



Контракт про надання послуг у рамках зовнішніх дій
Європейського Союзу
Контракт № ENI/2020/415-598
Фінансується загальним бюджетом ЄС

ПОСИЛЕННЯ СПРОМОЖНОСТІ РЕГІОНАЛЬНИХ ТА МІСЦЕВИХ ОРГАНІВ ВЛАДИ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЗАКОНОДАВСТВА ЄС У СФЕРАХ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА, ПРОТИДІЇ КЛІМАТИЧНИМ ЗМІНАМ ТА РОЗВИТКУ ІНФРАСТРУКТУРНИХ ПРОЄКТІВ

EuropeAid/140209/DH/SER/UA

Стратегія адаптації до зміни клімату для Івано-Франківської
області

АНАЛІЗ ЗМІНИ КЛІМАТУ ЗА СЦЕНАРІЯМИ ДО КІНЦЯ ХХІ
СТОРІЧЧЯ

Цей проєкт фінансується
Європейським Союзом

Проєкт реалізують ENVIROPLAN, EGIS та
їхні партнери по консорціуму



Консорціум: «ІНВАЙРОПЛАН С.А.» («ENVIROPLAN S.A.», лідер) – «Ежіс Інтернешнл» («Egis International») – «Ежіс Стракчерз енд Інвайронмент» («Egis Structures and Environment») – «Сентер фор Реньюебл Енерджі Сорсіс енд Сейвінг» («Centre for Renewable Energy Sources & Saving» (CRES)
вул. Періклеоус та Ірас, 23
15344 Геракас – Афіни, Греція
Тел: +30 210 6105127 / 8
Факс: +30 210 6105138
Email: info@envioplan.gr

Проект: Посилення спроможності регіональних та місцевих органів влади для впровадження та застосування законодавства ЄС у сферах захисту навколишнього середовища, протидії кліматичним змінам та розвитку інфраструктурних проєктів

Номер проєкту: EuropeAid/140209/DH/SER/UA

Назва документа: Стратегія адаптації до зміни клімату для Івано-Франківської області
Нетехнічний підсумок

Версія: Проєкт

Дата:

Замовник: Європейський Союз, представлений Європейською комісією, В-1049, Брюссель, Бельгія, від імені Уряду України

Підготував: Христос Цомпанідіс – KE1 лідер Проєкту
Світлана Краковська – KE2 експерт з адаптації до зміни клімату
Елені Іереміаді – KE4 експерт з ОВД та CEO
Антоніос Сакаліс – СНК експерт з питань зміни клімату (міжнародний)
Віра Балабух – СНК експерт з питань зміни клімату (національний)
Лариса Писаренко – СНК експерт з питань зміни клімату (місцевий)
Лідія Криштоп – МНК ГІС експерт (місцевий)
Яніна Іваницька – МНС регіональний експерт з питань охорони навколишнього середовища (Івано-Франківська область)
Анастасія Феєр – МНК експерт з питань зміни клімату та охорони навколишнього середовища (місцевий)

Переглянув: Христос Цомпанідіс – лідер Проєкту

Затвердив: Теофаніс Лолос – директор Проєкту

Попередження:

Цей документ підготовлений за фінансової підтримки Європейського Союзу. За зміст цього документа несе відповідальність виключно консорціум компаній «ІНВАЙРОПЛАН С.А.» («ENVIROPLAN S.A.», лідер) – «Ежіс Інтернешнл» («Egis International») – «Ежіс Стракчерз енд Інвайронмент» («Egis Structures and Environment») – «Сентер фор Реньюебл Енерджі Сорсіс енд Сейвінгс» («Centre for Renewable Energy Sources & Saving» (CRES), та він не може вважатися таким, що відображає погляди Європейського Союзу

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проект, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму



Зміст

ВСТУП	2
3.1 МЕТОДОЛОГІЯ МАСШТАБУВАННЯ КЛІМАТИЧНИХ ДАНИХ ДЛЯ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ 3	
3.1.1 ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО КЛІМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА СЦЕНАРІЇ.....	3
3.1.2 ЗАСТОСУВАННЯ КЛІМАТИЧНИХ ПРОЄКЦІЙ ДО ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ	7
3.2 АНАЛІЗ ОЧІКУВАНОГО СТУПЕНЮ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ	11
3.2.1 СПЕКА ТА ХОЛОД	16
3.2.2 ЗВОЛОЖЕННЯ ТА ПОСУШЛИВІСТЬ	60
3.2.3 СНІГОПАДИ ТА СНІГОВИЙ ПОКРИВ.....	90
3.2.4 ШВИДКІСТЬ ПРИЗЕМНОГО ВІТРУ	100
3.3 ЗВЕДЕНІ ТА МАКСИМАЛЬНІ СТУПЕНІ ВПЛИВУ ЧИННИКІВ ЗА КАТЕГОРІЯМИ	107
3.3.1 Підвищення середньої температури повітря	107
3.3.2 Збільшення екстремальної спеки.....	109
3.3.3 Зменшення усередненої кількості опадів	111
3.3.4 Збільшення екстремальних опадів	112
3.3.5 Зменшення снігопадів та снігового покриву	115
3.3.6 Зростання посухи	117
3.3.7 Максимальний в області ступінь впливу кліматичних	119
Посилання	122
ДОДАТКИ	126



ВСТУП

Івано-Франківська область розташована на заході України (рис. 3.1) і разом з Львівською, Закарпатською, Чернівецькою, Волинською, Рівненською, Тернопільською і Хмельницькою областями відноситься до західного регіона за поділом на географічні регіони і подібністю кліматичних умов, який використовується зазвичай у прогнозах погоди. Більше інформації про фізико-географічні умови, а також зміну клімату у минулому наведено у Розділі 2 цієї Стратегії.

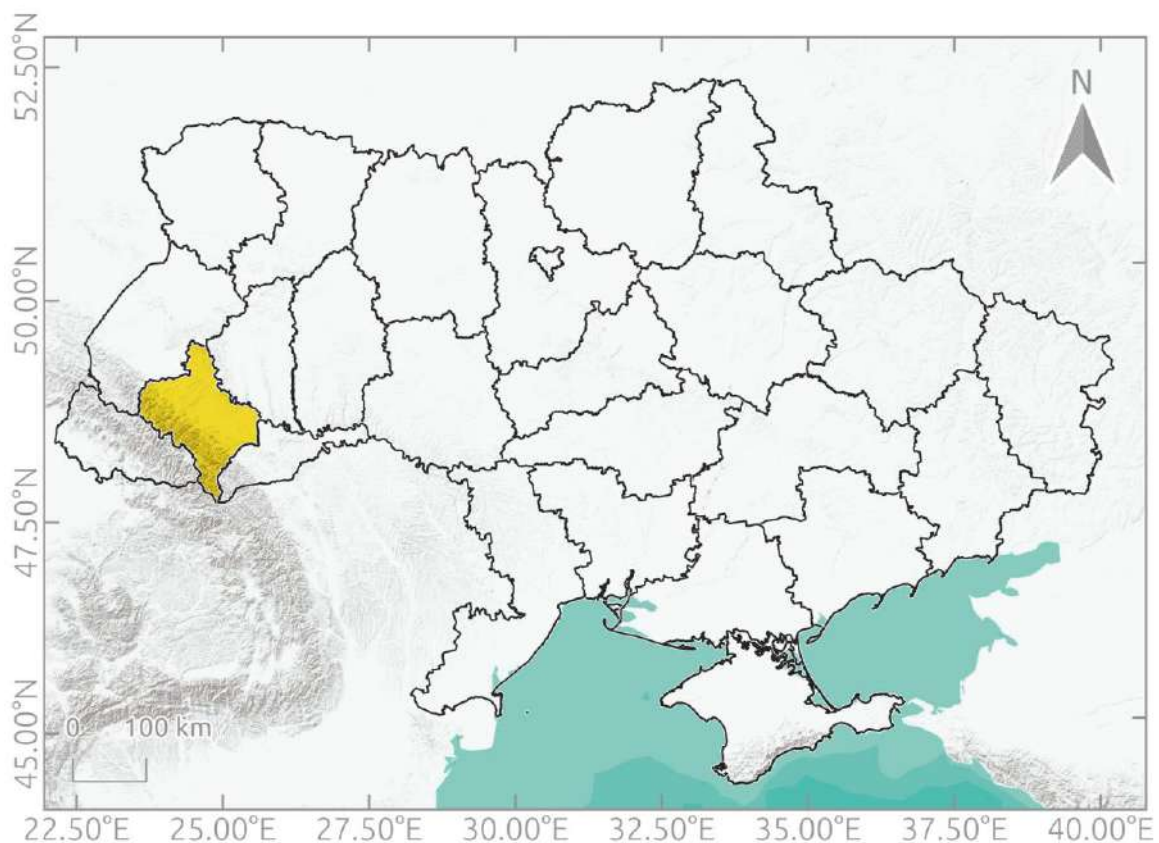


Рис. 3.1 Івано-Франківська область в межах України



3.1 МЕТОДОЛОГІЯ МАСШТАБУВАННЯ КЛІМАТИЧНИХ ДАНИХ ДЛЯ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ

3.1.1 ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО КЛІМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА СЦЕНАРІЇ

Кліматичні моделі — це сучасні та найбільш надійні інструменти для вивчення глобального клімату, оцінки минулого клімату та створення оцінок майбутніх кліматичних умов для життя на нашій планеті на найближчі кілька сотень років. Кліматична модель використовує чисельні методи для моделювання взаємодії атмосфери з океанами та поверхнею суші, враховуючи цикли в біосфері. Вони використовуються для різноманітних цілей, починаючи від вивчення термодинамічних явищ у кліматичній системі й закінчуючи оцінками майбутнього клімату.

Усі кліматичні моделі базуються на енергетичному балансі з урахуванням вхідного короткохвильового електромагнітного випромінювання від Сонця, а також вихідного інфрачервоного випромінювання від Землі. Будь-яка різниця між двома кількостями радіації призводить до зміни температури та інших метеорологічних характеристик планети.

Іншими словами, кліматична модель - це симуляція кліматичної системи на основі математичного опису фізичних, біологічних та хімічних процесів. Рівняння, які є результатом наведених вище принципів, настільки складні, що їх потрібно розв'язувати чисельно. Вихідні дані моделі є дискретними в просторі та часі, тобто результати являють собою середні значення відносно площі, що залежить від просторової роздільної здатності моделі для заданих періодів часу.

Глобальні Кліматичні Моделі (ГКМ) або Моделі Загальної Циркуляції (МЗЦ) (англ. Global Climate Models or General Circulation Models – GCMs) - комплексні моделі, що симулюють еволюцію клімату всієї планети (на глобусі), результатом розрахунків яких є дані про температури повітря та морської поверхні, кількості опадів та інших ключових кліматичних параметрів - вітру, вологості, хмарності, балансу сонячної радіації, атмосферного тиску і т.д. Вони використовують чисельні методи для моделювання взаємодії атмосфери з океанами, поверхнею суші, біосферою та кріосферою (замерзла вода полярних регіонів, гір, сезонний сніг та крига на річках та озерах).

Моделі загальної циркуляції використовують глобальну 3D-координатну сітку з горизонтальною роздільною здатністю від 50 до 500 км, з 10-60-ма вертикальними рівнями для атмосфери та до 30-ти рівнів для океану. Враховуючи таку грубу роздільну здатність, деякі фізичні процеси, які вимагають більш високої роздільної здатності, такі як вплив хмар, водяної пари або циркуляції океану, дуже важко адекватно змодельовати (IPCC, 2021).

Сучасні інструменти для симуляції кліматичних змін - Моделі Загальної Циркуляції Атмосфери та Океанів (МЗЦАО) (англ. Coupled Atmosphere – Ocean General Circulation Models, AOGCMs). Ці моделі базуються на фізичних принципах Земної системи, таких як гідродинаміка та поширення сонячної радіації. Загальні моделі циркуляції — це числові моделі, які представляють фізичні процеси, що відбуваються в атмосфері, океанах, кріосфері та на поверхні суші, і є найдосконалішими інструментами на сьогоднішній день, пов'язаними з моделюванням глобального клімату на рівні динамічних, хімічних і біологічних процесів та їх взаємодії в поєднанні зі збільшенням концентрації парникових газів.



Рис. 3.1.1. Схематичне представлення атмосфери в Моделях Загальної Циркуляції (МЗЦ) або глобальних кліматичних моделях (ГКМ)

На глобальному рівні: МЗЦАО використовуються для симуляції минулого та майбутнього клімату на глобальному рівні при різних умовах радіаційного впливу. Відповідно до 5-ї фази проєкту порівняння об'єднаних моделей (CMIP5) оцінюються різні майбутні радіаційні умови Репрезентативних Шляхів Концентрацій (наприклад, RCP 4.5 і RCP 8.5).

МЗЦАО, які використовуються для моделювання зміни клімату, дещо схожі на моделі прогнозу погоди. Різниця полягає в тому, що моделі прогнозування погоди можуть фокусуватися на окремих елементах, оскільки вони використовуються для різних цілей і в різних часових масштабах (наприклад, швидкість і напрямок вітру для авіації). МЗЦАО приділяють більшу увагу суші, океану, льодовиковим процесам, а також балансу довготривалих процесів, таких як гідрологічний цикл.

Сценарії зміни клімату, отримані безпосередньо з ГКМ, можуть не мати достатньої просторової роздільної здатності, щоб віднести зміни до регіону чи конкретного місця. Просторова роздільна здатність ГКМ означає, що поверхні суші та орографічні особливості значно спрощені відносно реальності, що призводить до втрати деяких особливостей, які можуть мати значний вплив на регіональний клімат. Цю прогалину заповнюють регіональні кліматичні моделі (РКМ), які, як правило, використовують ті ж фізичні принципи, що й ГКМ, але надають результати для частини планети з вищою роздільною здатністю, як правило, від 10 до 50 км. РКМ створюються шляхом інтеграції підмоделі в одному або кількох одиничних масштабах ГКМ (рис.3.1.2). Дані з ГКМ, такі як тиск, вітер, температура та опади на різних рівнях для області, що представляє інтерес, використовуються як початкові та граничні умови в РКМ. Глобальні моделі циркуляції в поєднанні з регіональними - єдиний кліматичний інструмент, що може надавати фізичні та географічні оцінки відносно локальної зміни клімату.

