

Підкатегорія. Джерела кліматичних даних

Дмитро Дядін, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова

Про ресурс

Цей ресурс є частиною розділу «Кліматичні дані та інструменти» науково-освітньої платформи ClimEd. Він призначений для студентів, аспірантів, викладачів, дослідників і фахівців кліматозалежних секторів, які використовують метеорологічні спостереження, дані реаналізу та результати кліматичного моделювання. Матеріал може застосовуватися під час реалізації курсів ClimEd, виконання практичних і лабораторних робіт, підготовки кваліфікаційних і наукових досліджень, оцінювання кліматичних змін і ризиків, валідації кліматичних моделей та розроблення прикладних кліматичних сервісів.

Ресурс містить систематизований огляд основних типів кліматичних даних і найбільш поширених наборів, що використовуються для дослідження сучасного та майбутнього клімату. У ньому розглянуто дані наземних метеорологічних спостережень, спостережний набір E-OBS, глобальний реаналіз ERA5, деталізований реаналіз поверхні суходолу ERA5-Land та регіональні кліматичні проєкції EURO-CORDEX. Опис кожного набору охоплює його походження, просторове і часове охоплення, основні змінні, формати даних, переваги, обмеження, джерела завантаження та рекомендації щодо вибору відповідно до завдань дослідження.

Підкатегорії для підкатегорії «Джерела кліматичних даних»

1. Основні категорії кліматичних даних
2. Наземні метеорологічні спостереження
3. Набір кліматичних даних E-OBS
4. Набори реаналізу ERA5 та ERA5-Land
5. Регіональні кліматичні проєкції EURO-CORDEX EUR-11
6. Порівняння наборів і вибір джерела

1. Основні категорії кліматичних даних

Кліматичні дані, що використовуються для наукових досліджень та практичного аналізу в геоінформаційних системах, можна умовно поділити на три основні категорії: дані наземних метеорологічних спостережень, дані реаналізу та результати кліматичного моделювання. Кожен із цих типів має власні переваги, обмеження та сферу застосування, тому вибір набору даних залежить від поставленої задачі.

Ключовий принцип. Вибір набору даних має визначатися не його популярністю, а відповідністю меті дослідження, просторовому масштабу, часовому періоду, необхідним змінним і допустимому рівню невизначеності.

Категорія	Походження	Сильні сторони	Основні обмеження
Наземні спостереження	Безпосередні вимірювання на метеостанціях	Висока точність у точці спостереження; тривалі часові ряди	Нерівномірне просторове покриття; потреба в інтерполяції
Реканаліз	Поєднання спостережень і чисельної моделі через асиміляцію даних	Безперервне просторово-часове поле; багато змінних	Моделна складова; обмежена локальна деталізація
Кліматичне моделювання	Результати глобальних або регіональних кліматичних моделей	Оцінювання майбутніх змін за сценаріями	Невизначеність моделей і сценаріїв; це не точний прогноз для точки

2. Наземні метеорологічні спостереження

Наземні метеорологічні спостереження є первинним джерелом кліматичної інформації. Вони формуються на основі багаторічних вимірювань, які виконуються на мережі метеорологічних станцій за стандартизованими методиками. До таких даних належать температура повітря, атмосферні опади, швидкість і напрямок вітру, атмосферний тиск, відносна вологість та інші метеорологічні показники. Основною перевагою наземних спостережень є їх висока точність у місцях розташування станцій. Водночас такі дані мають обмежене просторове покриття, оскільки густота мережі спостережень суттєво відрізняється між країнами та регіонами. Для отримання суцільних кліматичних карт точкові вимірювання потребують інтерполяції, що може знижувати точність у районах із недостатньою кількістю станцій.

Дані наземних метеорологічних спостережень (мінімальна добова температура, максимальна добова температура, добова сума опадів) за період з 1946–2020 рр. по території України доступні у репозиторії Українського гідрометеорологічного інституту:

- https://uhmi.org.ua/data_repo/ClimUAd_Ukrainian_gridded_daily
- https://uhmi.org.ua/data_repo/month

Коли використовувати. Для аналізу фактичних умов у місці розташування станції, дослідження локальних тенденцій та екстремумів, перевірки якості модельних і реканалізних даних, а також для інженерних і прикладних задач, де важлива точність у конкретній точці.

Зверніть увагу. Інтерпольовані сіткові продукти, створені на основі станцій, не є тотожними первинним станційним спостереженням. Під час аналізу необхідно розрізняти точкові вимірювання та просторово інтерпольовані поля.

