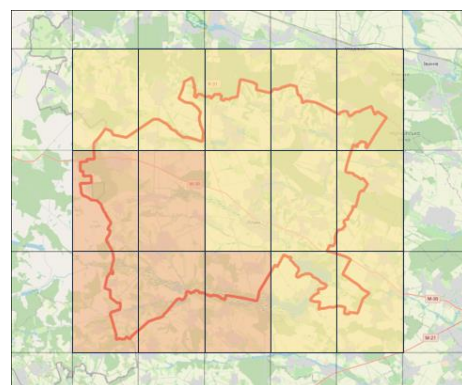
Рисунок 1 – Приклад растрових даних температури повітря
(джерело: <https://www.nature.com/articles/sdata2018177/figures/1>)

3. Просторова роздільна здатність

Просторова роздільна здатність кліматичних даних може суттєво відрізнятися залежно від джерела інформації та призначення набору даних. Для глобальних кліматичних моделей вона зазвичай становить від $2,5^\circ$ до 1° , що відповідає сотням кілометрів на місцевості. Натомість сучасні регіональні кліматичні моделі, продукти реаналізу та високодеталізовані кліматичні набори даних можуть мати роздільну здатність $0,25^\circ$, $0,11^\circ$ або навіть близько $0,1^\circ$, що дозволяє проводити оцінювання зміни клімату на рівні окремих адміністративних територій, річкових басейнів або громад (рис. 2).



0,25 x 0,25 градусів (~28 x 18 км)



0,1 x 0,1 градусів (~11 x 7 км)

Рисунок 2 – Співвідношення розмірів комірки растрів із різною просторовою роздільною здатністю на широті центральних областей України (49° Пн. ш.)

4. Багатовимірні дані NetCDF

Для роботи з великими часовими рядами найчастіше використовується формат NetCDF (Network Common Data Form), який спеціально розроблений для зберігання багатовимірних наукових даних. На відміну від звичайних растрових форматів, один файл NetCDF може одночасно містити декілька кліматичних змінних, наприклад мінімальну, середню та максимальну температуру повітря, а також додаткові виміри часу й простору. Наприклад, один файл може містити щоденні значення температури для кожної комірки регулярної сітки протягом 30 років, тобто фактично тисячі окремих растрових шарів, об'єднаних в єдину структуру даних.

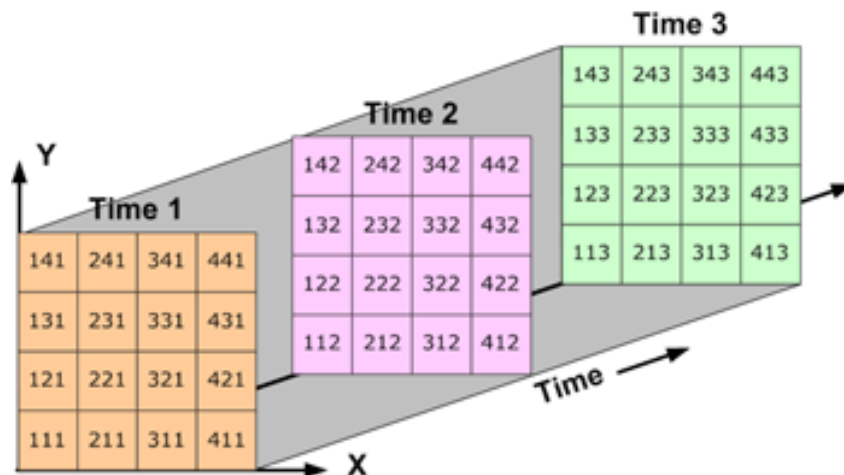


Рисунок 3 – Структура просторових даних у складі багатоканального растру NetCDF

(джерело: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/netcdf/fundamentals-of-netcdf-data-storage.htm>)

У більшості сучасних ГІС кожен часовий зріз або окрема змінна з файлу NetCDF може бути відображена як самостійний растровий шар. Це дає змогу виконувати просторовий аналіз аналогічно до роботи зі звичайними растрами. Зокрема, будь-які шари можуть використовуватися у Растровому калькуляторі для виконання математичних операцій та створення нових наборів даних. Наприклад, можна обчислити різницю між середньою температурою базового та майбутнього кліматичних періодів, визначити зміну кількості опадів, розрахувати кліматичні аномалії або сформувати інтегральні показники кліматичних загроз шляхом поєднання кількох кліматичних індикаторів. Завдяки цьому NetCDF є одним із ключових форматів для аналізу зміни клімату в сучасних геоінформаційних системах.