Регіональні кліматичні моделі (РКМ) створені на основі ГКМ. Для зменшення масштабу до вищої роздільної здатності використовуються лише регіональні моделі атмосфери з умовами радіаційного впливу такими ж, як і для ГКМ (наприклад, RCP 4.5 і RCP 8.5). Крім того, ГКМ визначає граничні умови для РКМ. Основна роль РКМ полягає в додаванні деталей до топографії та фізичних параметрів у конкретному масштабі, для якого вони були спочатку побудовані (рис.3.1.2).

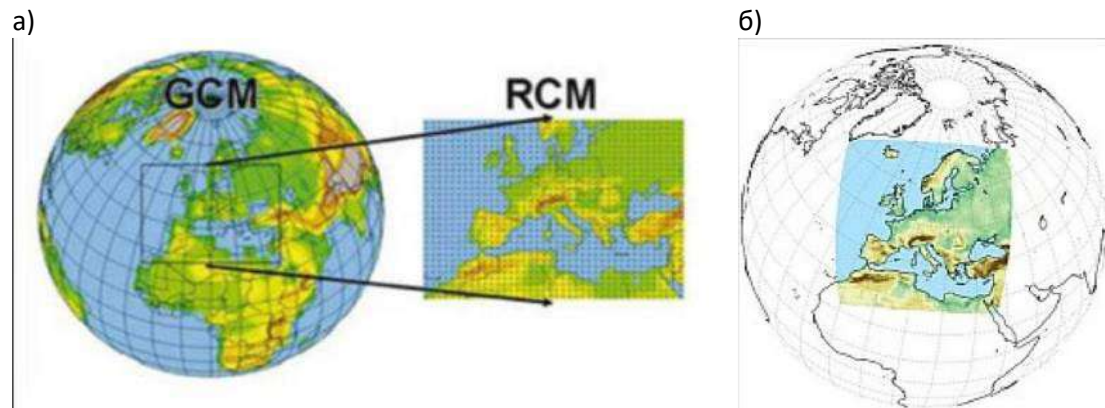


Рис. 3.1.2. Орієнтовний зв'язок між областями та масштабами моделі загальної циркуляції та регіональної кліматичної моделі (а) і область моделювання Міжнародної ініціативи з координованого масштабування ГKM для Європи EuroCORDEX (б).

Для отримання кліматичних даних для Івано-Франківської області були використані вихідні дані Euro-CORDEX на основі РКМ, які керувались граничними умовами з ГKM за сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5. EURO-CORDEX є європейською філією міжнародної ініціативи CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment), який організовує координовану на міжнародному рівні структуру для ансамблевого масштабування кількох ГKM 5-ї фази проєкту взаємопорівняння об'єднаних моделей (CMIP5).

У 2014 році Міжурядова група експертів зі зміни клімату (IPCC) опублікувала свій 5-й оціночний звіт. Відповідно до цього звіту, антропогенні викиди парникових газів є зумовленими, в основному, чисельністю населення, економічною діяльністю, способом життя, споживанням енергії, моделями землекористування, технологіями та кліматичною політикою. На його основі запропоновано чотири сімейства кліматичних сценаріїв концентрацій парникових газів (Representative Concentration Pathways – RCP), які пов'язані з часовими рядами концентрацій викидів парникових газів, аерозолів та хімічно активних газів в атмосфері, а також із змінами землекористування. Ці сценарії включають один сценарій низької концентрації (RCP 2.6), два помірних/середніх (RCP 4.5 і RCP 6.0) і один сценарій з дуже високими концентраціями парникових газів (RCP 8.5) (рис. 3.1.2 IPCC). RCP2.6 є репрезентативним сценарієм, за яким підвищення середньої глобальної температури порівняно з доіндустріальним періодом оцінюється нижче 2°C (IPCC, 2014).

В назву сценаріїв входить значення додаткової енергії радіаційного впливу у Вт/м² через антропогенну діяльність в 2100 році порівняно з доіндустріальним періодом (1850-1900 роки), а саме RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 і RCP 8.5 відповідно. На рис.3.1.3 показано зростання концентрацій CO₂-екв з 2000 до 2100 року для Репрезентативних шляхів концентрацій (RCP), а на рис.3.1.4 – радіаційний вплив і викиди CO₂.



IPCC AR5 Greenhouse Gas Concentration Pathways

Representative Concentration Pathways (RCPs) from the fifth Assessment Report by the International Panel on Climate Change

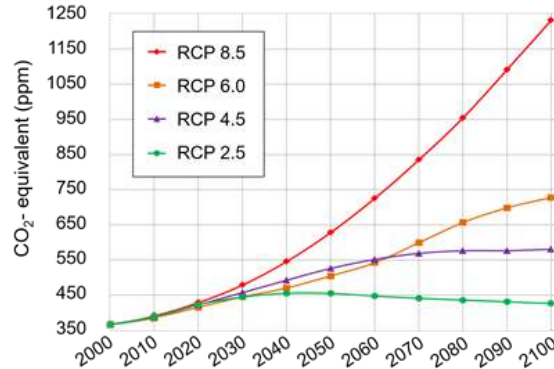


Рис. 3.1.3. Динаміка концентрації CO₂-екв з 2000 до 2100 року для Репрезентативних шляхів концентрацій (RCP) 5-ої доповіді МГЕЗК. Джерело: 5-та доповідь МГЕЗК (МГЕЗК, 2014 р.)

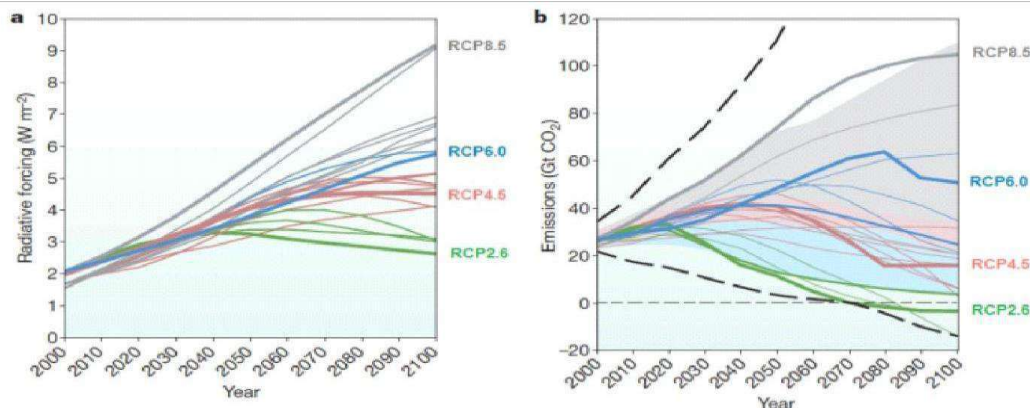


Рисунок 3.1.4 Кліматичні сценарії (репрезентативні шляхи концентрацій - RCP): а) зміна радіаційного впливу порівняно з доіндустріальною епохою та б) викиди CO₂ для різних сценаріїв RCP. Чотири сценарії RCP позначені жирним кольором, а окремі сценарії з приблизно 30-ти сценаріїв потенційних RCP позначені тонкими лініями (Moss et al., 2010).

Міжурядова група експертів зі зміни клімату (МГЕЗК) у своєму 5-му зведеному звіті оцінила зміну глобальної середньої температури (°C) і глобального середнього підвищення рівня моря (м) для чотирьох RCP та за період часу до 2100 року. Значення змін представлені в таблиці 3.1.1 нижче.

Таблиця 3.1.1 Зміна середньої глобальної температури (°C) та глобального середнього рівня моря (м) відносно базового історичного періоду 1986-2005 для різних RCP сценаріїв відповідно до 5-го оціночного звіту МГЕЗК (IPCC, 2014)

Очікувана зміна, відповідно до оціночного звіту IPCC (5th Assessment Report)					
		2046 - 2065		2081 - 2100	
	Сценарій	Середнє значення	Проміжок	Середнє значення	Проміжок
Глобальна середня	RCP 2.6	1.0	0.4 – 1.6	1.0	0.3 – 1.7
	RCP 4.5	1.4	0.9 – 2.0	1.8	1.1 – 2.6

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проект, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму



температура (°C)	RCP 6.0	1.3	0.8 – 1.8	2.2	1.4 – 3.1
	RCP 8.5	2.0	1.4 – 2.6	3.7	2.6 – 4.8
Глобальний середній рівень моря (м)	RCP 2.6	0.24	0.17 – 0.32	0.40	0.26 – 0.55
	RCP 4.5	0.26	0.19 – 0.33	0.47	0.32 – 0.63
	RCP 6.0	0.25	0.18 – 0.32	0.48	0.33 – 0.63
	RCP 8.5	0.30	0.22 – 0.38	0.63	0.45 – 0.82

У поточній Стратегії адаптації кліматичні проєкції ґрунтуються на помірному (RCP 4.5) і найгіршому сценарії (RCP 8.5):

- RCP4.5 був розроблений командою GCAM з Об'єднаного дослідницького інституту глобальних змін Тихоокеанської північно-західної національної лабораторії (JGCR) у Сполучених Штатах. Це сценарій стабілізації, за яким енергетичний баланс атмосфери стабілізується після 2100 року. Цей сценарій припускає, що програми лісовідновлення будуть реалізовані та зміниться традиція землекористування. Крім того, очікується, що викиди метану будуть стабільними, тоді як викиди CO₂ можуть повільно зростати до 2040 року, а потім почнуть знижуватися. RCP 4.5 являє собою загальне скорочення споживання енергії та використання викопного палива, припускаючи збільшення використання відновлюваних джерел енергії та використання ядерної енергії.
- RCP 8.5 розроблено з використанням моделі MESSAGE та інтегрованої системи оцінювання Міжнародного інституту прикладного системного аналізу (IIASA) в Австрії. Цей сценарій характеризується збільшенням викидів парникових газів, що призводить до високих рівнів концентрації парникових газів. Це відображає майбутню ситуацію, якщо політика скорочення викидів парникових газів не буде реалізована, а викиди метану та N₂O швидко зростатимуть до кінця століття. Землекористування збільшиться через зростання населення, як і використання викопного палива для виробництва та транспортування енергії.

3.1.2 ЗАСТОСУВАННЯ КЛІМАТИЧНИХ ПРОЄКЦІЙ ДО ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ

У контексті минулих, теперішніх і ймовірних майбутніх кліматичних змін необхідно створювати ефективний стратегічний план розвитку та адаптації різних секторів економіки на різних рівнях, від глобального до локального, для прийняття зважених управлінських рішень. Відомо, що зміна клімату нерівномірно впливає на різні регіони нашої планети, а також на окремі сектори економіки, такі як сільське і лісове господарство, біорізноманіття та екосистеми, водні ресурси, рибальство, туризм, об'єкти критичної інфраструктури, охорону здоров'я, будівлі, культурну спадщину тощо. Такі сектори матимуть різний ступінь вразливості до кліматичних чинників та їх поєднання. Отже, з метою розроблення та запровадження економічно обґрунтованого процесу прийняття рішень щодо поточної та майбутньої зміни клімату, стратегія повинна враховувати такі ключові компоненти, як прогнозовані зміни в кліматичній системі, що описують відгук на ймовірні сценарії антропогенних викидів чи концентрації парникових газів, у тому числі на різних часових масштабах, регіональні та локальні фізико-географічні особливості та особливості економіки певної території. Тож, представлена Стратегія адаптації до зміни клімату для Івано-Франківської області дозволяє точніше



оцінити ймовірну зміну клімату регіону та наслідки, а отже вжити найбільш ефективних заходів для попередження збитків чи використання переваг, тобто адаптації економіки та добробуту населення в масштабах окремої області та району.

Отримані результати щодо оцінки вразливості території Івано-Франківської області розроблено за двома сценаріями репрезентативних концентрацій RCP 4.5 і RCP 8.5, оскільки саме для них для території України очікуються найбільші зміни чинників кліматичного впливу. Кліматичні проєкції включають у себе деякі припущення щодо ймовірної зміни клімату у майбутньому залежно від обраної кліматичної політики щодо викидів парникових газів (ПГ), аерозолів і забруднюючих речовин. RCP 4.5 має пік радіаційного впливу у $4,5 \text{ Вт м}^{-2}$ і з прогнозованим підвищенням аномалії приземної температури повітря на $2,4\text{--}2,8^\circ\text{C}$ до кінця 21 століття. [Thomson et al., 2018; Christensen, 2013]. RCP 8.5 передбачає т.з. сценарій «бізнес як зазвичай» з найбільш «песимістичним» шляхом або шляхом високих репрезентативних концентрацій з підвищенням радіаційного впливу до $8,5 \text{ Вт м}^{-2}$ і вище із найбільш значним глобальним потеплінням, коли прогнозована приземна температура повітря зростає на більш ніж 4°C . [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/01/SYRAR5-Glossary_en.pdf; Riahi et al., 2011; Christensen, 2013].

На основі цих RCP отримано кліматичні сценарії, які моделюють ймовірну еволюцію кліматичної системи відповідно до обраного майбутнього сценарію викидів або концентрації (ПГ, аерозолів та забруднюючих речовин) і, як наслідок, радіаційного впливу. Проєкції кліматичних даних отримуються за допомогою застосування ГKM і РКМ [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/01/SYRAR5-Glossary_en.pdf]. Кліматичні сценарії, зокрема, відображають кількісні зміни кліматичних характеристик між майбутнім і базовим періодом. А кліматичні проєкції - змодельований відгук кліматичної системи на просторово-часовий розподіл майбутніх викидів/концентрацій ПГ та аерозолів [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/01/SYRAR5-Glossary_en.pdf].