3. Набір кліматичних даних E-OBS

E-OBS (European Observational Gridded Dataset) – це один із найавторитетніших європейських наборів історичних кліматичних даних, який формується на основі реальних наземних метеорологічних спостережень. На відміну від реканалізу чи результатів кліматичного моделювання, E-OBS не містить модельних прогнозів, а являє собою просторово інтерпольовані значення

метеорологічних параметрів, отримані з багатотисячної мережі метеостанцій Європи. Саме тому він широко використовується як еталонний набір даних для дослідження сучасного клімату, оцінювання кліматичних тенденцій та валідації кліматичних моделей.

Розробником набору даних є проєкт European Climate Assessment & Dataset (<https://www.ecad.eu/>), який координується Royal Netherlands Meteorological Institute (<https://www.knmi.nl/over-het-knmi/about>) у співпраці з національними гідрометеорологічними службами більшості європейських країн. Дані поширюються через Copernicus Climate Change Service (<https://cds.climate.copernicus.eu/>) та регулярно оновлюються із залученням нових станцій спостережень. Початково E-OBS був створений у межах європейського проєкту ENSEMBLES для перевірки регіональних кліматичних моделей, однак сьогодні є одним із найбільш використовуваних кліматичних наборів даних для Європи. Найбільш зручним джерелом для завантаження наборів даних E-OBS є портал Copernicus Climate Data Store: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/insitu-gridded-observations-europe?tab=overview>.

Набір E-OBS охоплює майже всю територію Європи суходолу та містить добові значення основних метеорологічних параметрів. Основними змінними є:

- середня температура повітря (TG);
- мінімальна температура (TN);
- максимальна температура (TX);
- сума атмосферних опадів (RR);
- середній атмосферний тиск, приведений до рівня моря (PP);
- відносна вологість повітря (HU);
- середня швидкість вітру (FG);
- сумарна сонячна (глобальна) радіація (QQ).

Дані доступні у форматі NetCDF-4 з просторовою роздільною здатністю $0,1^\circ$ (приблизно 11×7 км для території України) та $0,25^\circ$ (приблизно 28×18 км). Часовий ряд для більшості параметрів починається з 1950 року, тоді як для швидкості вітру дані доступні з 1980 року. Просторова область охоплює територію приблизно від 25° пн. ш. до $71,5^\circ$ пн. ш. та від 25° зх. д. до 45° сх. д., включаючи практично всю Європу.

Однією з важливих особливостей сучасних версій E-OBS є використання ансамблевого підходу. Крім основного («best guess») набору даних, користувач може отримати ансамбль із 20 реалізацій, сформованих шляхом статистичного моделювання процесу інтерполяції. Це дозволяє оцінити невизначеність просторової інтерполяції та визначити, наскільки надійними є значення в окремих регіонах. Крім того, для кожної комірки можуть бути отримані показники просторової невизначеності (ensemble spread).

Основною перевагою E-OBS є його спостережний характер. Дані базуються виключно на фактичних вимірюваннях, а не на чисельному моделюванні атмосфери. Крім того, набір характеризується тривалим часовим рядом, високою просторовою деталізацією для масштабів усієї Європи, єдиною методикою оброблення для всіх країн та широким використанням у міжнародних дослідженнях. Саме тому E-OBS часто застосовується як базовий період для порівняння із прогнозами EURO-CORDEX або інших кліматичних моделей, а також для розрахунку кліматичних індексів відповідно до рекомендацій Expert Team on Climate Change Detection and Indices.

Водночас набір має і певні обмеження. Найважливішим із них є залежність точності від густоти мережі метеостанцій. У регіонах із недостатньою кількістю станцій (наприклад, у гірських районах, на периферії області покриття або в окремих країнах Південно-Східної Європи) невизначеність інтерполяції істотно зростає. Крім того, просторова роздільна здатність $0,1^\circ$ є недостатньою для відображення локальних кліматичних особливостей, таких як міські острови тепла, вузькі річкові долини або окремі гірські схили. Ще одним обмеженням є те, що часовий ряд змінюється за якістю внаслідок зміни кількості доступних станцій у різні роки, а сама інтерполяція певною мірою згладжує локальні екстремуми температури й опадів. Тому E-OBS не слід розглядати як повну заміну даних окремих метеостанцій, особливо під час аналізу локальних явищ або інженерних задач.

