



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

ClimEd Project “Multilevel Local, Nation-
and Regionwide Education and Training in Climate
Services, Climate Change Adaptation and Mitigation”



Кліматичні растрові дані

Дмитро Дядін

dmytro.diadin@kname.edu.ua

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

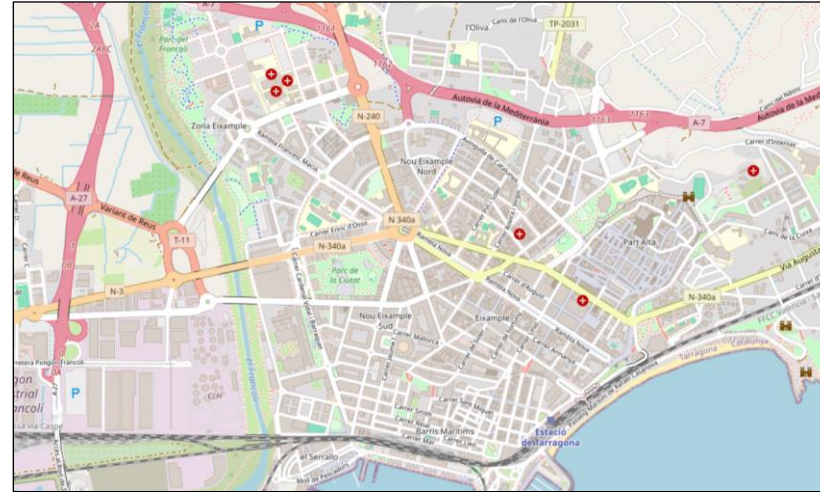
Семінар «Стандартизація навчальних курсів, цифрові інструменти та взаємна експертиза»

10-14 листопада 2025 року

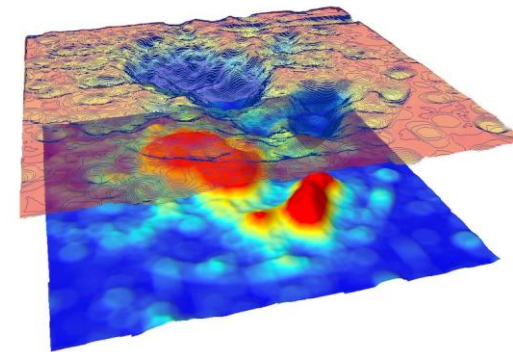
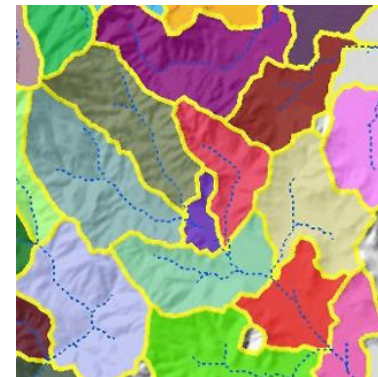
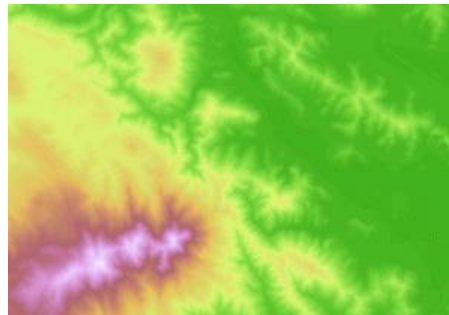
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, м. Одеса

Для чого ми застосовуємо геоінформаційні системи (ГІС)?

Симуляція та візуалізація
реального світу –
картографування



Геопросторовий
аналіз і моделювання



Компоненти ГІС



Користувач



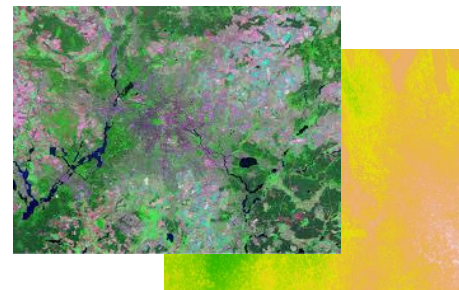
Обладнання



Програмне
забезпечення

State	ID	Sampling	Season	Sampling	Object	Time	Lat	Long	Altitude	Area
USA	1001	High	Spring	2014	1001	2014-03-15	39.8283	-98.5795	1000	1000
USA	1002	High	Spring	2014	1002	2014-03-15	39.8283	-98.5795	1000	1000
USA	1003	High	Spring	2014	1003	2014-03-15	39.8283	-98.5795	1000	1000
USA	1004	High	Spring	2014	1004	2014-03-15	39.8283	-98.5795	1000	1000
USA	1005	High	Spring	2014	1005	2014-03-15	39.8283	-98.5795	1000	1000
USA	1006	High	Spring	2014	1006	2014-03-15	39.8283	-98.5795	1000	1000
USA	1007	High	Spring	2014	1007	2014-03-15	39.8283	-98.5795	1000	1000
USA	1008	High	Spring	2014	1008	2014-03-15	39.8283	-98.5795	1000	1000
USA	1009	High	Spring	2014	1009	2014-03-15	39.8283	-98.5795	1000	1000
USA	1010	High	Spring	2014	1010	2014-03-15	39.8283	-98.5795	1000	1000

Векторні дані
в базах геоданих
.shp .gpkg .geojson .gdb



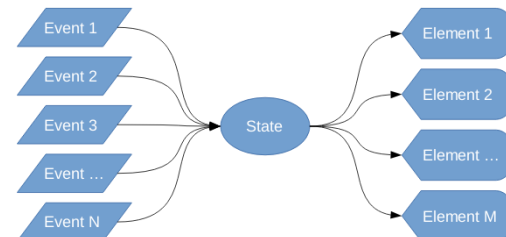
Растрові дані
.jpg .tiff .ecw .hgt .netCDF



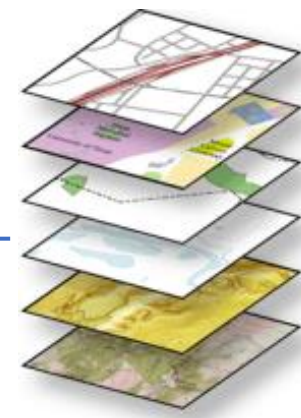
Дані



API-сервіси
WMS WFS



Алгоритми, методи
та інструменти
опрацювання даних



ГІС

Програмне забезпечення ГІС

Настільні ГІС-програми

ArcGIS  esri



ArcGIS Pro

<https://www.esri.com/en-us/home>



QGIS

<https://qgis.org/download/>

Web-застосунки ГІС

ArcGIS  esri



ArcGIS Online

<https://www.arcgis.com/index.html>

ArcGIS  esri



ArcGIS Earth

<https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-earth/overview>

Google Earth Pro 

<https://www.google.com/earth/about/>

OpenStreetMap 

<https://www.openstreetmap.org>

Просторові дані в ГІС

Просторові дані (геодані)

Дискретні

(мають певну геометрію –
кінцеві межі, розміри)



джерело (криниця), дорога,
річка, ліс, водойма,
населений пункт...