У даній Стратегії використано змодельовані щоденні дані РКМ із Координованого експерименту з масштабування для Європи EURO-CORDEX ($45^\circ\text{пн.ш.} \text{--} 50^\circ\text{пн.ш.}$ та $2^\circ\text{сх.д.} \text{--} 17^\circ\text{сх.д.}$) [<https://www.euro-cordex.net/index.php.en>; Jacob et al, 2014], (англ. Coordinated Downscaling Experiment - European Domain (CORDEX)) [<https://www.euro-cordex.net/index.php.en>]. CORDEX реалізовується під керівництвом Всесвітньої програми дослідження клімату [<https://cordex.org/>] і отримані дані використані в 5-ій (AR5) та 6-ій (AR6) оціночних доповідях [<https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>; <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>].

Змодельовані дані пройшли сучасні методи корекції відхилень (bias-correction) та застосування ансамблевого підходу. Розрахункова горизонтальна сітка РКМ має досить високу просторову роздільну здатність приблизно $0,1^\circ \times 0,1^\circ$, що наближено дорівнює 10-12 км, на рис.3.5.1 наведено розташування вузлів сітки регіональних кліматичних моделей у межах області із позначенням розділу за висотою над рівнем моря на рівнинну і передгірську частини області (нижче за 400 м), а також на гірську частину, де висоти перевищують 400 м.

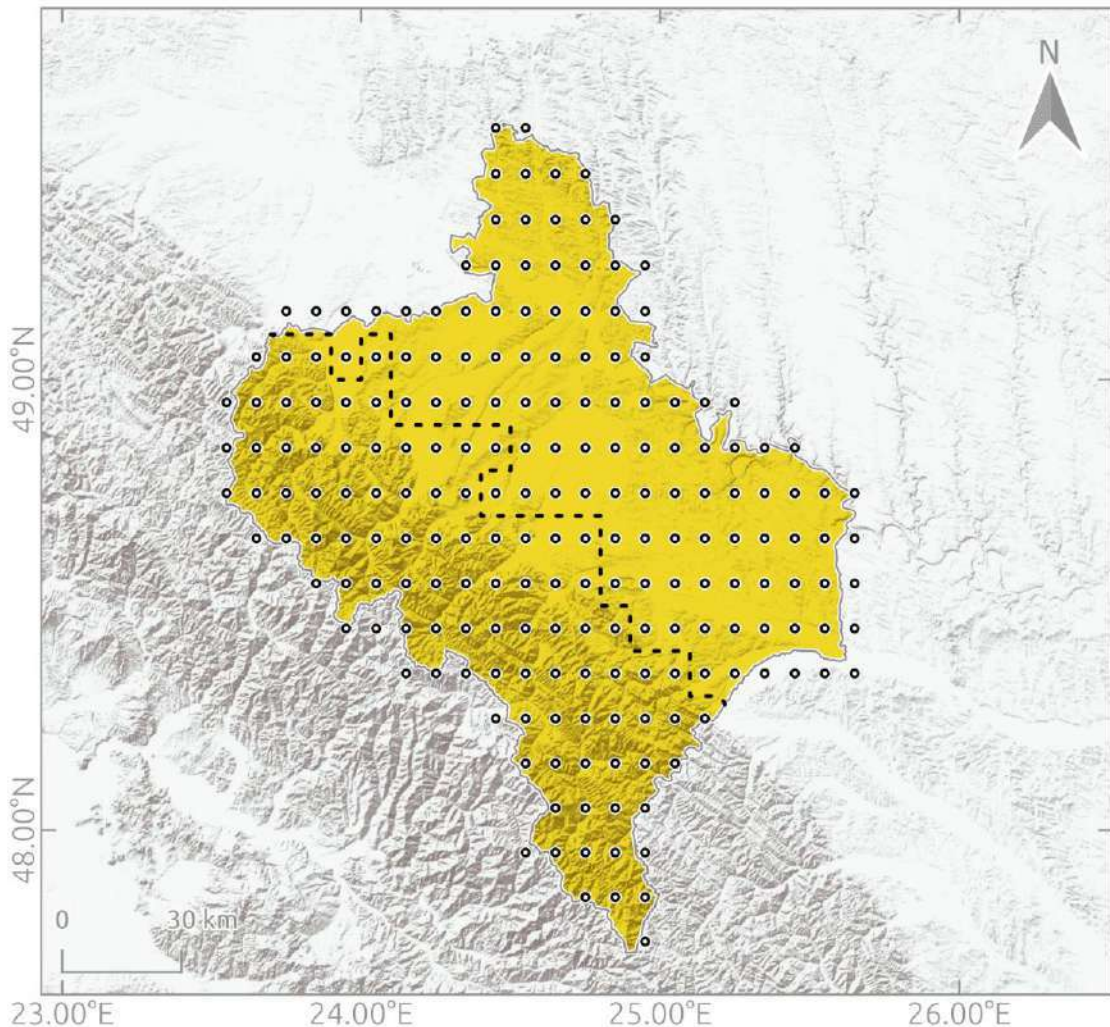


Рис. 3.5.1. Сітка даних моделей для Івано-Франківської області та межа на висоті 400 м над рівнем моря для поділу на рівнинну та гірську частини

Змодельовані історичні та прогнозовані щоденні дані отримані з банку даних Earth System Grid Federation (ESGF), де збережено найбільший архів змодельованих та історичних кліматичних даних [<https://esgf-data.dkrz.de/projects/esgf-dkrz/>; <https://esgf-data.dkrz.de/search/cordex-dkrz/>]. Обсяг завантажених даних для території України сягає кількох терабайт. Початкові історичні та прогнозовані змодельовані кліматичні дані середньої, максимальної, мінімальної температури повітря, опадів (снігу та дощу), поривів вітру, частки площі координатної комірки під сніговим покривом завантажено для загального періоду 1991-2100 роки для сценаріїв RCP 4.5 та RCP 8.5 для європейського домену. Для показника середньої температури повітря отримано дані з 34 наявних РКМ для кожного сценарію. Для максимальної та мінімальної приземної температури повітря було доступно лише 14 РКМ. Для деяких характеристик, таких як відносна вологість, сніг, частки площі комірки під сніговим покривом, максимальна швидкість приземного вітру (пориви) були наявні дані лише за 7, 9, 11, 10 і 13 РКМ відповідно. Початкові змодельовані кліматичні дані та їх розмірності



представлено у таблиці 1 (табл. 1). У другому стовпці наведено ГKM, які були джерелом граничних умов для РКМ.

Для обчислення кліматичних індексів використано змодельовані початкові дані, деякі з яких у поєднанні з даними із Інтерактивного атласу ІА ІРСС АR6 [<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>] (Таблиця 3.1.2).

Для отримання більш точного результату прогнозованих кліматичних характеристик, згладжування небажаних флуктуацій та зменшення похибок застосовано мультимодельний ансамблевий підхід [Stainforth et al., 2005; https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter09_FINAL.pdf; Teegne, 2020]. Це означає набір модельних реалізацій, які стосуються кліматичного прогнозу чи проєкції. Кліматичні моделі характеризуються різними початковими та граничними умовами, перебігом фізичних та інших процесів у кліматичній системі; параметризацією факторів внутрішньої мінливості клімату; власними ступенями невизначеності та помилками, які формують різні кліматичні проєкції. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/01/SYRAR5-Glossary_en.pdf].

Перш ніж оприлюднити ці дані для широкого загалу, кожна з ГKM і РКМ пройшли процедуру перевірки з даними спостережень. Раніше автори [Краковська та ін., 2012, 2016, 2017, 2018; Паламарчук, Краковська, 2018; Звіт, 2021] провели верифікацію окремих РКМ та їх ансамблів з наборами даних бази E-OBS, яка сформована на інструментальних історичних вимірах та спостереженнях для кліматичних характеристик території України [<https://www.ecad.eu/download/ensembles/download.php>]. РКМ обрано за такими критеріями як достовірність результатів моделювання доведена дослідниками для інших регіонів та наявність змодельованих даних для найбільш використовуваних сценаріїв [Краковська та ін., 2012, 2016, 2017, 2018; Паламарчук, Краковська, 2018; Звіт, 2021]. Такий свідомий підхід дозволяє поєднувати різну кількість РКМ і підбирати найбільш доцільний ансамбль. Таким чином, модельний ансамбль може дати набір РКМ, середнє значення яких буде найбільш близьким до реальних значень показників, обраних із набору даних РКМ. Таке усереднення дає кращий результат, ніж кожна окрема РКМ.

Змодельовані щоденні кліматичні дані для європейського домену (Euro-CORDEX) завантажено з ESGF [<https://esgf-data.dkrz.de/search/cordex-dkrz/>] за допомогою bash-скриптів на локальний сервер. Отримані змодельовані дані оброблено за допомогою спеціалізованого програмного пакету Climate Data Operators (CDO). Загалом для кліматичних індексів оброблено та розраховано щоденні історичні та змодельовані дані від 7 до 34 моделей, залежно від наявності даних РКМ (див. таблицю 1). Для отримання даних на території України використано маску, що виокремлює близько 7350 вузлів координатної сітки, де на Івано-Франківську область припадає 212 вузлів, з яких 97 визначено як гірські, оскільки висота цих комірок вище за 400 м над рівнем моря.

Для визначення прогнозованих змін кліматичних характеристик на майбутню перспективу взято часові періоди, які відповідають 6-й оціночній доповіді МГЕЗК:

1. Базові періоди: 1981-2010 рр., 1991-2010 рр., 1986 - 2005 рр.;
2. Найближче майбутнє: 2021-2040 рр.;
3. Середина сторіччя: 2041-2060 рр.;
4. Віддалене майбутнє або кінець сторіччя: 2081-2100.

Нижче наведено приклад алгоритму розрахунку змін у днях з 95-м процентилем максимальних температур повітря (Tmax) для літнього сезону, що відповідає спекотним дням, та 5-м процентилем



мінімальних температур (T_{min}) повітря для зимового сезону, що показує екстремально холодні дні, у $^{\circ}\text{C}$ між кожним із майбутніх 20-річних періодів і базовим періодом 1991-2010 (рис. 3.1.6) як прогноз змін екстремальних кліматичних умов для Івано-Франківської області.



Рис 3.1.6. Алгоритм покрокової обробки даних 14-ти РКМ сценаріїв RCP 4.5 і RCP 8.5 для Tmax 95-го процентилу (літо) та Tmin 5-го процентилу (зима) у кожному вузлі сітки території області

Наприклад, **$Tmax_{95th_day_diff_summer}$** – це на скільки у середньому за рік зміниться кількість днів літнього, коли значення максимальної температури повітря у майбутні періоди (2021-2040; 2041-2060; 2081-2100) перевищуватиме 95-у процентиль у базовому періоді 1991-2010; **$Tmin_{5th_°C_diff_winter}$** – різниця між зимовими значеннями 5-го процентилу мінімальної температури повітря у $^{\circ}\text{C}$ для майбутнього періоду (2021-2040; 2041-2060; 2081-2100) та базового 1991-2010; $Tmin_{5th_°C_20-year_winter}$ (2021-2040; 2041-2060; 2081-2100) – усереднені значення Tmin (5-й процентиль) для зими в $^{\circ}\text{C}$ для майбутнього періоду 2021-2040 (20-річний період); $Tmin_{5th_°C_20-year_winter_1991-2010}$ - усереднені значення Tmin (5-й процентиль) для зими в $^{\circ}\text{C}$ за базовий 1991-2010 (20-річний період).

3.2 АНАЛІЗ ОЧІКУВАНОГО СТУПЕНЮ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ

У даному підрозділі наведено аналіз зміни показників регіонального клімату, при цьому введено таке поняття як “чинник кліматичного впливу”, яке об’єднує як усереднені показники (наприклад, середня багаторічна температура повітря певного місяця), так і показники екстремальності (наприклад, кількість дуже сильних опадів), а також так звані кліматичні індекси (наприклад, гумідекс). Але головне, що зміна показника може призводити до негативного впливу на певні сектори чи території.



У цілому розглядалося 32 чинники (див. таблицю), що розподілялися на 5 категорій і стосувалися температурного режиму (спека та холод), режиму зволоження та посушливості, снігового покриву, вітру та прибережні показники. При цьому кожна з категорій включає як усереднені, так і екстремальні показники. Для Івано-Франківської області відповідно не актуальні прибережні чинники: усереднене підняття рівня моря та максимальна висота нагонних хвиль, які відсутні у таблиці.

Таким чином для Івано-Франківської області всього проаналізовано 30 показників, з яких половина характеризує температурний режим. А саме п'ять чинників характеризують негативний вплив від підвищення усереднених температур повітря: за рік і у центральні місяці всіх сезонів (січень, квітень, липень і жовтень), а також передбачається негативний вплив від зменшення тривалості вегетаційного періоду. Також чотири чинники, які характеризують негативний вплив від підвищення показників спеки, базуються на добових максимальних та мінімальних температурах повітря. Для оцінки негативного впливу зміни клімату також виділено дві категорії з 4 показниками, які стосуються можливого збільшення хвиль холоду і відповідно підвищення градусоднів опалювального періоду, та кількості морозних днів та днів із заморозками, що не можна виключати навіть при загальному потеплінні, особливо в найближчий період.