Загалом E-OBS сьогодні вважається одним із найкращих відкритих джерел історичних кліматичних даних для Європи. Поєднання багаторічного ряду спостережень, високої просторової деталізації, відкритого доступу та стандартизованої методики побудови робить його одним із базових наборів даних для дослідження зміни клімату, оцінювання кліматичних ризиків та валідації результатів регіонального кліматичного моделювання.

Коли використовувати E-OBS. Для дослідження історичного клімату Європи, розрахунку кліматичних індексів, оцінювання тенденцій, формування базового періоду та валідації регіональних кліматичних моделей.

Основне обмеження. Надійність E-OBS залежить від густоти станційної мережі. Набір не слід розглядати як повну заміну первинних даних метеостанцій для локальних явищ, міського мікроклімату або інженерних розрахунків.

Джерела для завантаження E-OBS

1. Copernicus Interactive Climate Atlas: <https://atlas.climate.copernicus.eu/atlas>
2. IPCC WGI Interactive Atlas: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>
3. Copernicus Climate Data Store: <https://cds.climate.copernicus.eu/>

4. Набори реаналізу ERA5 та ERA5-Land

ERA5

ERA5 є найсучаснішим глобальним набором даних реаналізу, який розроблений European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (<https://www.ecmwf.int/>) у межах програми Copernicus Climate Change Service (<https://climate.copernicus.eu/>). На відміну від наборів, що базуються виключно на метеорологічних спостереженнях, ERA5 поєднує величезний масив даних наземних станцій, супутників, метеорологічних зондів, літаків, морських буїв та інших джерел із сучасною чисельною моделлю атмосфери. Таке поєднання здійснюється за допомогою методів асиміляції даних, що дозволяє отримати найбільш повну реконструкцію стану атмосфери для кожного моменту часу навіть у районах, де регулярні спостереження відсутні.

ERA5 охоплює весь земний шар із просторовою роздільною здатністю близько $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ (приблизно 28×18 км для території центральної України) та містить погодинні, добові та місячні дані, починаючи з 1940 року і до сьогодні з постійним оперативним оновленням. Набір включає сотні атмосферних, океанічних і поверхневих параметрів, серед яких температура повітря, атмосферні опади, швидкість і напрямок вітру, атмосферний тиск, вологість, сонячна радіація, сніговий покрив, випаровування, вологість ґрунту та багато інших показників. Дані поширюються переважно у форматах NetCDF та GRIB, що забезпечує їх ефективне використання у ГІС і системах наукового аналізу.

Головною перевагою ERA5 є просторова й часова безперервність даних. На відміну від звичайних метеорологічних спостережень, реаналіз містить значення для кожної комірки регулярної сітки та для кожної години, що дозволяє аналізувати як довгострокові кліматичні тенденції, так і окремі екстремальні погодні явища. Завдяки цьому ERA5 широко використовується для гідрологічного моделювання, дослідження екстремальної спеки, посух, повеней, оцінювання кліматичних ризиків, а також для розрахунку численних похідних кліматичних індикаторів.

Водночас слід враховувати, що ERA5 не є набором безпосередніх спостережень. Його значення частково формуються чисельною моделлю атмосфери, тому окремі параметри можуть відрізнятися від фактичних вимірювань на метеостанціях. Просторова роздільна здатність $0,25^\circ$ також не дозволяє відобразити локальні особливості рельєфу, міський острів тепла чи мікроклімат окремих територій. Незважаючи на це, ERA5 сьогодні вважається світовим стандартом серед наборів даних реаналізу та є одним із найпоширеніших джерел кліматичної інформації для наукових досліджень, моделювання природних процесів і підготовки регіональних оцінок впливу зміни клімату.

ERA5-Land

ERA5-Land є спеціалізованою версією реаналізу ERA5, призначеною для більш детального опису процесів, що відбуваються на поверхні суходолу. На відміну від ERA5, який моделює всю кліматичну систему, включаючи атмосферу, океан і поверхню суші, ERA5-Land використовує лише модель поверхні суходолу, що працює з атмосферними граничними умовами, отриманими з ERA5. Завдяки цьому набір має вищу просторову роздільну здатність — $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ (приблизно 11×7 км для території центральної України), що дозволяє точніше відображати вплив рельєфу, рослинного покриву та інших особливостей земної поверхні. ERA5-Land містить погодинні дані, починаючи з 1950 року, і включає понад 50 змінних, серед яких температура поверхні та повітря, атмосферні опади, вологість ґрунту, випаровування, поверхневий і підземний стік, сніговий покрив, теплові потоки та інші характеристики водного й енергетичного балансів суходолу.