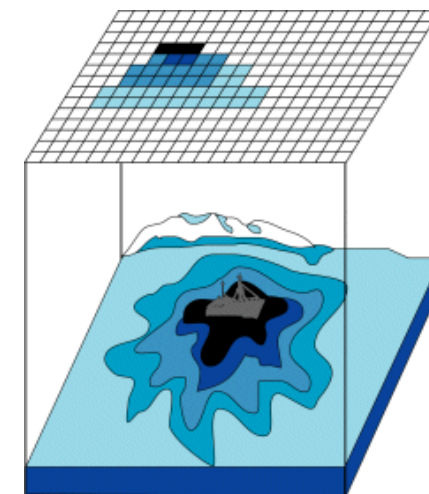
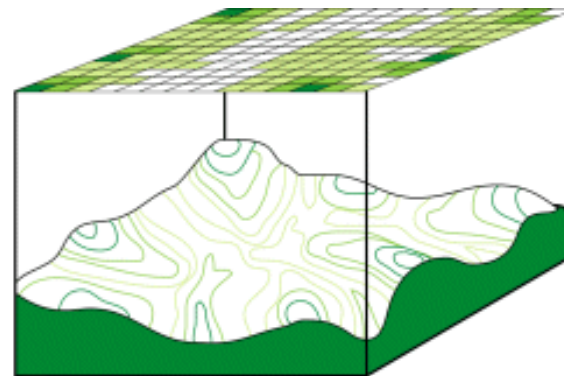


Неперервні

(зображують поверхні, явища)



поверхня рельєфу, концентрація
забрудників, температура повітря,
інтенсивність шуму

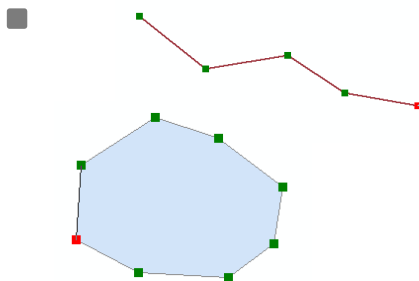


Просторові дані в ГІС

Просторові дані (геодані)

Векторні

↓
точки,
лінії,
полігони



Растрові

↓
набір
елементарних
комірок (пікселів)

12	8	44	1
7	2	32	56
3	17	28	14
32	56	8	12

Кліматичні дані в ГІС



У чому особливість кліматичних даних?

- Неперервні у часі та просторі
- Масштаби від глобальних до локальних
- Різноманіття кліматичних показників
- Більшість показників є похідними від інших показників

**Кліматичні дані = Великі дані
(Big data)**

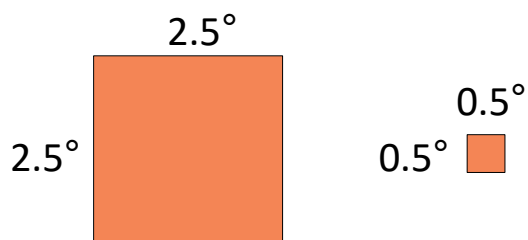
Масивність і багатовимірність даних:

- історичні, прогнозні, розрахунки зміни значень
- погодинні / добові / місячні / річні у часовому розрізі
- різні джерела даних – спостереження, ре-аналіз, моделювання
- до 10 базових кліматичних показників і велика кількість похідних від них
- 120+ кліматичних моделей
- до 5 сценаріїв викидів парникових газів
- є питання достовірності та повноти даних

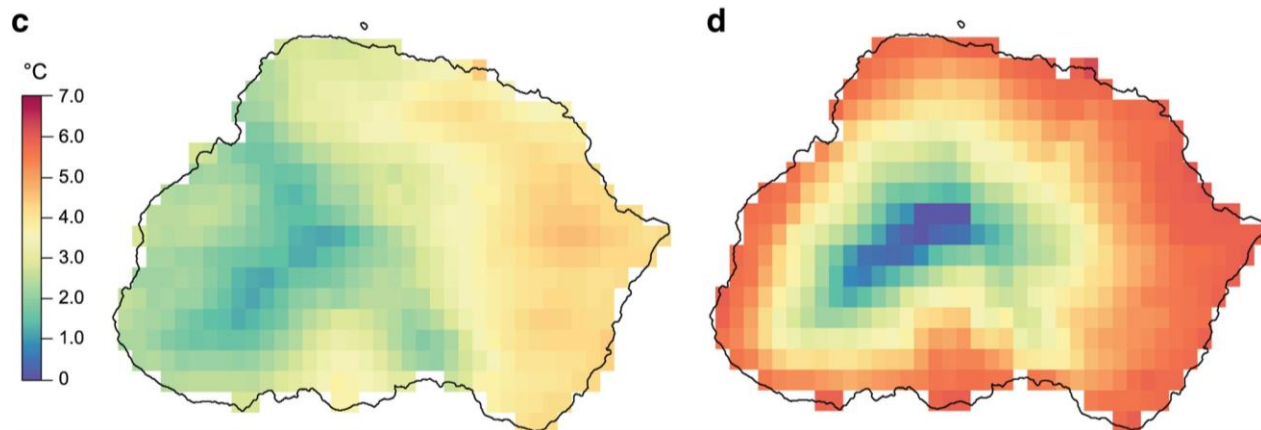
Растрові кліматичні дані

В ГІС кліматичні дані зберігаються як **растрові дані** (.geotiff, .grib) – рівномірна сітка з елементарних комірок (пікселів), кожній з яких присвоєно значення величини (змінної).