IPCC CID	IPCC CID категорія	Назва чинника кліматичного впливу, одиниці вимірювання, стрілки вказують напрям негативного впливу	Джерело даних & Додатки
СПЕКА ТА ХОЛОД	СЕРЕДНЯ ТЕМПЕРАТУРА ПОВІТРЯ	↗ Середня температура повітря за рік, °C	УГМІ
		↗ Середня температура повітря за січень, °C	УГМІ
		↗ Середня температура повітря за квітень, °C	УГМІ
		↗ Середня температура повітря за липень, °C	УГМІ
		↗ Середня температура повітря за жовтень, °C	УГМІ
		↘ Тривалість вегетаційного періоду, д/р	УГМІ
	ЕКСТРЕМАЛЬНА СПЕКА	↗ Середня за літо максимальна добова температура повітря, °C	ІА МГЕЗК
		↗ Кількість днів з дуже сильною та екстремальною спекою, д/р	УГМІ
		↗ Тропічні ночі, д/р	УГМІ
		↗ Індекс Гумідекс для середніх максимальних температур повітря влітку, д/р	
		↗ Градусодні періоду кондиціонування повітря, гд/р	ІА МГЕЗК
	ХВИЛІ ХОЛОДУ	↘ Температура дуже холодних днів у зимові місяці, °C	УГМІ
		↗ Градусодні опалювального періоду, гд/р	ІА МГЕЗК
	МОРОЗИ	↗ Дні з морозом, д/р	УГМІ
		↗ Морозні дні, д/р	УГМІ
ЗВОЛОЖЕННЯ ТА	УСЕРЕДНЕНІ ОПАДИ	↘ Кількість опадів за рік, %	УГМІ
		↘ Кількість опадів за січень, %	УГМІ



ПОСУШЛИВІСТЬ		≥ Кількість опадів за квітень, %	УГМІ
		≥ Кількість опадів за липень, %	УГМІ
		≥ Кількість опадів за жовтень, %	УГМІ
	ЗЛИВИ ТА ДОЩОВІ ПАВОДКИ	↗ Максимальна кількість опадів за 5 днів, мм	ІА МГЕЗК
		↗ Максимальна кількість опадів за добу, мм	ІА МГЕЗК
		↗ Щорічна кількість дуже сильних опадів, %	УГМІ
	ПОСУХИ	↗ Максимальна тривалість посухи за 20-річчя, д/р	УГМІ
	ПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕЧНА ПОГОДА	↗ Кількість днів із пожежонебезпечною погодою FWI > 30, д/р	Copernicus
СНІГОПАДИ ТА СНІГОВИЙ ПОКРИВ	РІЧНА СУМА ОПАДІВ ЗА СНІГОПАДИ	≥ Річна сума опадів у вигляді снігу, мм	УГМІ
	ДНІ ІЗ СНІГОВИМ ПОКРИВОМ	≥ Кількість днів з часткою снігового покриву ≥ 30%, д/р	УГМІ
	ДНІ З ПОМІРНИМ СНІГОПАДОМ	↗ Кількість днів зі снігопадом ≥ 10 мм за добу, д/р	УГМІ
ШВИДКІСТЬ ПРИЗЕМНОГО ВІТРУ	СЕРЕДНЯ ШВИДКІСТЬ ВІТРУ	↗ Середня швидкість вітру, м/с	ІА МГЕЗК
	ПОРИВИ ВІТРУ	↗ Пориви вітру, д/р	УГМІ

В категорії зволоження та посушливості також входять чинники, що базуються на усередненій кількості опадів за рік та у центральні місяці сезонів, при цьому негативний вплив очікується від зменшення цих усереднених показників, у той час як для чинників, які характеризують екстремальність режиму опадів, їхнє підвищення призводить до негативного впливу. Для оцінки ступеня впливу посилення посушливості використовувався індекс, який характеризує максимальну тривалість посушливого періоду. Також до цієї категорії віднесено індекс підвищення кількості днів із пожежонебезпечними погодними умовами, які визначалися перевищенням індексу Fire Weather Index (FWI) значення 30.

В категорію чинників, які характеризують сніговий покрив, включено два, що базуються на усереднених показниках (річна сума опадів у вигляді снігу і кількість днів з сніговим покривом більше за 30% території), зменшення яких вказує на негативний вплив, і також для оцінки впливу зміни екстремальності включено збільшення кількості днів із снігопадами понад 10 мм на добу.

Негативний вплив від зміни вітрового режиму оцінювався за збільшенням середньої швидкості вітру, а також кількості днів на рік із поривами вітру, що перевищували 6 балів за шкалою Бофорта (10,8 м/с).

В Таблиці в останній колонці також подано джерела даних, які використовувалися для оцінки ступенів впливу кліматичних чинників.

Також в описі чинників кліматичного впливу та вразливості секторів економіки використовуватиметься поділ області на рівнинну та гірську частини, які розмежовуються за висотою 400 м над рівнем моря, а також наводитимуться назви районів області (рис.3.2.1) та коли доречно громад (рис. 3.2.2).

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проєкт, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму

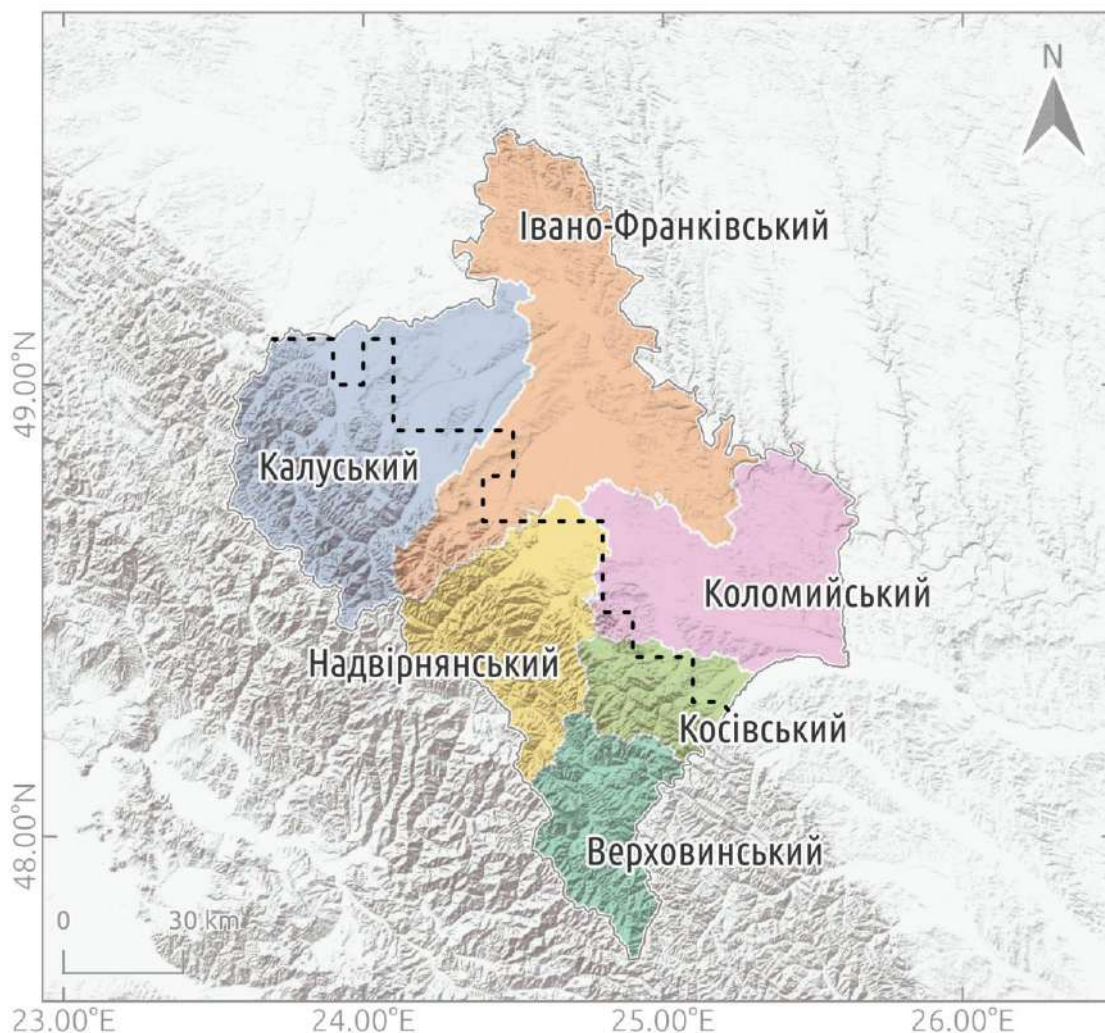


Рис.3.2.1 Райони Івано-Франківської області

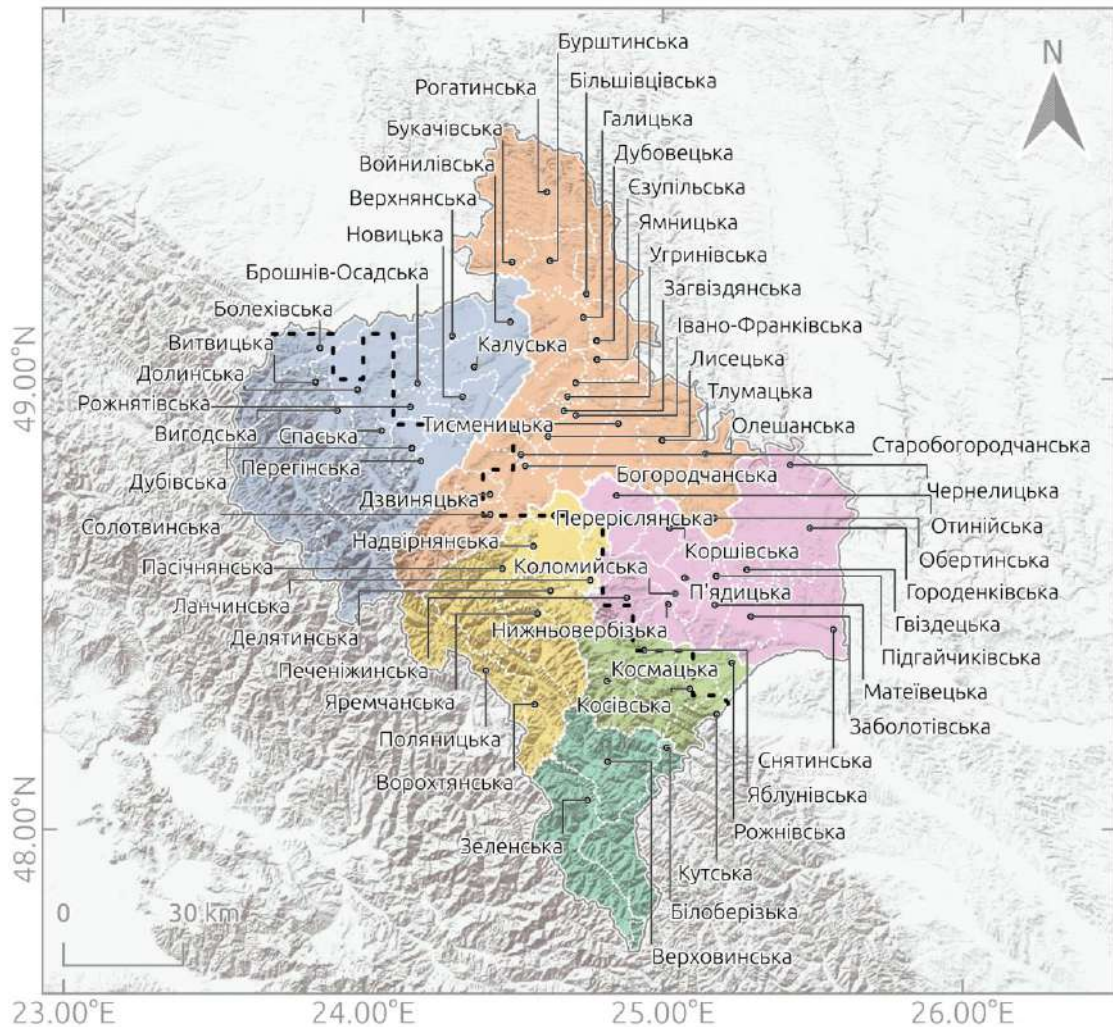


Рис. 3.2.2 Громади Івано-Франківської області



3.2.1 СПЕКА ТА ХОЛОД

3.2.1.1 СЕРЕДНЯ ТЕМПЕРАТУРА ПОВІТРЯ

3.2.1.1.1 Середня температура повітря за рік

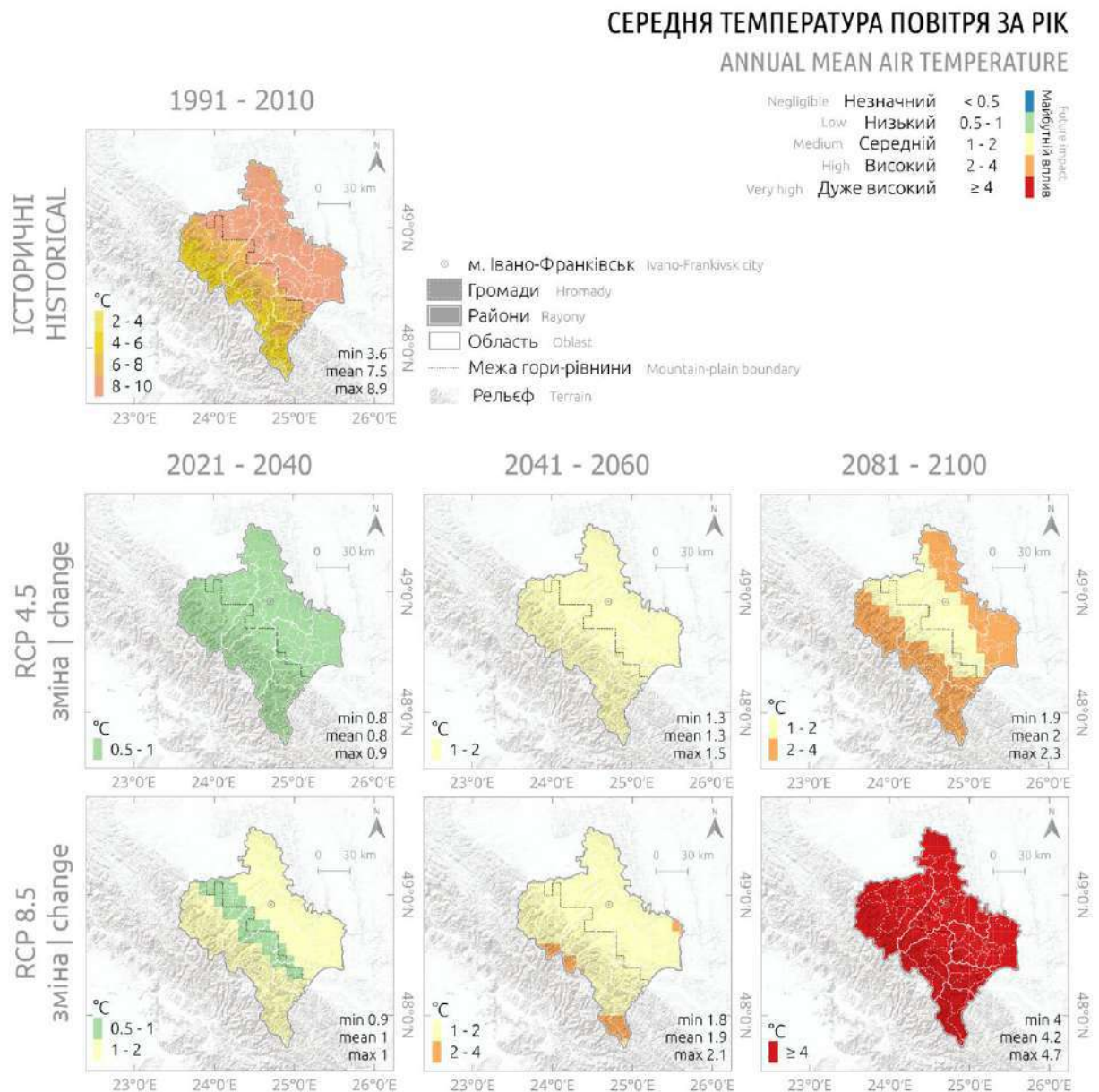


Рис. 3.2.3 Середня температура повітря за рік

Середня температура повітря за рік є однією з основних узагальнених кліматичних характеристик термічного режиму певної території. Даний показник отримується шляхом знаходження середніх значень приземної температури повітря впродовж всього року. Проте глобальні зміни клімату через зростання вмісту парникових газів та аерозолів в атмосфері внаслідок антропогенної діяльності спричиняють зміни на глобальному і регіональному масштабі та, зокрема, призводять до зростання середньої річної температури повітря. Звичайно, даний показник є доволі згладженим та не відображає зміни у внутрішньорічному розподілі кількісних значень кліматичної характеристики,