Коли використовувати ERA5. Для аналізу безперервних просторово-часових полів, погодинної мінливості, екстремальних подій, гідрологічного моделювання, розрахунку похідних індикаторів і досліджень для територій із недостатньою мережею спостережень.

Коли використовувати ERA5-Land. Для задач, пов'язаних із поверхнею суходолу, зокрема вологою ґрунту, випаровуванням, стоком, сніговим покривом і тепловими потоками, коли потрібна вища просторова деталізація, ніж у ERA5.

Інтерпретація. ERA5 та ERA5-Land є наборами реаналізу, а не безпосередніми спостереженнями. Для локальних досліджень доцільно порівнювати їх із даними метеостанцій і враховувати систематичні відхилення для окремих змінних.

Джерела для завантаження ERA5

1. Copernicus Interactive Climate Atlas: <https://atlas.climate.copernicus.eu/atlas>
2. Copernicus Climate Data Store: <https://cds.climate.copernicus.eu/>
3. Google Earth Engine: <https://code.earthengine.google.com/>

5. Набір кліматичних даних EURO-CORDEX EUR-11

EURO-CORDEX (European Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) – це найбільший міжнародний проєкт із регіонального кліматичного моделювання для Європи (<https://www.euro-cordex.net/060374/index.php.en>), створений у рамках глобальної ініціативи CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) (<https://cordex.org/>) під егідою World Climate Research Programme (<https://www.wcrp-climate.org/about-wcrp/about-history>). Основною метою проєкту є отримання високодеталізованих прогнозів майбутнього клімату, придатних для оцінювання впливу зміни клімату на природні та соціально-економічні системи. На відміну від глобальних кліматичних моделей, які мають порівняно грубу просторову роздільну здатність, EURO-CORDEX використовує регіональні кліматичні моделі (Regional Climate Models, RCM), що деталізують результати глобальних моделей для території Європи.

Найпоширенішою версією є EURO-CORDEX EUR-11, де цифра «11» означає просторову роздільну здатність $0,11^\circ \times 0,11^\circ$, що відповідає приблизно 12×12 км. Для території центральної України розмір комірки становить близько 12×8 км. Така деталізація майже вдвічі перевищує роздільну здатність глобальних моделей CMIP5 і дозволяє значно краще враховувати вплив рельєфу, берегової лінії, великих водойм та інших регіональних особливостей на формування клімату. Крім версії EUR-11, існує також набір EUR-44 із роздільною здатністю $0,44^\circ$ (близько 50 км), однак для більшості сучасних прикладних досліджень використовується саме EUR-11.

EURO-CORDEX охоплює практично всю Європу та прилеглі території, у тому числі всю територію України (приблизно від 27° до 72° пн. ш. і від 22° зх. д. до 45° сх. д.) та містить результати моделювання для періоду 1950–2100 років. Для історичного періоду доступні модельні реконструкції клімату, а для майбутнього – прогнозні розрахунки за різними сценаріями зміни концентрації парникових газів. Найбільш поширеними є сценарії RCP4.5, який передбачає стабілізацію

концентрації парникових газів у другій половині XXI століття, та RCP8.5, що описує сценарій високих викидів. У новіших реалізаціях, відповідно до 6-го звіту Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (IPCC) також доступні сценарії сімейства SSP, однак більшість сучасних досліджень в Україні поки що використовують саме сценарії RCP.

Набір містить велику кількість кліматичних змінних із добовою та місячною часовою дискретністю. До основних параметрів належать середня, мінімальна та максимальна температура повітря, атмосферні опади, швидкість і напрямок вітру, відносна вологість, атмосферний тиск, сонячна радіація, випаровування, вологість ґрунту, сніговий покрив та інші характеристики. На їх основі можуть бути розраховані сотні похідних кліматичних індикаторів, таких як кількість спекотних днів, тривалість посушливих періодів, індекси пожежної небезпеки, суми ефективних температур, інтенсивність екстремальних опадів, індекси посух та інші показники, необхідні для оцінювання кліматичних ризиків. Дані поширюються переважно у форматі NetCDF відповідно до міжнародного стандарту Climate and Forecast (CF).