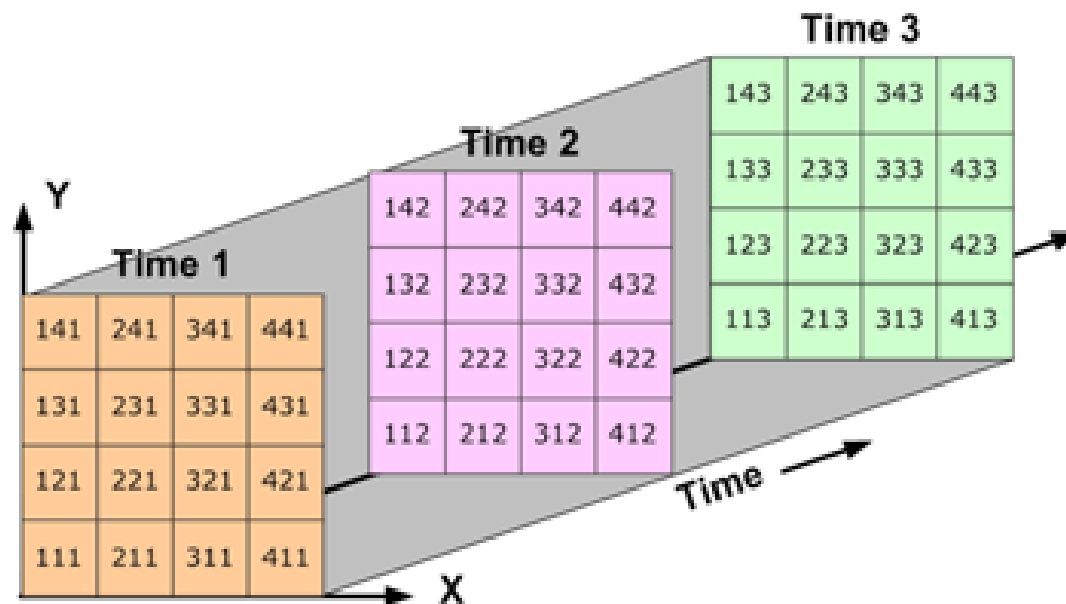
Просторова роздільна здатність – розміри однієї комірки сітки. Варіює від 2.5 (низька) до 0.1 географічних градусів (висока).



Для зберігання великих масивів кліматичних даних використовують багатовимірні (багатоканальні) растри **NetCDF** (Network Common Data Form)



<https://www.nature.com/articles/sdata2018177/figures/1>



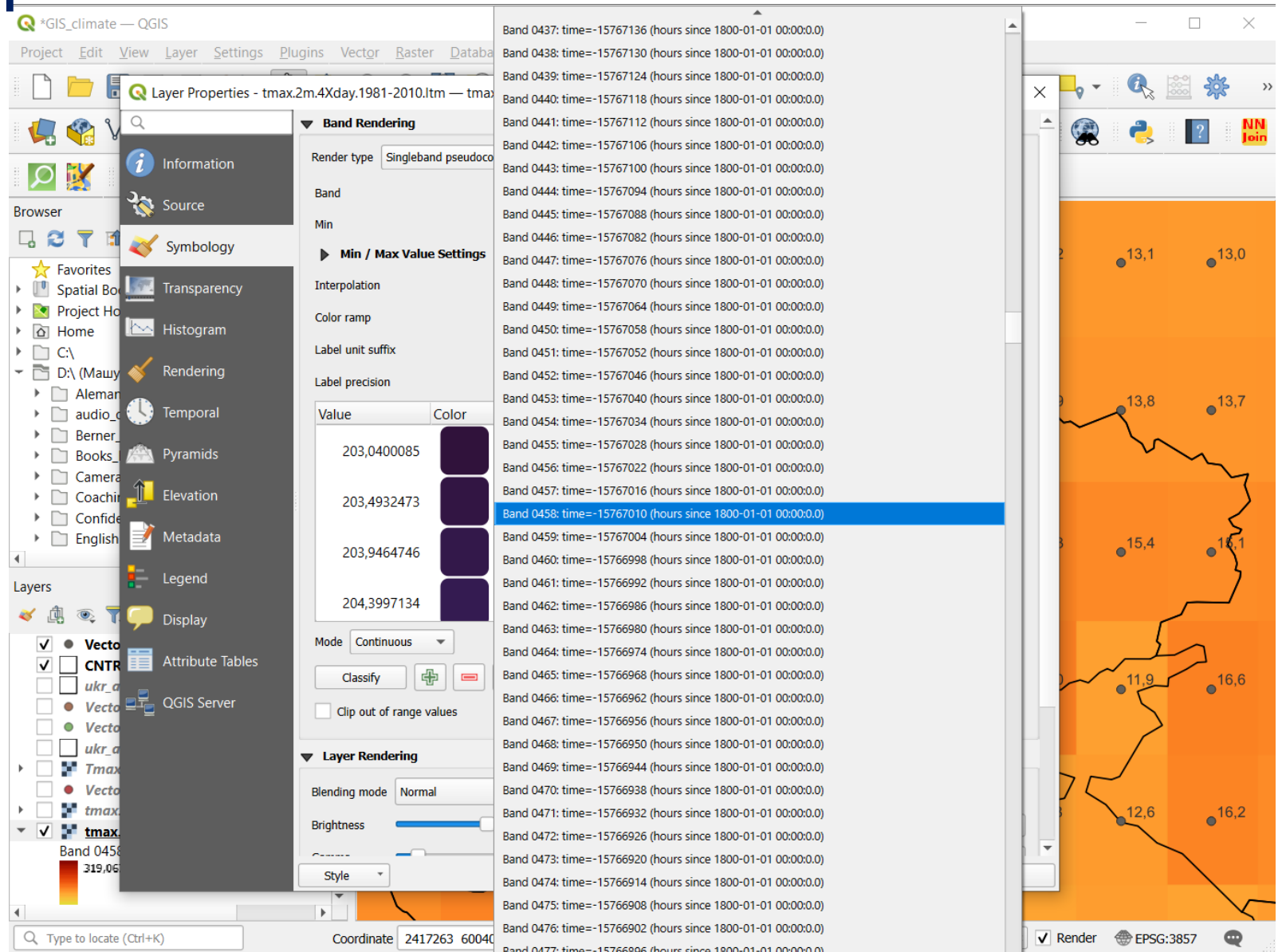
<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/netcdf/fundamentals-of-netcdf-data-storage.htm>

Растрові кліматичні дані

Один NetCDF файл може зберігати декілька **змінних / variables** (наприклад, min, середня і max температура) у **вимірах / dimensions** часу (наприклад, добові дані за 30 років) і простору (X, Y).

Кожний канал у растрі NetCDF із значенням часу для кожної змінної може бути витягнутий як окремий растровий шар.