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проект, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму



яка потенційно може впливати на різні галузі економіки, проте він демонструє узагальнені тенденції. Оскільки територія Івано-Франківської області характеризується нерівномірним рельєфом (рівнинний, передгірський та гірський), то важливою є оцінка зміни даного показника враховуючи особливості території.

У представленій Стратегії для оцінки зміни клімату на території Івано-Франківської області використано та оброблено дані середньої добової приземної температури повітря 34 регіональних кліматичних моделей (PKM) проєкту Euro-CORDEX [ESGF, Euro-CORDEX]. Отримані дані моделей мають горизонтальний крок сітки у просторі $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$, що приблизно становить $12,5 \times 12,5$ км. Така роздільна здатність є достатньою для оцінки зміни регіональних кліматичних характеристик області. Дані PKM завантажені за допомогою bash-скриптів з бази даних сайту [ESGF, Euro-CORDEX] та оброблені з використанням програмного пакетного оператора функцій Climate Data Operators (CDO). Розрахунок здійснено для базового періоду 1991-2010 та двох найбільш вживаних сценаріїв репрезентативних концентрацій парникових газів RCP 4.5 та RCP 8.5 для трьох майбутніх періодів: найближчий 2021-2040, середина 2041-2060 та кінець сторіччя 2081-2100. Для розрахунку значень середньої багаторічної приземної температури повітря для кожного з періодів застосовувалася функція CDO `timmean`, яка дозволяє усереднювати значення для кожного з двадцятирічних періодів. Для знаходження кліматичних проєкцій середньої температури повітря за рік знаходилася різниця у $^{\circ}\text{C}$ між її значеннями у кожний майбутній двадцятирічний період та у базовий 1991-2010 для кожної з PKM, після чого проводилося ансамблеве усереднення отриманих різниць, які характеризують зміну показника.

За ступенями впливу зміни середньої температури повітря за рік на різні сектори економіки Івано-Франківської області виділено наступні категорії порогових значень:

1. незначний (very low) до $0,5^{\circ}\text{C}$;
2. низький (low) від $0,5^{\circ}\text{C}$ до $1,0^{\circ}\text{C}$;
3. середній (moderate/medium) від $1,0^{\circ}\text{C}$ до $2,0^{\circ}\text{C}$;
4. високий (high) від $2,0^{\circ}\text{C}$ до $4,0^{\circ}\text{C}$;
5. дуже високий (very high) вище $4,0^{\circ}\text{C}$.

За базовий історичний період 1991-2010 за ансамблем PKM середня температура повітря за рік Івано-Франківської області є неоднорідною через складний рельєф території. На рівнинній частині території та передгірській (Передкарпатті), що розташована на сході та північному сході, середня річна температура є вищою та становить вище $+8,0^{\circ}\text{C}$, максимально до $+8,9^{\circ}\text{C}$ (схід Калуського району, переважна частина Івано-Франківського району, Коломийський район). Для гірського масиву Українських Карпат, де відбувається вплив висотної поясності, значення становлять на східних схилах Карпат у межах $6,0-8,0^{\circ}\text{C}$, тоді як у високогір'ї значення становлять $4,0-6,0^{\circ}\text{C}$. Мінімальні значення $+3,6^{\circ}\text{C}$ характерні для найвищого гірського масиву Чорногора (Ворохтянська громада Надвірнянського району).

У найближчому майбутньому 2021-2040 за реалізації сценарію RCP 4.5 (рис. 3.2.3) відбуватиметься однорідне зростання середньої температури повітря за рік на $0,8-0,9^{\circ}\text{C}$ на території Івано-Франківської області відносно базового історичного 1991-2010. У випадку реалізації RCP 8.5 зміни будуть трохи вищими та становитимуть $0,9-1,0^{\circ}\text{C}$. Мінімальні значення будуть характерні для

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом



східного схилу Українських Карпат. Отримані значення відповідають низькому впливу на сектори економіки за сценарієм RCP 4.5 та переважно середньому за RCP 8.5.

На середину сторіччя 2041-2060 за RCP 4.5 (рис.3.2.3) очікується подальший ріст середньої температури повітря за рік на 1,3-1,5°C по всій території Івано-Франківської області відносно базового. Натомість за RCP 8.5 таке зростання температури буде інтенсивнішим. Мінімальні значення становитимуть 1,8°C, середні 1,9°C, тоді як максимальні значення 2,1°C. Такі осередки виділятимуться на окремих ділянках заходу, півдня та сходу області. Отримані значення за обома RCP-сценаріями відповідають переважно середньому ступеню впливу.

Для віддаленого майбутнього 2081-2100 за сценарієм RCP 4.5 (рис. 3.2.3) підвищення середньої температури за рік становитиме максимально 2,3°C. Такі значення будуть характерні для заходу (регіон Українських Карпат) та сходу Івано-Франківської області. Тоді як в центрі значення будуть нижчими та становитимуть мінімально 1,9°C (східна частина Калуського, переважна частина Івано-Франківського районів, Коломийського та Косівського районів). Середнє значення по області становить 2,0°C. За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 (рис. 3.2.3) у порівнянні з RCP 4.5, до кінця сторіччя відбуватиметься інтенсивніше підвищення середньої температури повітря за рік, практично вдвічі та становитиме мінімально 4,0°C, тоді як максимальні зміни сягнуть 4,7°C. Середнє підвищення температури по області становитиме 4,2°C. Такі зміни температурного режиму потенційно посилюватимуть вплив, та він буде середнім та високим за RCP 4.5, тоді як за RCP 8.5 він сягатиме порогових значень дуже високого.

Проте слід зазначити, що показник зміни середньої температури повітря за рік за двадцятирічні періоди є доволі узагальнюючим та показує згладжені тенденції зміни термічного режиму території Івано-Франківської області. Тому надалі більш детально розглянуто та проаналізовано зміни температури для центральних місяців сезонів: січня, квітня, липня та жовтня, що дозволяє провести більш ґрунтовний аналіз зміни температурного режиму та оцінити ступінь вразливості секторів економіки Івано-Франківської області з більшою точністю і ступенем довіри.



3.2.1.1.2 Середня температура повітря за січень

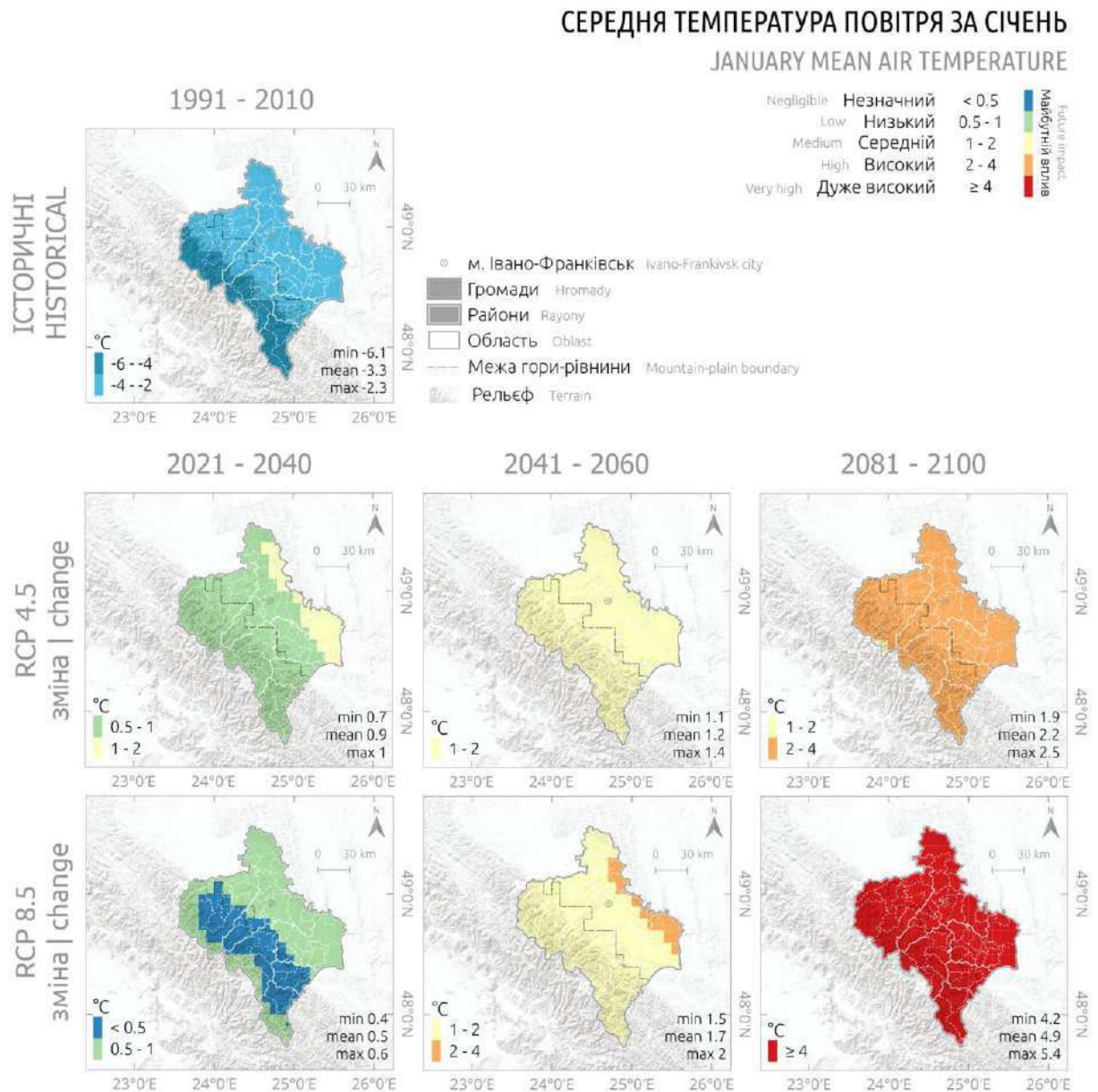


Рис. 3.2.4 Середня температура повітря за січень

Для виокремлення змін термічного режиму в регіональному масштабі для Івано-Франківської області виникає необхідність проаналізувати зміни середньої приземної температури повітря за сезонами, оскільки вони мають різну інтенсивність та просторово-часовий розподіл через рівнинний, передгірський та гірський форми рельєфу. Для зимового сезону оцінка зміни середньої приземної температури повітря здійснювалася на прикладі центрального місяця зими - січня.

Як і для середньої температури повітря за рік, для січня використано ті ж самі дані середньої добової температури 34 PKM проєкту Euro-CORDEX з просторовим покриттям 0,1°x0,1°, що еквівалентно приблизно 12,5x12,5 км. Використано аналогічно два RCP-сценарії (RCP 4.5 та RCP 8.5) репрезентативних концентрацій парникових газів. Дані моделей завантажено з сайту [ESGF, Euro-

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проект, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму



CORDEX]. Отримані дані оброблялися з використанням пакета Climate Data Operators (CDO), де за допомогою функції `uinterp` проводився розрахунок середніх значень температури повітря за січень для базового історичного періоду 1991-2010 та подальших майбутніх 20-річних періодів: 2021-2040, 2041-2060 та 2081-2100. Для отримання змін середньої приземної температури повітря знаходилися різниці у °C між значеннями за кожною з РКМ для кожного майбутнього періоду та для базового історичного 1991-2010 для двох RCP-сценаріїв, а потім усереднювалися ці різниці за такими мультимодельними ансамблями.

Порогові значення ступеню негативного впливу середньої температури повітря для зимового сезону на прикладі місяця січня через глобальну зміну клімату для території Івано-Франківській області такі самі як і для зміни середньої температури повітря за рік:

1. незначний (very low) до 0,5°C;
2. низький (low) від 0,5°C до 1,0°C;
3. середній (moderate/medium) від 1,0°C до 2,0°C;
4. високий (high) від 2,0°C до 4,0°C;
5. дуже високий (very high) вище 4,0°C.

Для базового історичного періоду 1991-2010 (рис. 3.2.4) середня температура повітря за січень для території Івано-Франківської області характеризується неоднорідним просторовим розподілом через значні перепади висот та наявності гірської системи Українські Карпати. Мінімальні значення багаторічної середньої температури повітря у січні становлять -6,1°C, середні значення становлять -3,3°C, тоді як максимальні -2,3°C.