5. Встановлення та використання QGIS

QGIS є безкоштовною геоінформаційною системою з відкритим вихідним кодом, яка підтримує роботу на операційних системах Windows, Linux та macOS. Для встановлення програми необхідно завантажити інсталяційний пакет з офіційного сайту QGIS (<https://qgis.org/download/>) та запустити стандартний майстер встановлення. Під час установлення рекомендується використовувати актуальну версію Long Term Release (LTR), доступну на офіційному сайті QGIS, оскільки вона зазвичай забезпечує найкращу сумісність із поширеними просторовими форматами даних і додатковими модулями.

QGIS забезпечує повний цикл роботи з просторовими даними. Основними можливостями програми є завантаження та відображення векторних і растрових шарів, редагування просторових об'єктів, виконання просторового аналізу, обробка даних за допомогою інструментів геоопрацювання, створення тематичних карт та їх підготовка до друку. Програма підтримує широкий спектр форматів геоданих, зокрема Shapefile, GeoPackage, GeoTIFF, NetCDF, GRIB, CSV, GeoJSON та багато інших. Крім того, QGIS інтегрується з мовою програмування Python, що дозволяє автоматизувати оброблення великих обсягів геопросторової інформації.

Для надійності роботи та зручності користування довідковими ресурсами ми рекомендуємо установити інтерфейс QGIS англійською мовою: Settings – Options – General – User interface translation. За замовчуванням, мова інтерфейсу QGIS після інсталяції відповідає мові інтерфейсу операційної системи.

6. Інтерфейс QGIS

Інтерфейс QGIS складається з кількох основних компонентів (рис. 4). Центральну частину займає полотно карти (Map Canvas), на якому відображаються просторові дані. Ліворуч розташована панель шарів (Layers Panel), де керують порядком відображення, видимістю та властивостями шарів.