Усі шари в NetCDF растрах можна піддавати розрахункам у **Калькуляторі растрів** для створення нових растрів (наприклад, для розрахунку різниці між середньою температурою в майбутньому і минулому).



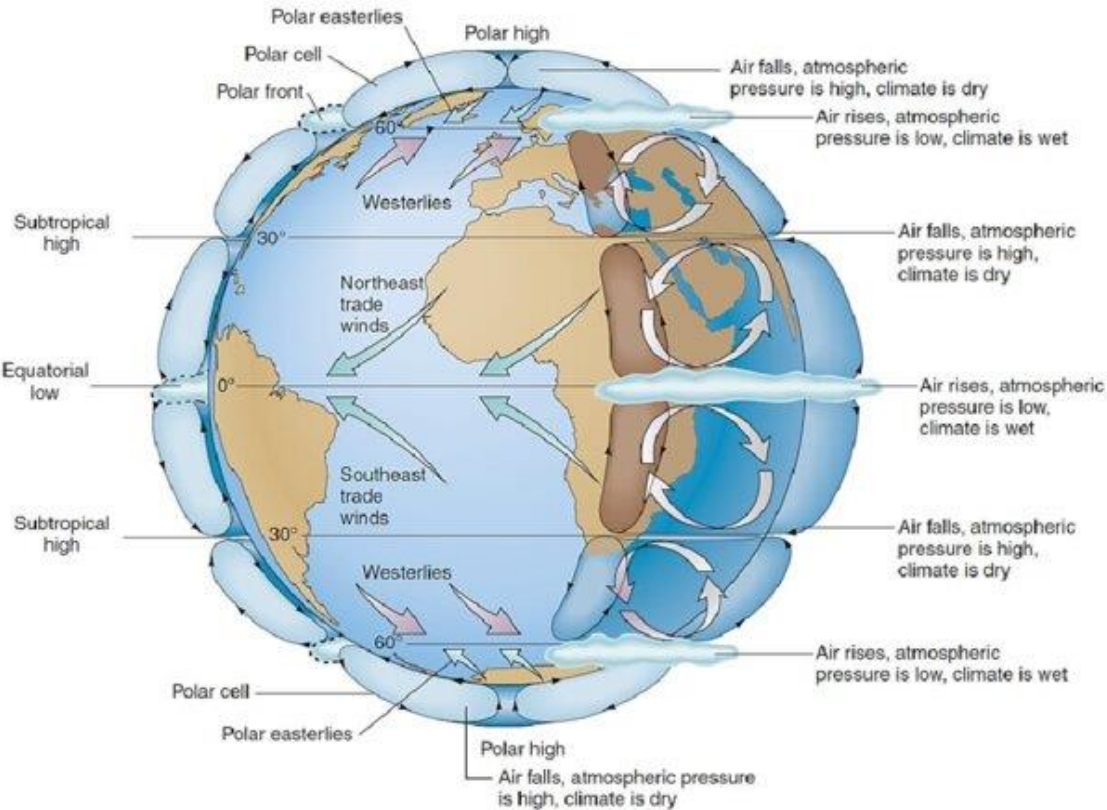
Кліматичні моделі

Глобальні циркуляційні моделі (GCM)

- Симуляція кліматичних процесів у глобальному масштабі на різних рівнях висоти в атмосфері та океані
- Багаторічне моделювання минулого, поточного та майбутнього клімату
- Просторова роздільна здатність 1.0 – 2.5 градуси

Провідні розробники GCM (приклади)

Організація	Модель	Країна
NASA GISS	GISS-E2	USA
NOAA GFDL	GFDL-CM4, GFDL-ESM4	USA
NCAR (CESM)	CESM	USA
UK Met Office Hadley Centre	HadGEM3, UKESM1	UK
ECMWF	EC-Earth	Europe
IPSL	IPSL-CM6A-LR	France
MPI-M	MPI-ESM1.2	Germany
CMCC	CMCC-CM2	Italy
BCC	BCC-CSM2-MR	China
MRI-JMA	MRI-ESM2.0	Japan



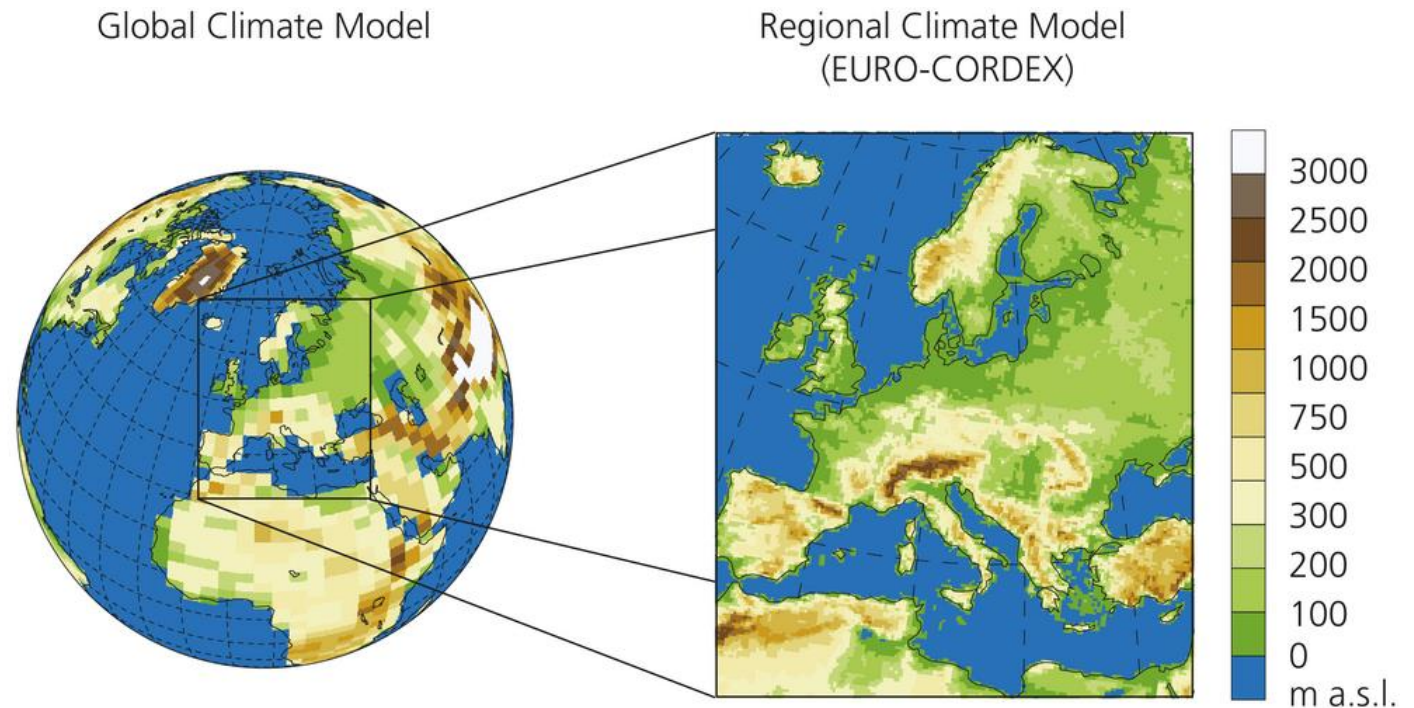
Кліматичні моделі

Регіональні циркуляційні моделі (RCM)