Для періоду найближчого майбутнього 2021-2040 по відношенню до базового 1991-2010 за RCP 4.5 (рис. 3.2.4) відмічатиметься зростання середньої температури повітря у січні максимально до 1,0°C на сході Івано-Франківської області (Більшівцівська, Дубовецька, Єзупільська, Олешанська громади Івано-Франківського району; Чернелицька, Городенківська, Снятинська громади Коломийського району). Тоді як на решті території значення будуть нижчими. Мінімальні значення становитимуть 0,7°C, тоді як усереднені зміни 0,9°C. Для цього ж періоду за RCP 8.5 відмічатиметься дещо нижче зростання середньої температури повітря у січні. Максимальні зміни становитимуть 0,6°C, середнє по області 0,5°C. Мінімальні значення 0,4°C будуть характерні частково для району Передкарпаття та Карпат. Отримані значення зміни середньої температури повітря у січні за RCP 4.5 у найближчому майбутньому відповідають низькому та середньому впливу на сектори економіки, водночас за RCP 8.5 він буде незначним та низьким.

Для періоду середини сторіччя 2041-2060 (рис. 3.2.4) за реалізації RCP 4.5 на території Івано-Франківської області очікується підвищення середньої температури повітря за січень мінімально на 1,1°C, тоді як максимально на 1,4°C. Середнє по області становитиме 1,2°C. Тоді як за реалізації RCP 8.5 зміни будуть більш інтенсивними. Максимальні 2,0°C будуть характерні для сходу області (Більшівцівська, Дубовецька, Єзупільська, Олешанська громади Івано-Франківського району; Чернелицька, Городенківська громади Коломийського району). Мінімальні значення становитимуть 1,5°C, а середнє 1,7°C. Такі значення за обома RCP-сценаріями відповідають переважно середньому негативному впливу цього чинника на галузі економіки.



На кінець сторіччя 2081-2100 очікується подальше зростання середньомісячної температури повітря по всій території Івано-Франківської області в зимовий сезон на прикладі центрального місяця - січня за сценарієм RCP 4.5 (рис. 3.2.4). Мінімальне підвищення становитиме 1,9°C, максимальне 2,5°C. Середнє значення по території зростає на 2,2°C. Для цього ж періоду за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 відбуватиметься найінтенсивніше зростання середньої температури повітря у січні. Максимальне підвищення становитиме до 5,4°C, середнє по області 4,9°C, а мінімальне значення 4,2°C. Таким чином, на кінець сторіччя за помірним сценарієм RCP 4.5 ступінь впливу підвищення середньої приземної температури повітря взимку буде високим, тоді як за RCP 8.5 високих концентрацій посиляться та буде дуже високим.

Зауважимо, що високою чутливістю до негативного впливу внаслідок зростання зимової приземної температури повітря можуть зазнати будівлі, культурна спадщина, тоді як помірна чутливість характерна для інфраструктури енергетики, рибальства та аквакультури, здоров'я, наземних та прісноводних екосистем, здоров'я, гірськолижного туризму. Низька чутливість до впливу підвищення зимових температур встановлена для наземного та водного транспорту, тваринництва, водних ресурсів та лісового господарства, прибережних територій, рекреації та туризму. До зростання температури взимку мало чутливе управління ризиками стихійних лих та рослинництво, оскільки передбачається негативний вплив не від усереднених, а екстремальних показників температурного режиму.



3.2.1.1.3 Середня температура повітря за квітень

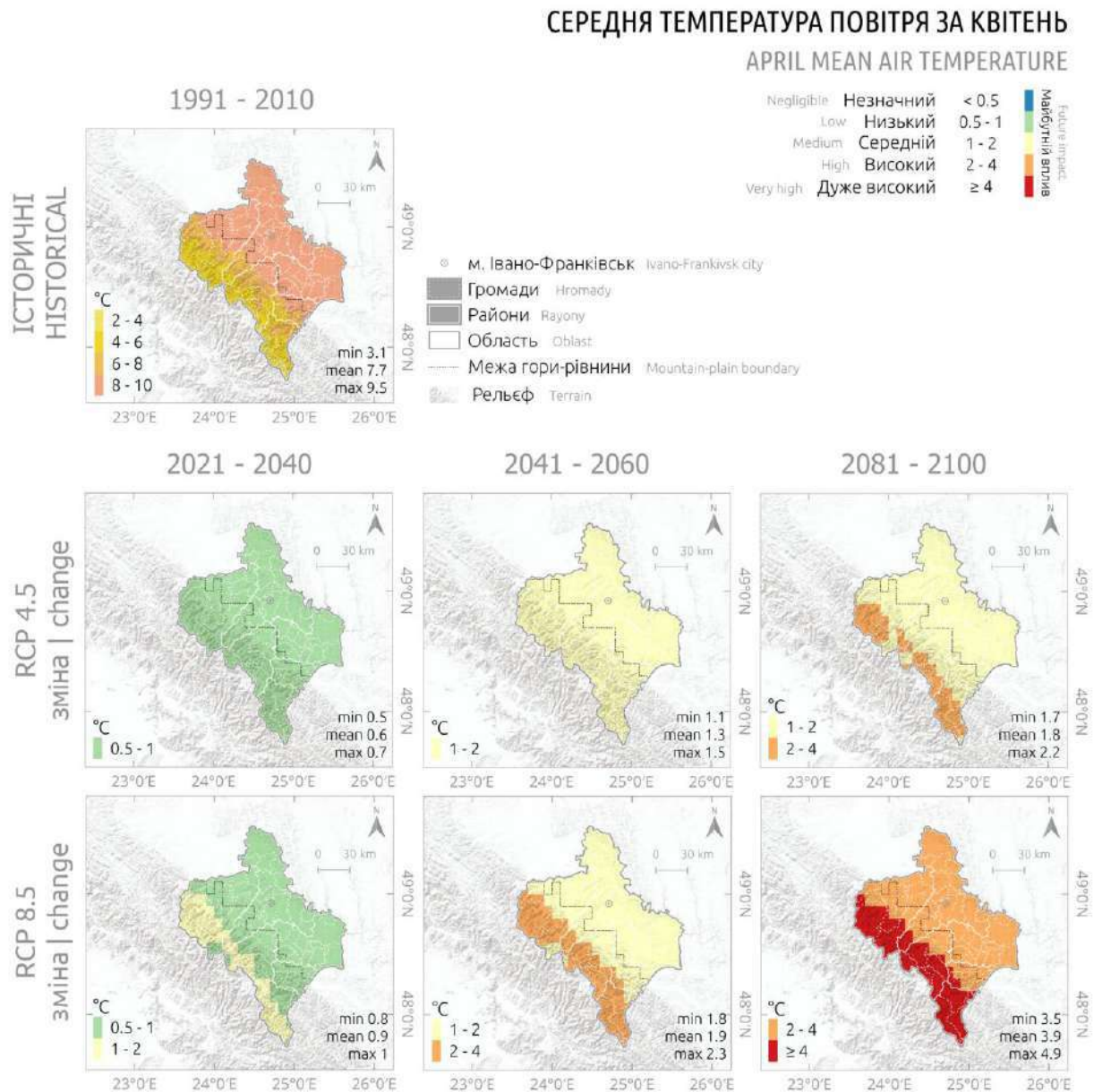


Рис. 3.2.5 Середня температура повітря за квітень

Навесні, зміни середньої приземної температури повітря є важливими для різних секторів економіки, зокрема тих, де існує залежність від дат переходу температури через певні межі - сільське та лісове господарства, наземні та водні екосистеми, енергетика, транспорт, будівлі, управління ризиками тощо. Оцінка здійснювалася для зміни середніх значень температури повітря для центрального місяця весняного сезону - квітня.

Для розрахунку температури весняного сезону виконувався подібний алгоритм дій як і для попередніх показників середньорічної та зимової приземної температури повітря для Івано-Франківської області. Для отримання значень у квітні використано середню добову приземну температуру повітря з 34 PKM проєкту Euro-CORDEX з використанням сценаріїв RCP 4.5 та RCP 8.5. Отримані дані завантажені з [ESGF, Euro-CORDEX] та мають горизонтальний крок сітки 0,1°x0,1°

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проект, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму



(12,5x12,5 км). Для оцінки зміни середньої приземної температури для весняного сезону на території Івано-Франківської області розглянуто 4 періоди: базовий історичний 1991-2010 та майбутні 2021-2040, 2041-2060 та 2081-2100. Обробка даних та отримання усереднених значень приземної температури повітря відбувалося за допомогою функції `ymonmean` пакету CDO для кожного з 20-річних періодів за кожною з РКМ та знаходилася різниця в °C між майбутнім та базовим періодами. Наступним кроком було знаходження середніх значень за ансамблем 34 РКМ.

Відповідно до зміни приземної температури повітря навесні на прикладі центрального місяця сезону квітня, встановлені такі п'ять градацій ступеня впливу даного показника на галузі економіки в Івано-Франківській області:

1. незначний (very low) до 0,5°C;
2. низький (low) від 0,5°C до 1,0°C;
3. середній (moderate/medium) від 1,0°C до 2,0°C;
4. високий (high) від 2,0°C до 4,0°C;
5. дуже високий (very high) вище 4,0°C.

У базовий історичний період 1991-2010 (рис. 3.2.5) значення середньої температури повітря за квітень характеризуються значним розкидом значень через неоднорідний рельєф та вплив висотної поясності Українських Карпат. На рівнинній території та Передкарпатті, які є переважно нижчими за абсолютними висотами, підстильна поверхня прогрівається швидше та температура становить у межах +8,0...+9,5°C, що є найвищим значенням. Натомість у горах (західна частина Калуського, Івано-Франківського, Надвірнянського, Косівського та всього Верховинського району) температура у квітні змінюється в залежності від висоти. На східних схилах вона становить +6,0...+8,0°C з подальшим зниженням до +4,0...+6,0°C у високогір'ї, де мінімальна температура становить +3,1°C (масив Чорногора, Ворохтянська громада Надвірнянського району).

У період найближчого майбутнього 2021-2040 (рис. 3.2.5) за RCP 4.5 відмічатиметься деяке підвищення значень весняної середньої приземної температури повітря у порівнянні з базовим періодом 1991-2010. Максимально температура у квітні зросте на 0,7°C, середнє значення по області складатиме 0,6°C, тоді як мінімальне зростання 0,5°C. Отримані значення характеризують низький ступінь впливу чинника на галузі економіки. За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 спостерігатиметься також відносно однорідне підвищення середньої температури повітря за квітень по території Івано-Франківської області, де мінімальні значення складатимуть 0,8°C, а середнє по області 0,9°C. Виняток у високогір'ї Карпат, де максимальні значення досягнуть 1,0°C. Тобто, за градаціями певні галузі економіки можуть зазнати також низького ступеня впливу на рівнинній, передгірській та гірській території та середнього у високогір'ї за RCP 8.5. Для RCP 4.5 вплив буде низьким всюди.

На середину сторіччя 2041-2060 за RCP 4.5 (рис. 3.2.5) очікуватиметься зростання середньої температури повітря за квітень в Івано-Франківській області. Максимальні значення підвищення становитимуть 1,5°C, тоді як мінімальні 1,1°C. У середньому по області температура повітря зросте на 1,3°C, що відповідає підвищенню ступеня впливу з низького до середнього у порівнянні з попереднім двадцятиріччям. Тоді як на середину сторіччя за RCP 8.5 зміни будуть більшими. Максимально температури зростуть на 2,3°C у районі Карпат, мінімально на 1,8°C, а середнє значення відповідно по області 1,9°C. Тобто, за отриманими значеннями зміни рівнинна частина та



Передкарпаття зазнаватиме середнього ступеню впливу, тоді як високігірні райони - високого за RCP 8.5.

На кінець сторіччя 2081-2100 на всій території Івано-Франківської області для весняного сезону очікуватиметься подальше підвищення середньої температури повітря за квітень за RCP 4.5 (рис. 3.2.5). Максимальні зміни становитимуть 2,2°C для високогір'я Карпат, мінімальні значення зростуть на 1,7°C, тоді як середнє по області буде в межах 1,8°C. Такі отримані значення зміни середньої температури для рівнинної та передгірської частини території Івано-Франківської області та частково Карпат відповідають середньому ступеню впливу, тоді як для високогір'я він буде високим через інтенсивніше зростання даного показника. На протигагу RCP 4.5 за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 на кінець сторіччя очікується значне зростання середньої температури повітря навесні практично вдвічі. Максимальні підвищення при цьому становитимуть 4,9°C, мінімальні 3,5°C, а середні значення - 3,9°C. Тобто, за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 такі зміни температури повітря у квітні на кінець сторіччя відповідатимуть високому ступеню впливу на Передкарпатті і дуже високому в гірському регіоні Карпат.

У цілому зауважимо, що до негативного впливу підвищення температури навесні високу чутливість мають такі сектори як культурна спадщина та будівлі; помірну інфраструктура енергетики, наземні та прісноводні екосистеми, рибальство та аквакультура, наземні та прісноводні екосистеми. Водночас до зростання весняної середньої температури чутливість низька для тваринництва, лісового господарства, пляжного, гірського та культурного туризму, наземного та водного транспорту, здоров'я, водних ресурсів, рослинництва та незначна чутливість до впливу буде для управління ризиками стихійних лих, оскільки вважається, що не усереднені, а екстремальні показники чинитимуть негативний вплив на цей сектор.