Однією з найважливіших особливостей EURO-CORDEX є ансамблевий принцип моделювання. Прогноз формується не однією моделлю, а комбінацією кількох десятків регіональних моделей, які працюють на основі різних глобальних кліматичних моделей. Таким чином, користувач отримує не єдиний прогноз, а ансамбль можливих варіантів розвитку клімату. Саме тому в сучасних дослідженнях рекомендується аналізувати не окрему модель, а ансамблеве середнє або декілька моделей одночасно, що дозволяє зменшити вплив індивідуальних особливостей кожної моделі та підвищити надійність оцінок.

Основною перевагою EURO-CORDEX є висока просторова деталізація прогнозів, яка робить можливим оцінювання кліматичних змін на рівні областей, річкових басейнів, територіальних громад та окремих природних комплексів. Завдяки єдиній методології моделювання результати є взаємно узгодженими для всієї території Європи, що особливо важливо для транскордонних досліджень та аналізу регіональних кліматичних ризиків. Саме дані EURO-CORDEX сьогодні широко використовуються під час підготовки планів адаптації до зміни клімату, оцінювання вразливості секторів економіки, моделювання водних ресурсів, аналізу ризику посух, повеней, лісових пожеж та інших небезпечних кліматичних явищ.

Разом із тим необхідно враховувати певні обмеження цього набору даних. Незважаючи на високу просторову роздільну здатність, результати все одно є модельними прогнозами, а не фактичними спостереженнями, тому вони містять невизначеність, пов'язану як із кліматичною моделлю, так і з обраним сценарієм викидів парникових газів. Крім того, навіть роздільна здатність близько 12 км не дозволяє повністю відобразити локальні особливості мікроклімату, окремі міські острови тепла або вплив дрібних форм рельєфу. Саме тому результати EURO-CORDEX рекомендується інтерпретувати як найбільш імовірний сценарій зміни кліматичних умов, а не як точний прогноз погоди чи клімату для конкретної точки місцевості. Для підвищення достовірності оцінок їх зазвичай порівнюють із історичними даними E-OBS або ERA5 та аналізують за ансамблем кількох моделей, а не за результатами однієї моделі.

Основними джерелами для завантаження наборів даних EURO-CORDEX є:

Copernicus Interactive Climate Atlas: <https://atlas.climate.copernicus.eu/atlas>

Коли використовувати EURO-CORDEX. Для оцінювання можливих майбутніх змін клімату, кліматичних ризиків і вразливості, розроблення планів адаптації, досліджень водних ресурсів, посух, повеней, пожежної небезпеки та інших кліматично зумовлених впливів.

Належна практика. Не покладайтеся на одну модель. Аналізуйте ансамбль модельних реалізацій, порівнюйте історичний період із E-OBS або ERA5 та чітко зазначайте сценарій, модель, період і спосіб агрегування.

Джерела для завантаження EURO-CORDEX

1. IPCC WGI Interactive Atlas: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

6. Порівняння наборів і вибір джерела

Наведена нижче таблиця допомагає швидко визначити, який набір даних доцільно використовувати залежно від характеру завдання. Остаточний вибір має враховувати конкретну змінну, період, територію, доступність первинної документації та вимоги до точності.

Набір	Тип	Покриття	Роздільна здатність	Основне застосування	Ключове застереження
Станційні дані	Спостереження	Окремі пункти	Точкова	Локальні тенденції, екстремуми, валідація	Нерівномірне покриття
E-OBS	Інтерпольовані спостереження	Європа	0,1° / 0,25°	Історичний клімат, індекси, валідація	Згладження локальних екстремумів
ERA5	Реаналіз	Глобальне	близько 0,25°	Погодинні поля, екстремальні події, моделювання	Моделйна складова
ERA5-Land	Реаналіз суходолу	Глобальне, суша	близько 0,1°	Ґрунт, випаровування, стік, сніг	Не відображає мікроклімат точки
EURO-CORDEX EUR-11	Регіональні моделі	Європа	0,11°	Майбутні зміни та адаптація	Невизначеність моделей і сценаріїв

Для історичного аналізу. Насамперед розгляньте станційні дані, E-OBS, ERA5 або ERA5-Land залежно від просторового масштабу та потрібної часової роздільної здатності.

Для оцінювання майбутнього клімату. Використовуйте ансамблі EURO-CORDEX або інші кліматичні проєкції. Реаналіз і спостереження не є прогнозами майбутніх змін.

Для локальних управлінських рішень. Поєднуйте кілька джерел: первинні спостереження, сіткові історичні дані та ансамблеві проєкції. За можливості застосовуйте статистичне коригування і локальну валідацію.