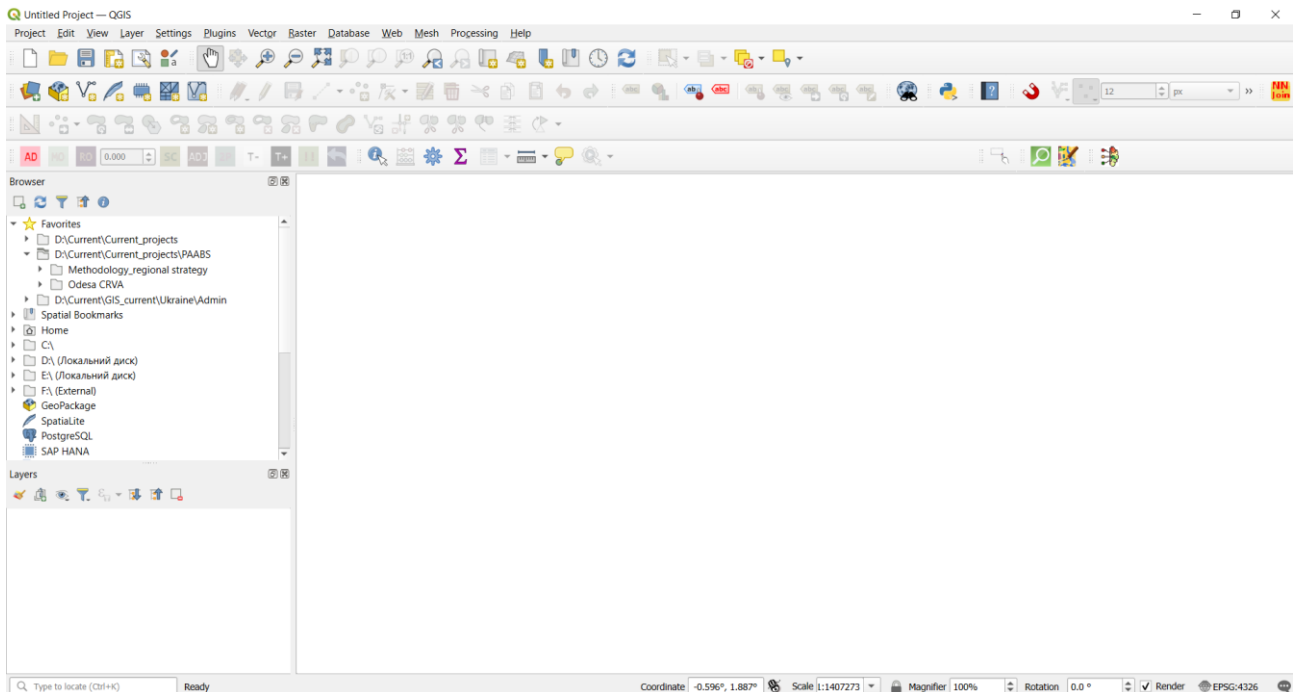


Рисунок 4 – Інтерфейс настільної версії QGIS

У верхній частині знаходяться рядок меню та панелі інструментів, що забезпечують доступ до основних функцій програми. У правій або нижній частині можуть відкриватися додаткові панелі, зокрема панель обробки (Processing Toolbox), панель браузеру (Browser Panel) та панель стилізації шарів (Layer Styling Panel). У нижній частині вікна розташовано рядок стану, який відображає координати курсора, масштаб карти, систему координат проекту та іншу службову інформацію. Така структура інтерфейсу забезпечує зручну організацію роботи як із простими картографічними проектами, так і зі складними задачами просторового аналізу кліматичних даних.

7. Відкриття кліматичних даних у QGIS та ArcGIS

Просторові кліматичні дані завантажуються до ГІС аналогічно до інших растрових наборів даних, однак особливості процедури залежать від формату файлу. Растри у форматах GeoTIFF (.tif) та GRIB (.grib) відкриваються безпосередньо як звичайні растрові шари за допомогою інструментів додавання растрових даних у настільних версіях QGIS або ArcGIS. Після завантаження вони можуть бути візуалізовані, стилізовані, проаналізовані та використані в інструментах просторового аналізу нарівні з будь-якими іншими растровими даними.

Файли NetCDF (.nc), які містять багатовимірні часові ряди або декілька кліматичних змінних, відкриваються через спеціальні інструменти підтримки багатовимірних даних. Після завантаження користувач може обрати необхідну кліматичну змінну (наприклад, температуру чи опади), часовий інтервал або конкретний часовий зріз, який відображається як окремий растровий шар. У сучасних версіях QGIS і ArcGIS Pro також підтримується безпосередня робота з багатовимірними растрами, що дозволяє переглядати часові ряди, виконувати їхню агрегацію, обчислювати статистичні характеристики та здійснювати растрові обчислення без попереднього експорту окремих шарів. Це

значно спрощує аналіз великих масивів кліматичних даних і підвищує ефективність роботи з прогнозними кліматичними сценаріями.

8. Візуалізація кліматичних даних у QGIS та ArcGIS

Після завантаження кліматичних растрових даних до QGIS або ArcGIS доцільно насамперед налаштувати спосіб їх візуалізації відповідно до типу показника. Для безперервних кліматичних величин, таких як температура, кількість опадів або швидкість вітру, рекомендується використовувати безперервні градієнтні кольорові шкали, які забезпечують плавне відображення зміни значень у просторі. Для дискретних або класифікованих показників (наприклад, класи кліматичної небезпеки чи вразливості) доцільніше застосовувати ступінчасті кольорові палітри з чітко визначеними межами класів (рис. 5).