3.2.1.1.4 Середня температура повітря за липень

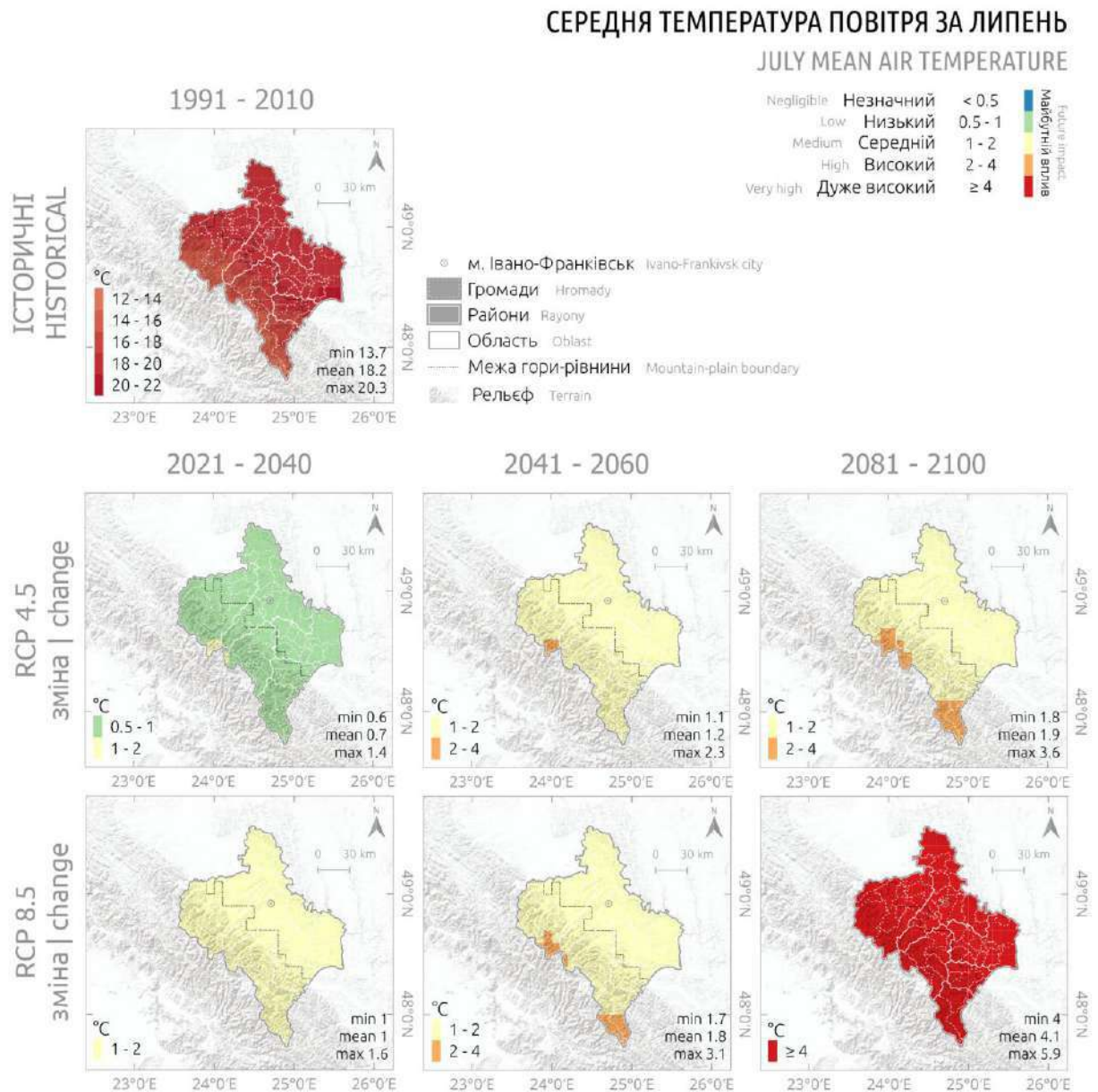


Рис. 3.2.6 Середня температура повітря за липень

Аналогічно як і для попередніх сезонів, аналіз зміни середньої приземної температури повітря влітку здійснювався на прикладі центрального місяця - липня. Зростання приземної температури в літній період може мати негативний вплив та додаткове навантаження на різні галузі економіки, зокрема на сферу охорони здоров'я, туризм, сільське та лісове господарства, наземні та водні екосистеми, енергетику, будівлі, культурну спадщину тощо.

Для отримання показників середньої приземної температури липня та їхніх змін для території Івано-Франківської області, як і для попередніх центральних місяців сезонів, опрацьовано дані проєкту Eugo-CORDEX за 34 РКМ (горизонтальний крок 0,1°x0,1° або приблизно 12,5x12,5 км) за двома найбільш уживаними сценаріями репрезентативних концентрацій парникових газів RCP 4.5

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проєкт, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму



та RCP 8.5. Добові дані моделей отримані з сайту [ESGF, Euro-CORDEX]. За ними проводився розрахунок багаторічних середніх значень температури повітря для липня у базовий історичний період 1991-2010 та у три майбутні двадцятирічні періоди 2021-2040, 2041-2060 та 2081-2100. Опрацювання даних здійснювалося з використанням функцій пакету операторів CDO. Розраховувалися усереднені багаторічні значення за липень за допомогою функції `umonmean`, а потім різниця в °C між значеннями майбутніх періодів та базовим для кожної РКМ. На кінцевому етапі розрахунків знаходилося ансамблеве усереднене різниць 34 РКМ.

Для літнього сезону, липня, як і для попередніх центральних місяців сезонів, визначено такі ж п'ять градацій ступеня впливу зміни середньої місячної температури повітря:

1. незначний (very low) до 0,5°C;
2. низький (low) від 0,5°C до 1,0°C;
3. середній (moderate/medium) від 1,0°C до 2,0°C;
4. високий (high) від 2,0°C до 4,0°C;
5. дуже високий (very high) вище 4,0°C.

Для базового історичного періоду 1991-2010 (рис. 3.2.6) для території Івано-Франківської області за даними ансамблю 34 РКМ середня місячна приземна температура повітря у липні є найвищою для Передкарпаття, рівнинної частини, та становить переважно у межах +18,0...+20,0°C, а максимальні значення +20,3°C, тоді як у гірському регіоні Карпат вона варіює від +16 до +18°C біля підніжжя та сягає мінімальних значень +13,7°C на високігир'ї (переважно масив Чорногора, Ворохтянська громада Надвірнянського району).

У найближчому майбутньому 2021-2040 за RCP 4.5 (рис. 3.2.6) влітку у липні по всій території Івано-Франківської області по відношенню до базового 1991-2010 спостерігатиметься однорідне зростання середньої температури повітря за винятком осередку на заході, де вона максимально підвищиться на 1,4оC (Перегінська громада Калуського району). У той час як середнє підвищення по області становитиме 0,7оC, а мінімальне 0,6оC. Такі зміни показника зумовлять переважно низький ступінь впливу. Для цього ж періоду за умови реалізації RCP 8.5 (рис. 3.2.6) відбуватиметься максимальне зростання чинника на 1,6оC, тоді як в загальному температура влітку підвищиться на 1°C. Отримані значення зростання температури у липні за RCP 4.5 потенційно матимуть низький вплив, тоді як за RCP 8.5 середній.

На середину сторіччя 2041-2060 (рис. 3.2.6) за сценарієм RCP 4.5 відмічатиметься продовження зростання середньої приземної температури повітря влітку на прикладі липня по відношенню до базового історичного. Максимальні значення 2,3°C на території Івано-Франківської області відмічатимуться на заході у тому самому осередку, що і для попереднього періоду (Перегінська громада Калуського району). Тоді як на решті території зростання буде більш однорідним. Мінімальні та середні значення 1,1°C та 1,2°C відповідно. Таке підвищення літньої температури зумовить у цілому середній вплив. За RCP 8.5 продовжуватиметься ріст даного показника. Максимальні значення становитимуть до 3,1°C та будуть характерні для заходу (Перегінська громада Калуського району) для того ж регіону, що і за RCP 4.5 та додатково ще для півдня (Зеленська, Білоберізька громади Верховинського району). На решті території значення зростання є нижчими. Мінімальні становлять 1,7°C, тоді як середні 1,8°C. Таке підвищення зумовить в загальному середній вплив, лише в окремих осередках високогір'я значення сягатимуть високого



впливу. Відповідно, в цілому вплив за обома RCP-сценаріями на галузі економіки буде переважно середнім.

До кінця сторіччя у 2081-2100 за RCP 4.5 для літнього сезону очікується підвищення середньої температури повітря за липень в Івано-Франківській області, та розподіл буде подібним до RCP 8.5 за попередній період, проте з дещо вищими значеннями. Максимальне зростання становитимуть до 3,6°C на заході (Перегінська громада Калуського району, Поляницька громада Надвірнянського району) та на півдні (Зеленська, Білоберізька громади Верховинського району). Тоді як мінімальні значення становитимуть 1,8°C, а середні 1,9°C. Такі значення відповідають збереженню середнього впливу на галузі економіки за виключенням осередків на заході та півдні. За умови реалізації найгіршого сценарію високих концентрацій RCP 8.5 до кінця сторіччя очікується вдвічі інтенсивніший ріст середньої приземної температури у липні. Максимальні зміни відносно базового сягатимуть значень 5,9°C, тоді як мінімальні 4,0°C. А середнє значення по області підвищаться на 4,1°C. В цілому за реалізації RCP 4.5 на галузі економіки переважатиме середній вплив, тоді як за RCP 8.5 дуже високий.

Чутливість до очікуваного зростання середньої температури повітря за липень дуже висока для пляжного туризму; висока для інфраструктури енергетики, будівель, культурної спадщини. Водночас до зміни даної характеристики середній ступінь чутливості для лісового господарства, наземних та прісноводних екосистем, рибальства та аквакультури, рослинництва, тваринництва, водних ресурсів, рекреації та туризму і здоров'я. Низький вплив буде на управління ризиками стихійних лих, наземний та водний транспорт. Тобто, зростання даного показника не розглядається таким, що матиме негативний вплив на управління ризиками стихійних лих, оскільки це показник усередненого стану, а ризики стихійних лих характеризуються іншими показниками, наприклад екстремальними температурами, які розглядаються у відповідному підрозділі.



3.2.1.1.5 Середня температура повітря за жовтень

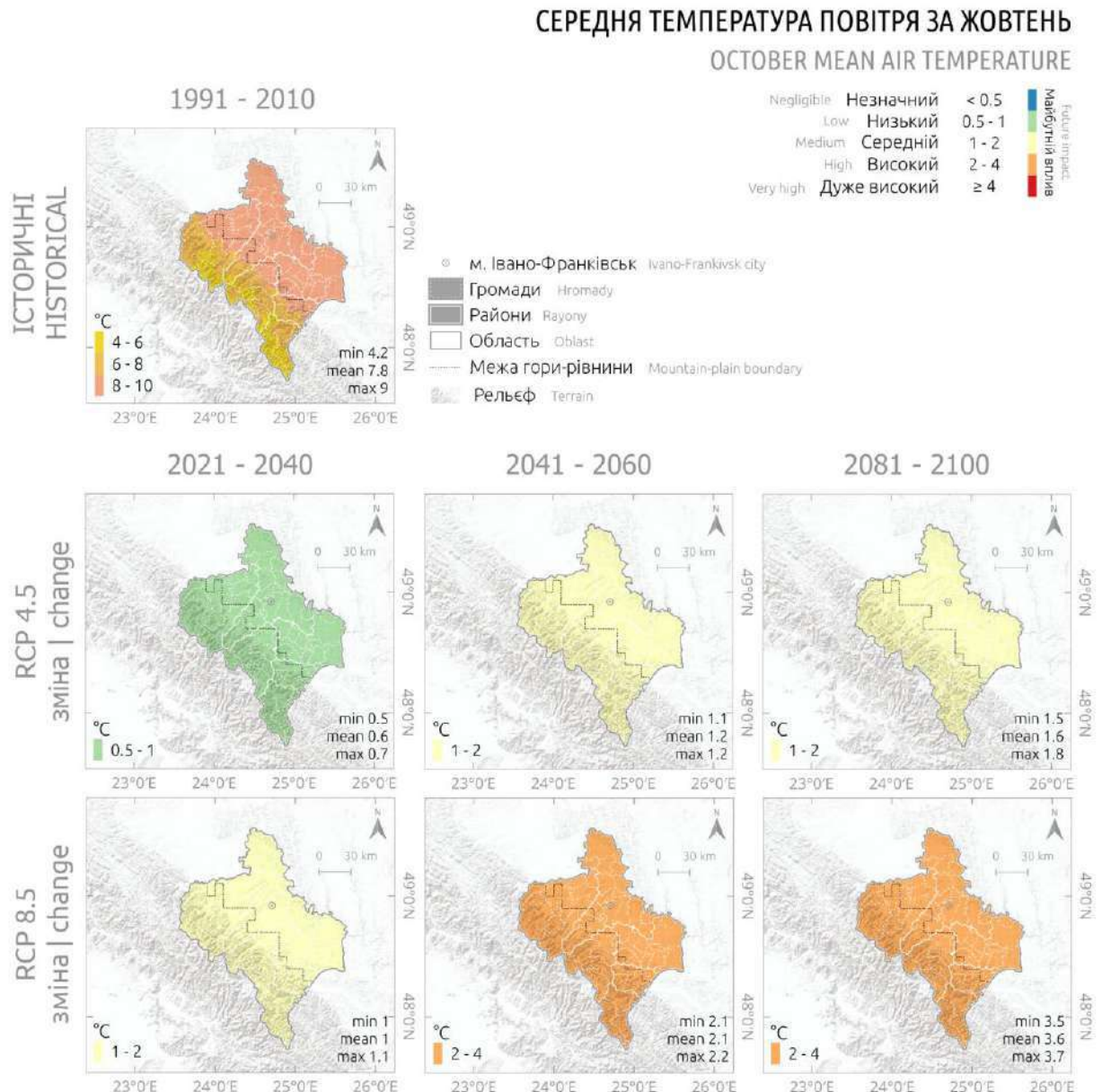


Рис. 3.2.7 Середня температура повітря за жовтень

Для осіннього сезону оцінка зміни приземної температури повітря проводилася на прикладі центрального місяця - жовтня. Згідно з алгоритмом обробки та розрахунку використано добові дані середньої температури ($0,1^\circ \times 0,1^\circ$ або приблизно $12,5 \times 12,5$ км) за аналогічними 34 РКМ проєкту Euro-CORDEX за двома RCP-сценаріями: RCP 4.5 та RCP 8.5, що отримані з бази даних [ESGF, Euro-CORDEX]. За допомогою оператора CDO та функції `uтолmean` обчислено середні значення приземної температури повітря у жовтні для кожного з чотирьох періодів: базовий історичний 1991-2010 та три майбутні 2021-2040, 2041-2060 та 2081-2100. Після чого шляхом віднімання була отримана різниця або зміна у $^\circ\text{C}$ для кожної з РКМ кожного наступного майбутнього періоду відносно базового, яка у подальшому усереднювалася за ансамблем 34 РКМ.