Провідні розробники RCM (приклади)

Організація	Моделі	Країна
ICTP	RegCM	Italy
UK Met Office	PRECIS	UK
SMHI	RCA4	Sweden
CLM-Community	COSMO-CLM	Germany
NCAR	WRF	USA
EURO-CORDEX Consortium	RCA4, CLMcom, ALADIN, WRF, HIRHAM, and more	EU countries

- Масштабовані з глобальних моделей з урахуванням місцевого рельєфу, типів землекористування, рослинного покриву тощо
- Представляють локальні кліматичні ефекти і впливи клімату
- Просторова роздільна здатність 0.1 – 0.5 градусів і вище

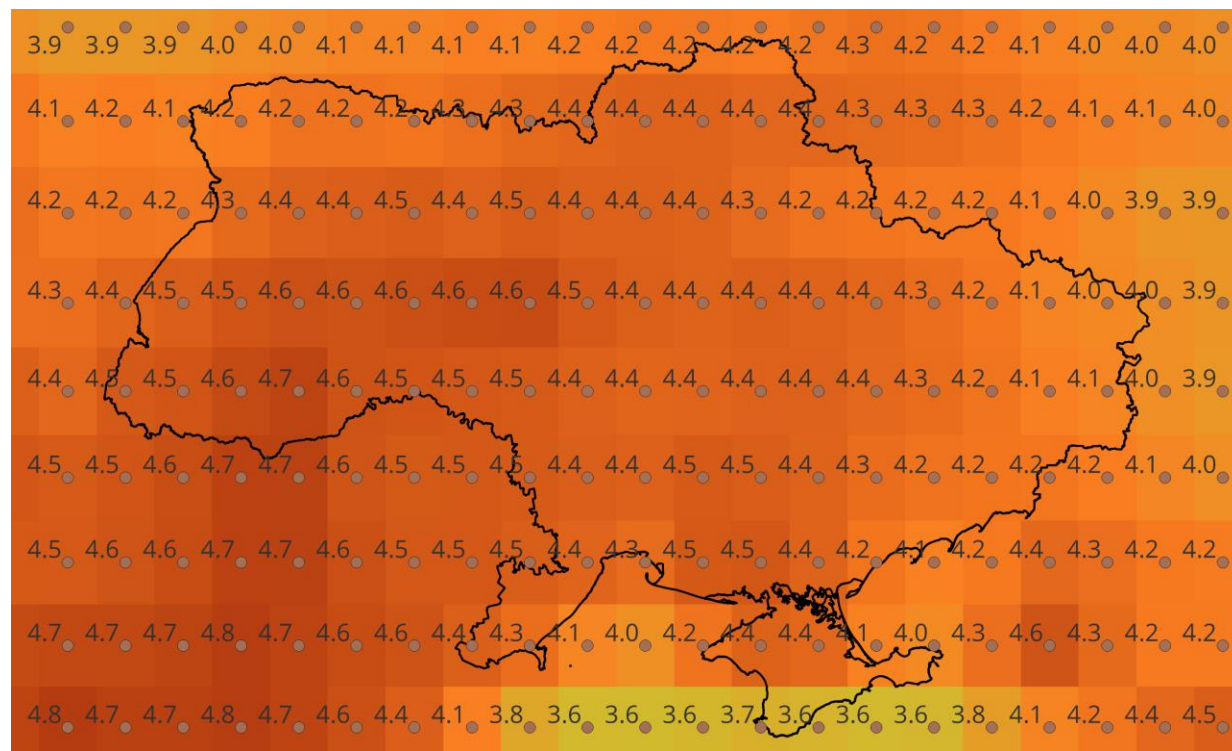
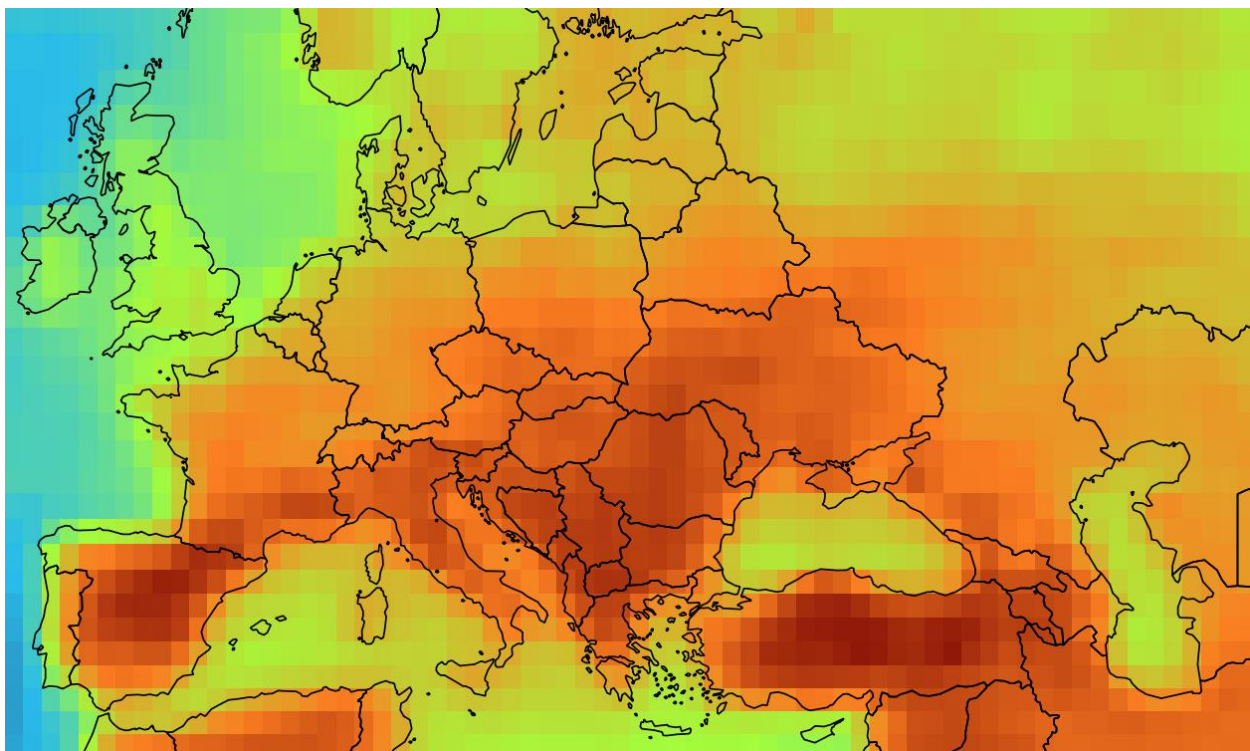