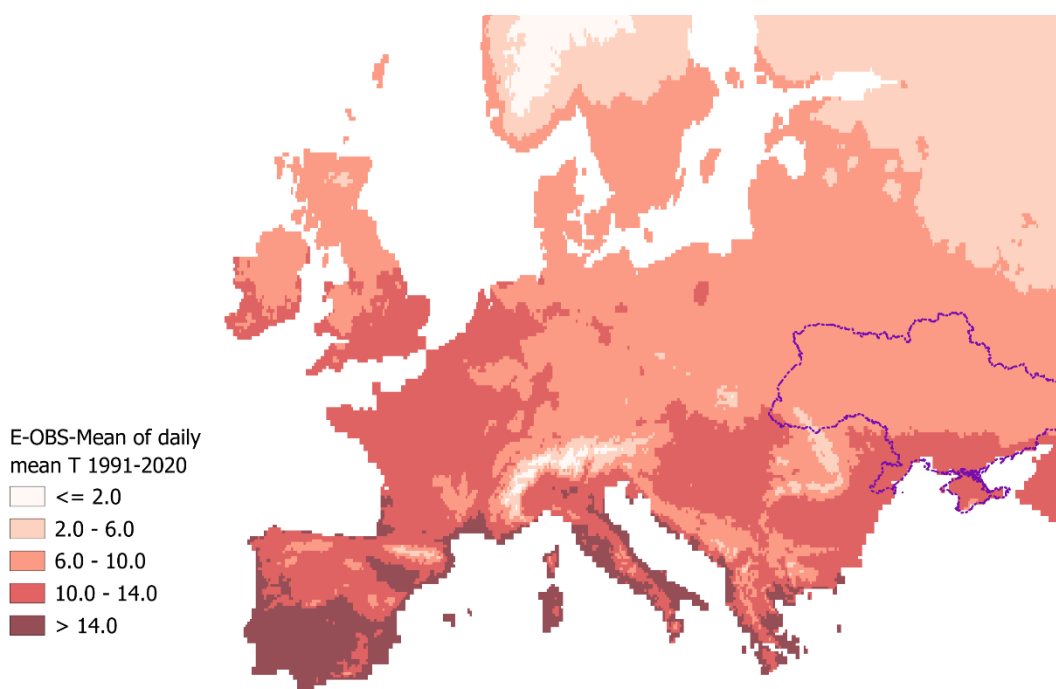


Рисунок 5 – Приклад візуалізації кліматичних даних з розбивкою на категорії значень (джерело даних: <https://cds.climate.copernicus.eu/>)

НАЛЕЖНА ПРАКТИКА. Під час порівняння карт для різних періодів, моделей або сценаріїв використовуйте однакові межі кольорової шкали. Це забезпечує коректне візуальне порівняння результатів.

Особливу увагу слід приділяти вибору діапазону значень для відображення. Автоматичне масштабування, яке виконує ГІС під час завантаження шару, не завжди є оптимальним, особливо якщо необхідно порівнювати декілька карт різних періодів або кліматичних сценаріїв. У таких випадках рекомендується вручну задавати однакові мінімальні та максимальні значення шкали кольорів для всіх карт, що забезпечує їхню коректну візуальну інтерпретацію.

Для карт, які відображають величину змін відносно базового періоду (наприклад, зміну температури або опадів), доцільно використовувати дивергентні кольорові шкали, у яких центральне значення (зазвичай нуль) позначає відсутність змін, а збільшення та зменшення показника відображаються контрастними кольорами. Такий підхід значно полегшує аналіз просторових закономірностей кліматичних змін.

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ДАНИХ. Для кожної карти зазначайте джерело даних, часовий період, просторову роздільну здатність, модель, сценарій, змінну та одиниці вимірювання.

Під час створення картографічних матеріалів також рекомендується додавати легенду із зазначенням одиниць вимірювання, інформацію про джерело кліматичних даних, просторову роздільну здатність, часовий період, кліматичну модель та сценарій, за якими виконано розрахунки. Це забезпечує коректне трактування результатів та підвищує їхню відтворюваність у наукових дослідженнях і практичній діяльності.

9. Обрізання растрів кліматичних даних

Під час аналізу кліматичних даних часто виникає потреба обмежити їх територією дослідження, наприклад адміністративною областю, територіальною громадою, річковим басейном або природоохоронною територією. Для цього в QGIS та ArcGIS застосовується процедура обрізання (маскування) растру за полігональним контуром (Clip Raster by Mask Layer у QGIS або Extract by Mask в ArcGIS). У результаті зберігається лише та частина растру, що розташована в межах заданого полігона, тоді як значення за його межами замінюються на NoData або повністю вилучаються з нового файлу (рис. 6).

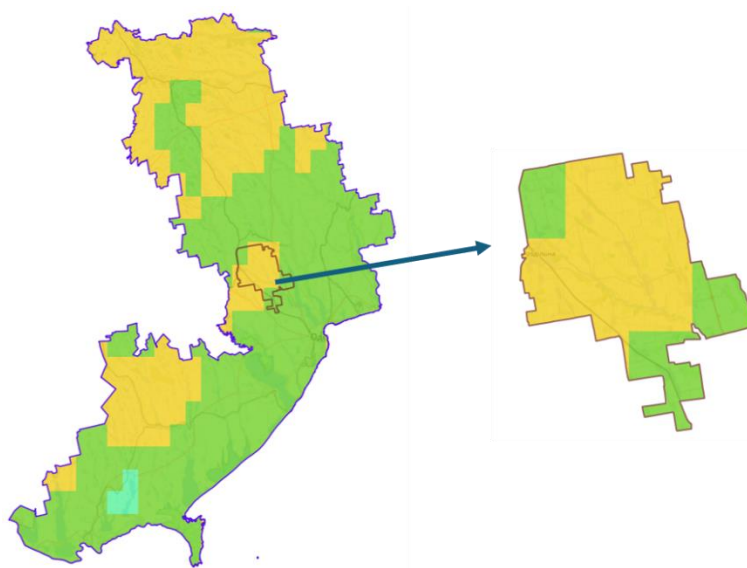


Рисунок 6 – Приклад обрізання растру кліматичних даних за контуром громади

ВАЖЛИВО. Перед обрізанням перевірте, чи растрові та векторні шари мають однакову систему координат. Розбіжність систем координат може спричинити неправильне суміщення шарів або зміщення результатів.

Перед виконанням обрізання необхідно переконатися, що растрові та векторні дані використовують одну й ту саму систему координат. Якщо системи координат відрізняються, векторний контур або растр слід попередньо перепроєктувати, інакше можливе некоректне суміщення шарів або зміщення результатів. Також рекомендується перевірити коректність геометрії полігонів, особливо якщо вони були створені шляхом об'єднання або редагування меж.

Обрізання дозволяє істотно зменшити обсяг даних, прискорити подальші обчислення та зосередити аналіз виключно на території дослідження. Це особливо важливо під час роботи з високодеталізованими кліматичними растрами або багатовимірними файлами NetCDF, які можуть містити значні обсяги інформації. Для часових рядів обрізання зазвичай виконується один раз після вибору потрібної змінної або часового зрізу, після чого всі подальші операції здійснюються вже з растрами, обмеженими межами досліджуваної території.

Під час аналізу адміністративних одиниць або річкових басейнів обрізання є одним із перших етапів підготовки даних перед розрахунком середніх значень, просторової статистики, інтегральних

кліматичних індикаторів чи побудовою тематичних карт. Використання єдиного полігонального контуру для всіх кліматичних показників забезпечує просторову узгодженість результатів і підвищує коректність їхнього подальшого порівняння між різними кліматичними сценаріями та часовими періодами.

10. Математичні операції з растрами

Однією з найважливіших операцій під час аналізу кліматичних даних у QGIS та ArcGIS є використання калькулятора растрів (Raster Calculator) для виконання математичних операцій між растровими шарами. Найчастіше цей інструмент застосовується для визначення величини кліматичних змін шляхом порівняння прогнозованих значень із базовим кліматичним періодом. Наприклад, різниця між середньорічною температурою за період 2021–2040 рр. та середнім значенням за 1991–2020 рр. обчислюється простим відніманням відповідних растрів. Отриманий результат є новим растровим шаром, у якому кожна комірка містить величину прогнозованої зміни температури для конкретної території (рис. 7).