Просторова роздільна здатність

Глобальні кліматичні моделі (GCMs)

Низька просторова роздільна здатність:
1.0 – 2.5°C (100–250 км)

Максимальна добова температура (°C) – проєкції CMIP6 – зміна відносно 1850-1900 – сценарій SSP5-8.5 – (2041-2060) – середньорічна



Просторова роздільна здатність – 1.0 x 1.0 градуси (76 x 110 км в проєкції WGS 84 / Pseudo-Mercator)

Просторова роздільна здатність

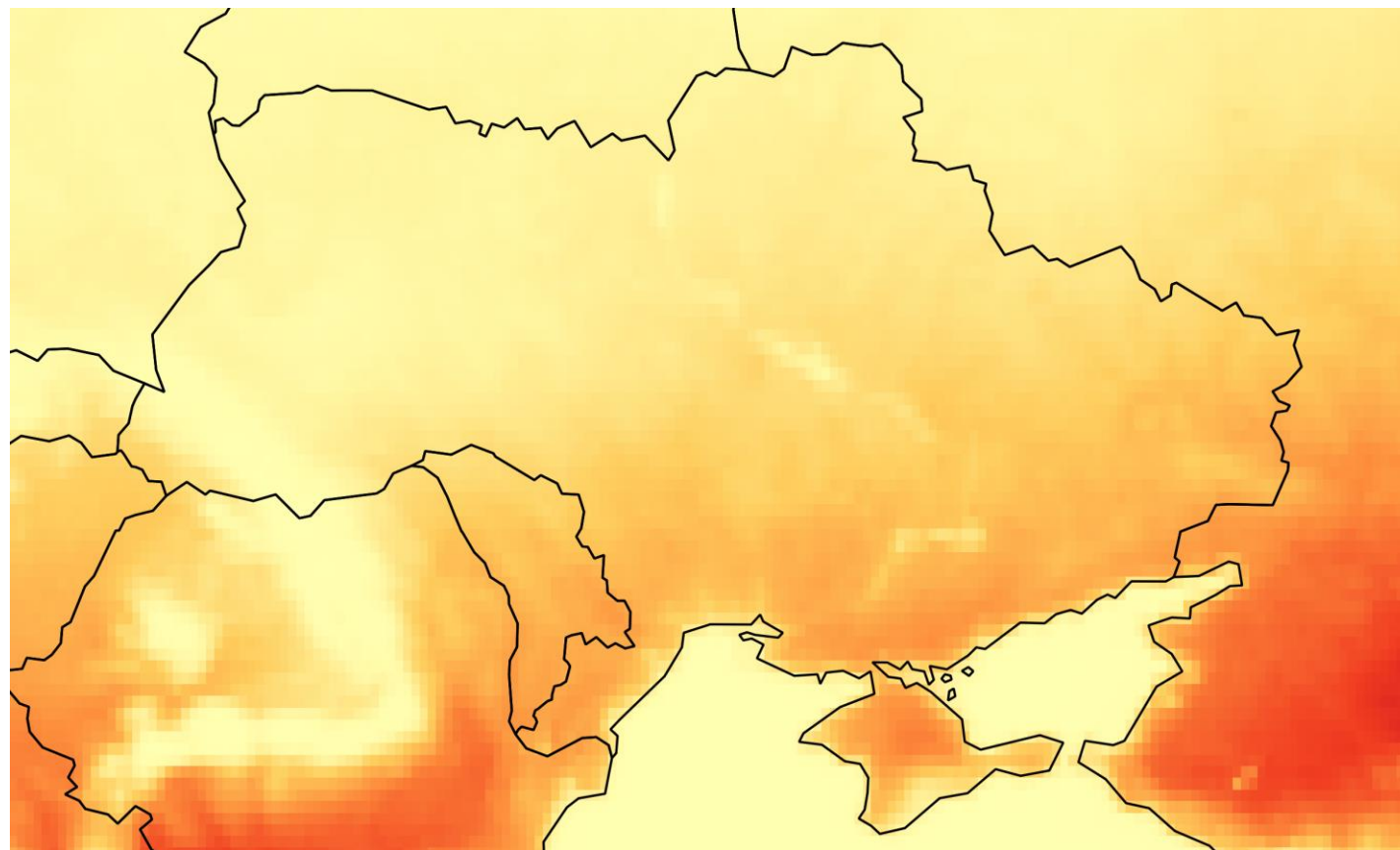
Регіональні кліматичні моделі (RCMs)

Середня просторова
роздільна здатність:
 $0.1 - 0.5^{\circ}$ (10 – 50 км)

CORDEX (Coordinated
Regional Climate
Downscaling Experiment)

0.1×0.1 градусів
9 x 14 км
(в проекції WGS 84 /
Pseudo-Mercator)