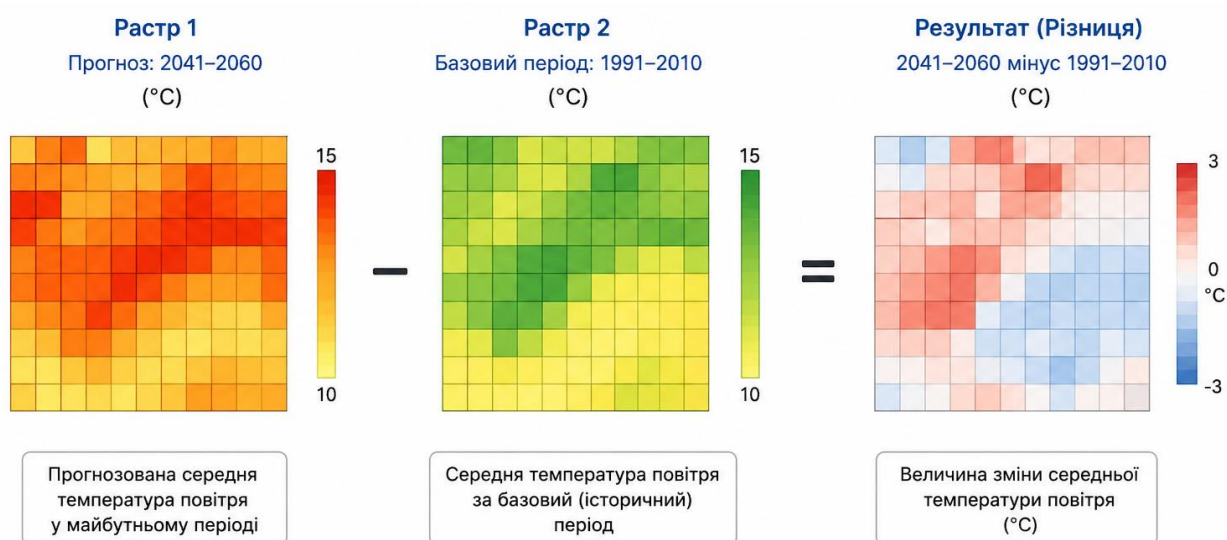


Рисунок 7 – Принцип дії калькулятора растрів

Аналогічний підхід використовується для аналізу інших кліматичних показників, зокрема кількості опадів, швидкості вітру, тривалості посушливих періодів, кількості спекотних або морозних днів. Залежно від характеру показника можуть розраховуватися як абсолютні зміни (наприклад, °C, мм або кількість днів), так і відносні зміни у відсотках, що дозволяє коректно порівнювати показники, які мають різні одиниці вимірювання або суттєво відрізняються за абсолютними величинами.

Можливості калькулятора растрів значно ширші, ніж виконання простого додавання або віднімання. Він підтримує складні математичні вирази, логічні операції, умовні функції та аналіз декількох растрових шарів одночасно. Наприклад, можна обчислювати середнє значення кількох кліматичних моделей для отримання ансамблевого прогнозу, визначати відношення фактичних опадів до потенційної евапотранспірації як показник зволоження території, розраховувати добуток кліматичних індикаторів на вагові коефіцієнти під час побудови інтегральних індексів кліматичних загроз або вразливості, а також застосовувати умовні оператори для класифікації значень за заданими порогоми. Наприклад, можна автоматично присвоїти коміркам різні бали залежно від того, чи перевищує прогнозована кількість спекотних днів певне порогове значення.

Калькулятор растрів також широко використовується для створення інтегральних карт шляхом поєднання декількох кліматичних індикаторів. Так, окремі показники можуть бути попередньо нормалізовані або перекласифіковані, після чого об'єднані за допомогою вагових коефіцієнтів у єдиний

індекс кліматичної небезпеки, експозиції, чутливості чи вразливості. Завдяки цьому інструмент є одним із базових засобів просторового аналізу кліматичних даних у сучасних геоінформаційних системах і широко застосовується як у наукових дослідженнях, так і під час підготовки регіональних оцінок зміни клімату та розроблення стратегій адаптації.

11. Додаткові матеріали для вивчення теми

1. A Gentle Introduction to GIS: https://docs.qgis.org/latest/en/docs/gentle_gis_introduction/index.html
2. QGIS Training Manual: https://docs.qgis.org/latest/en/docs/training_manual/index.html
3. QGIS tutorials and tips: <https://www.qgistutorials.com/en/>
4. Video tutorials: <https://jaiindimple.github.io/posts/qgis-playlist/>