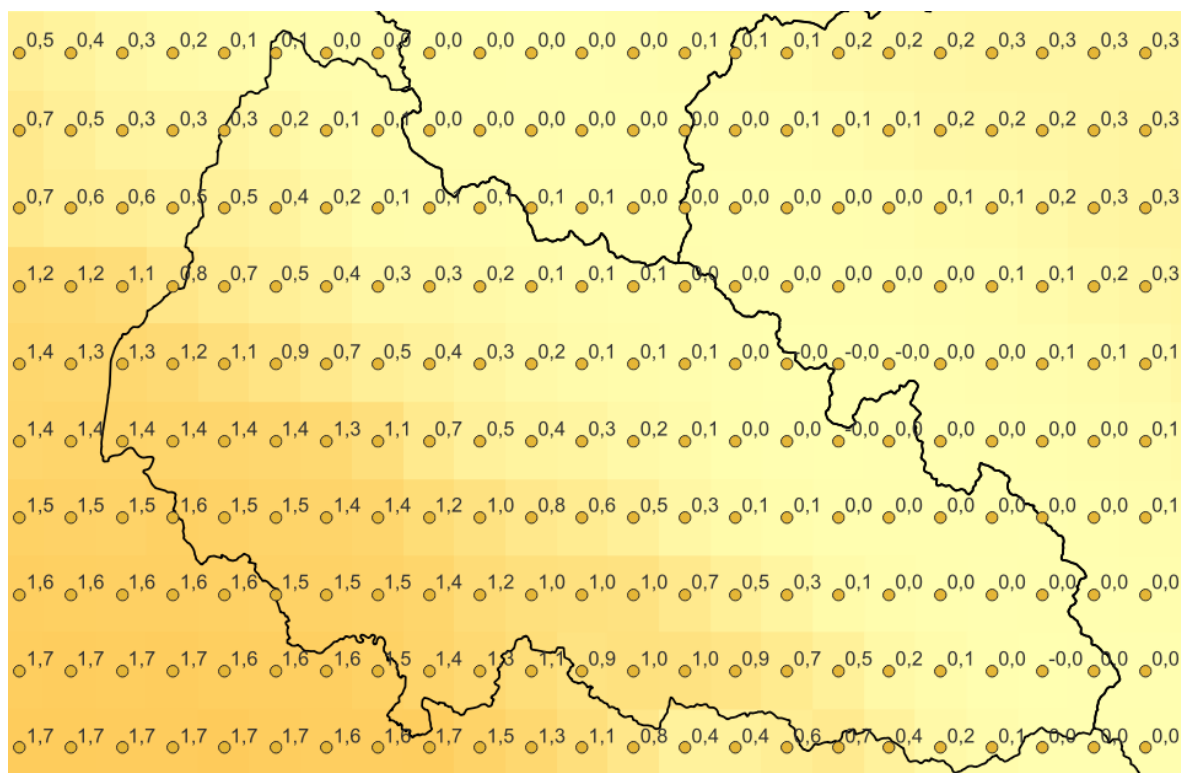
Days with maximum temperature above 35°C (days) - CORDEX-EUR-11 - Change - rel. to 1981-2010 - RCP4.5 - (2041-2060) - Annual



Просторова роздільна здатність

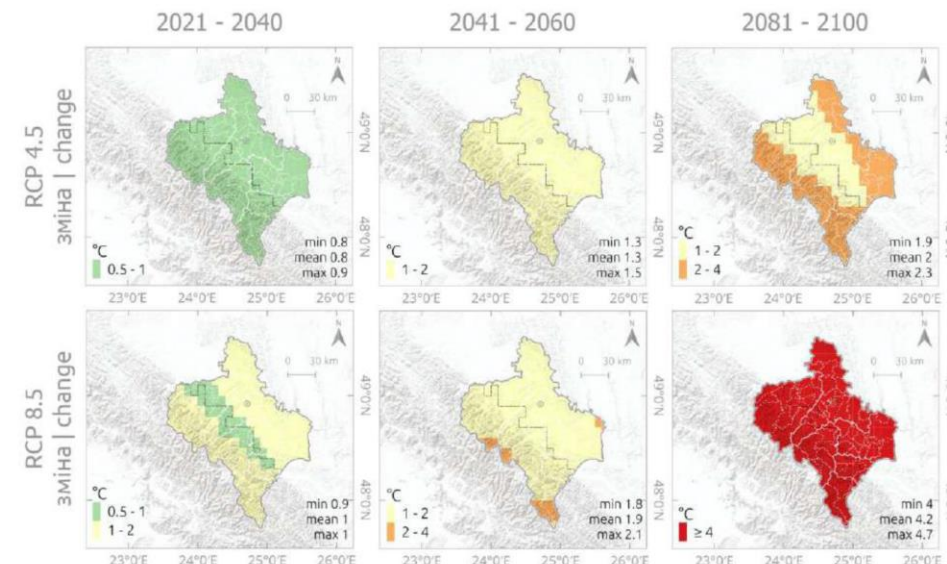
Закарпатська область

Кількість днів із максимальною добовою температурою $> 35^{\circ}\text{C}$ – CORDEX-EUR-11 – Зміна відносно 1981-2010 – сценарій RCP4.5 – (2041-2060) – річна



Data source: <https://atlas.climate.copernicus.eu/atlas>

Івано-Франківська область



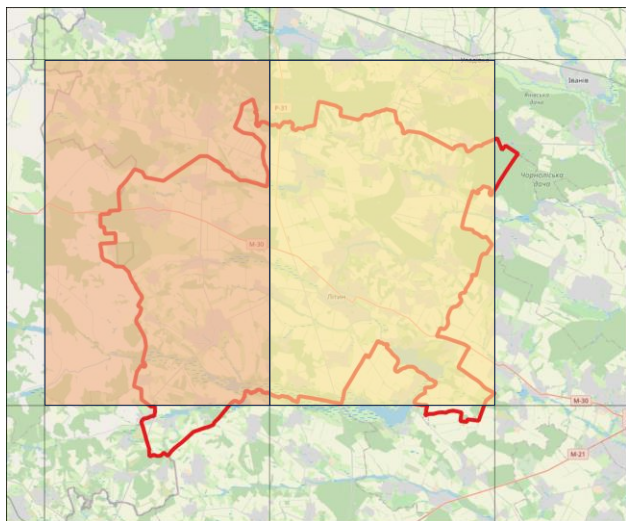
Data source: Climate change adaptation strategy for Ivano-Frankivsk region, 2024 (in Ukrainian)

Просторова роздільна здатність $0.1 \times 0.1^{\circ}$ (9×14 км) підходить для оцінки зміни клімату в національному та регіональному масштабах.

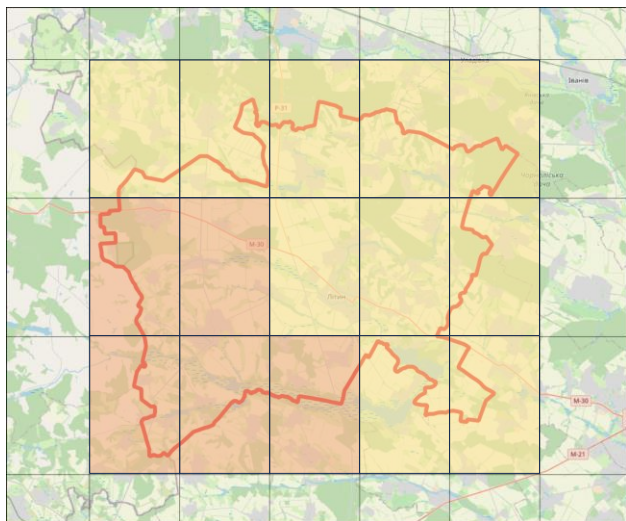
RCMs з такою роздільною здатністю особливо інформативні в регіонах з пересіченим рельєфом, зокрема гірська місцевість Карпат.

Просторова роздільна здатність

**0.25 x 0.25
градусів**

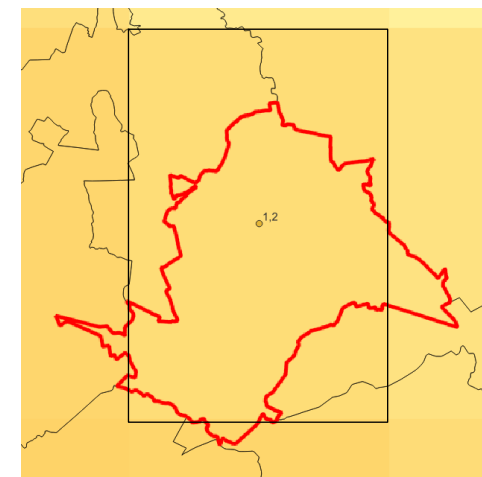
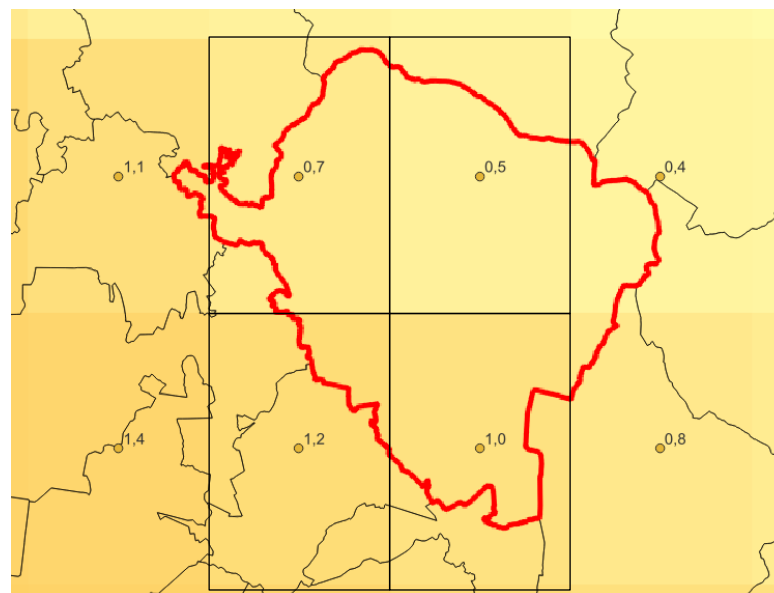


**0.1 x 0.1
градусів**



Для оцінки на рівні територіальних громад, роздільна здатність $0.1 \times 0.1^\circ$ (9 x 14 км) може бути доцільна, якщо площа громади відносно велика.

Для відносно невеликих площ необхідно далі масштабувати дані, наприклад до роздільної здатності 30 секунд ($\sim 1 \text{ km}^2$).



Як працювати з кліматичними растровими даними в ГІС?



Готові для використання веб-застосунки

- Карти та панелі у веб-браузері, які візуалізують готові кліматичні дані прямо на веб-сторінці
- Легке налаштування загальних опцій – зручний вибір локації, часових інтервалів, індикаторів, сценаріїв
- Не вимагає навичок роботи в ГІС

Портали для скачування геоданих

- Гнучка система вибору кліматичних індикаторів та інших опцій / критеріїв
- Портал може мати певні обмеження відносно Ваших запитів і вимог
- Потребують базові знання ГІС-програм і навичок у візуалізації геоданих

Розробка власних растрових даних

- Повна свобода у розробці кліматичних індикаторів, виборі територій та часових рамок
- Доцільно до використання у локальних та регіональних масштабах
- Потребують глибокі знання та просунуті навички в ГІС

Історичні кліматичні дані



Набори даних

1. [E-OBS](#) – дані метеоспостережень, інтерпольовані між станціями як растр, для території Європи (0.1° , 0.125° , 0.25°)
2. [ERA5](#), [ERA5-Land](#) – растрові дані ре-аналізу, які поєднують дані спостережень і чисельні моделі атмосфери (ERA5-Land – 0.1° , ERA5 – 0.25°)
3. [NOAA](#) – дані метеоспостережень по станціях BMO (табличний формат .csv)
4. [ClimUAm](#), [ClimUAd](#) – дані метеоспостережень по станціях України, інтерпольовані як растр (0.1°)
5. [WorldClim](#) – дані метеоспостережень, інтерпольовані між станціями як растр, за період 1970 – 2000 (0.1° , 0.125° , 0.25°)

Порти для скачування даних E-OBS, ERA-5, ERA5-Land

1. Copernicus Climate Data Store: <https://cds.climate.copernicus.eu/>
2. Copernicus Interactive climate Atlas: <https://atlas.climate.copernicus.eu/atlas>
3. IPCC WGI Interactive Atlas: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>
4. Climate Explorer: <https://climexp.knmi.nl/start.cgi>

Прогнозні кліматичні дані



Набори даних

1. [CMIP6](#) – 130+ глобальних кліматичних моделей 6-ї фази Проєкту порівняння зв'язаних кліматичних моделей (1.0°)
2. [CMIP5](#) – 35+ глобальних кліматичних моделей (1.0° – 2.0°)
3. [EuroCORDEX-11](#) – регіональні кліматичні моделі для території Європи на базі експерименту CMIP5, масштабовані до просторової роздільної здатності 0.1°

Порти для скачування даних CMIP5, CMIP6, EuroCORDEX

1. Copernicus Climate Data Store: <https://cds.climate.copernicus.eu/>
2. Copernicus Interactive climate Atlas: <https://atlas.climate.copernicus.eu/atlas>
3. IPCC WGI Interactive Atlas: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>
4. KNMI Climate Change Atlas: https://climexp.knmi.nl/plot_atlas_form.py?id=someone@somewhere
5. WorldClim: <https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6climate.html>