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проект, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму



Для території Івано-Франківської області для осіннього сезону визначено наступні порогові значення для знаходження ступеня впливу зміни середньої температури повітря у жовтні:

1. незначний (very low) до $0,5^{\circ}\text{C}$;
2. низький (low) від $0,5^{\circ}\text{C}$ до $1,0^{\circ}\text{C}$;
3. середній (moderate/medium) від $1,0^{\circ}\text{C}$ до $2,0^{\circ}\text{C}$;
4. високий (high) від $2,0^{\circ}\text{C}$ до $4,0^{\circ}\text{C}$;
5. дуже високий (very high) вище $4,0^{\circ}\text{C}$.

У базовий історичний період 1991-2010 (рис. 3.2.7) для території Івано-Франківської області середня температура повітря за жовтень є очікувано вищою на рівнинній частині та Передкарпатті, яка має переважно рівнинний та передгірський рельєф, де значення становлять $+8,0...+9,0^{\circ}\text{C}$, що є максимальним. Далі, у просуванні на захід та південний захід у сторону гірського масиву Карпат, з підвищенням висоти температура починає знижуватися до $+6,0^{\circ}\text{C}$ та мінімально становить $+4,2^{\circ}\text{C}$, тоді як середнє по області $+7,8^{\circ}\text{C}$.

У найближчому майбутньому 2021-2040 восени по всій території Івано-Франківської області за сценарієм RCP 4.5 (рис. 3.2.7) відмічатиметься відносно рівномірне зростання середньої температури повітря у жовтні по відношенню до базового історичного періоду 1991-2010. Максимальні значення становитимуть $0,7^{\circ}\text{C}$, тоді як мінімальні $0,5^{\circ}\text{C}$, а середні будуть $0,6^{\circ}\text{C}$. Такі отримані значення відповідатимуть низькому впливу. За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 аналогічно буде спостерігатися рівномірне підвищення середньої приземної температури в осінній сезон на прикладі жовтня, але з вищими значеннями $1,0...1,1^{\circ}\text{C}$, що вже відповідає середньому ступеню впливу на галузі економіки.

На середину сторіччя 2041-2060 (рис) за умови реалізації сценарію RCP 4.5 (рис. 3.2.7) по території області продовжуватиметься відносно однорідне зростання середньої приземної температури повітря у жовтні. Мінімальне значення становитиме $1,1^{\circ}\text{C}$, максимальне $1,2^{\circ}\text{C}$, тоді як середнє буде $1,2^{\circ}\text{C}$ по відношенню до базового періоду, що у цілому відповідатиме середньому ступеню впливу. За RCP 8.5 очікуються інтенсивніші зміни температури повітря в жовтні у порівнянні з RCP 4.5, проте вони також будуть однорідними: максимально температура повітря підвищиться на $2,2^{\circ}\text{C}$, тоді як мінімально на $2,1^{\circ}\text{C}$. Середнє по області значення складатиме $2,1^{\circ}\text{C}$. Такі зміни середньої приземної температури повітря згідно градацій відповідають високому впливу.

На кінець сторіччя у 2081-2100 за сценарієм RCP 4.5 очікуватиметься продовження відносно однорідного зростання середньої температури повітря в осінній сезон на прикладі жовтня (рис. 3.2.7) по всій території Івано-Франківської області відносно базового періоду. Максимальне значення підвищення $1,8^{\circ}\text{C}$, мінімальне $1,5^{\circ}\text{C}$, а середні становитиме $1,6^{\circ}\text{C}$. Всі отримані значення зміни температури у жовтні відповідають середньому впливу на галузі економіки. Тоді як за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 очікуються майже вдвічі інтенсивніші, але й однорідні зміни середньої температури повітря за жовтень. Максимально вона може підвищиться на $3,7^{\circ}\text{C}$, мінімально на $3,5^{\circ}\text{C}$. Середні значення по області будуть складати $3,6^{\circ}\text{C}$. Тобто на кінець сторіччя потенційна зміна даного показника за RCP 4.5 може зумовити середній ступінь впливу, тоді як за RCP 8.5 високий ступінь впливу.

Високу чутливість прогнозованого підвищення середньої приземної температури повітря восени матимуть будівлі та культурна спадщина; середню інфраструктура енергетики, лісове господарство, наземні та прісноводні екосистеми, рибальство та аквакультура, рекреація та туризм.



Низька чутливість до зміни температури восени встановлена для водних ресурсів, прибережних територій, культурного та пляжного туризму, наземного та водного транспорту. Водночас до зміни даного показника буде незначна чутливість у рослинництві і управління ризиками стихійних лих, оскільки цей показник характеризує усереднений вплив.

3.2.1.1.6 Тривалість вегетаційного періоду

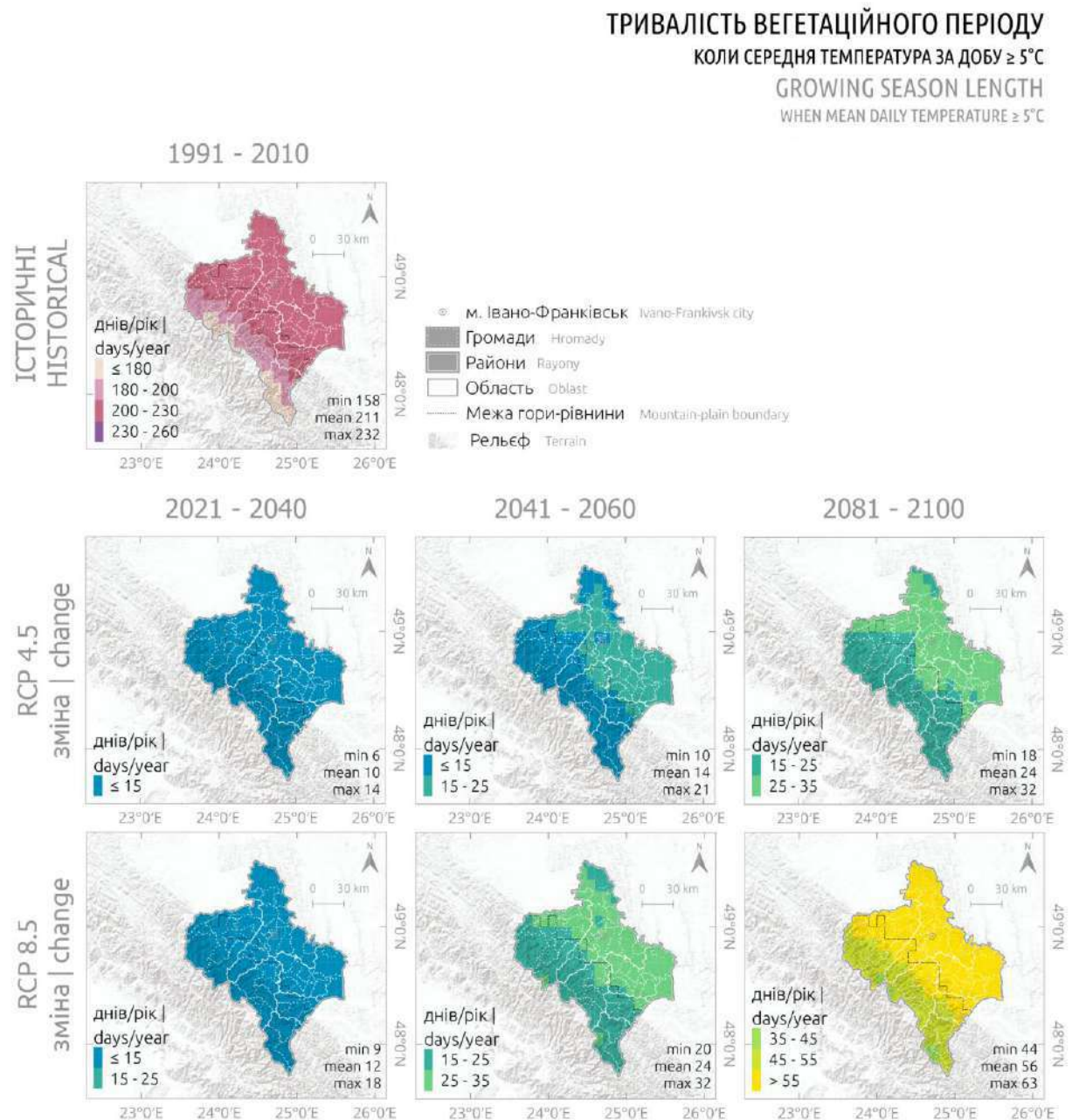


Рис. 3.2.8 Тривалість вегетаційного періоду

Тривалість вегетаційного періоду (англ. growing season length, GSL) є найбільш важливим чинником для таких секторів як сільське та лісове господарства, оскільки він визначає тривалість росту та розвитку рослин. Цей показник розраховується у днях за даними про середню добову температуру. Цей проєкт фінансується Європейським Союзом



приземну температуру повітря (T_m). Цей період починається коли до 1 липня (навесні для північної півкулі) температура 6 послідовних днів і більше дорівнює або вище за $T_{GSL} = 5^\circ\text{C}$, а закінчується відповідно коли середня добова температура 6 днів і більше знижується за це порогове значення після 1 липня (восени для північної півкулі). Слід зазначити, що територія Івано-Франківської області характеризується як рівнинними, передгірськими (Передкарпаття), так і гірськими формами рельєфу, через що висотна поясиність впливає на тривалість вегетаційного сезону.

Щоб розрахувати та проаналізувати ступінь впливу зміни тривалості вегетаційного періоду на галузі економіки в Івано-Франківській області використано добові дані про середню добову температуру повітря з просторовим горизонтальним кроком $0,1 \times 0,1^\circ$ (що відповідає $12,5 \times 12,5$ км) 34 РКМ європейського проєкту Euro-CORDEX для сценаріїв RCP 4.5 і RCP 8.5 та завантажені з сайту [Euro-CORDEX, ESGF]. Для аналізу змін тривалості вегетаційного сезону у днях використано чотири періоди: історичний базовий 1991-2010 та три майбутні 2021-2040, 2041-2060 і 2081-2100. Обчислення проводилися для кожної з 34 моделей за кожен рік окремо з використанням пакетного засобу CDO (Climate Data Operators), де застосовувалася функція `esa_gsl`. Спочатку розрахована тривалість вегетаційного періоду усереднювалася для чотирьох 20-річних періодів за кожною РКМ. Після чого визначали її зміну для двох сценаріїв у майбутні періоди шляхом знаходження різниць у днях відносно історичного, а потім усереднювали зміни за ансамблем 34 РКМ.

Для того, щоб оцінити та проаналізувати ризики від зміни тривалості вегетаційного періоду ($>5^\circ\text{C}$) внаслідок зміни клімату для території Івано-Франківської області, передбачалося, що негативний вплив може спричиняти скорочення вегетаційного періоду з відповідними нижче наведеними градаціями:

1. незначний до -2 днів;
2. низький від -2 до -5 днів;
3. середній від -5 до -10 днів;
4. високий від -10 до -15 днів;
5. дуже високий більше за -15 днів на рік.

Але в умовах потепління за даних RCP-сценаріїв, які розглядаються в цій Стратегії, відбуватиметься лише зростання тривалості вегетаційного періоду в Івано-Франківській області як на рівнинній, передгірській, так і у гірській місцевості відповідно до рівнів глобального потепління. Тому зміна показника не матиме негативного впливу, а навпаки за отриманими значеннями можна оцінити, наприклад, чи буде достатньо тривалості вегетаційного періоду для висадки пожнивних культур і отримання другого врожаю за сезон. Таким чином на рис. 3.2.8 представлені проєкції зміни тривалості вегетаційного сезону у три майбутні періоди за двома сценаріями.

Для інформації за базовий історичний період на рис. 3.2.8 на території Івано-Франківської області тривалість вегетаційного періоду на рівнинній та передгірській частинах та на східному схилі Карпат коливається в межах 200-230 днів, а максимум становить 232 днів на рік. При піднятті у гори ця тривалість зменшується до 180-200 днів на рік та становить мінімально 158 днів на рік у високогір'ї. Середня тривалість вегетаційного періоду по області складає 211 днів на рік.

У період найближчого майбутнього 2021-2040 на території Івано-Франківської області за сценарієм RCP 4.5 відносно базового 1991-2010 подовження вегетаційного періоду становитиме від



6 до 14 днів з середнім значенням по області 10 днів на рік. Тоді як за RCP 8.5 ці зміни будуть більшими та варіюватимуть у межах 9-18 днів із усередненим значенням по області 12 днів.

На середину сторіччя у період 2041-2060 за сценарієм RCP 4.5 вегетаційний сезон продовжуватиме зростати по всій території Івано-Франківської області з більшими змінами на сході та в центрі (північ Калуського, Івано-Франківський та Коломийський райони), де зміни будуть ≥ 15 днів з максимумом 21 день. Тоді як в Карпатах та півночі такі зміни будуть від 10 до 15 днів. За сценарієм RCP 8.5 буде спостерігатися інтенсифікація змін ≥ 25 днів з максимумом 32 дні. Вони за просторовим розподілом практично узгоджуватимуться з RCP 4.5 (північ Калуського, Івано-Франківський та Коломийський райони), тоді як в Карпатах такі зміни є меншими в межах 20-25 днів. Середнє значення по області становить 24 днів на рік.

До кінця сторіччя у період 2081-2100 за сценарієм RCP 4.5 із зростанням потепління очікується ще більше подовження вегетаційного періоду у порівнянні з базовим історичним та іншими майбутніми періодами. В цілому просторовий розподіл та значення є подібними до сценарію RCP 8.5 на середину сторіччя. Відбуватиметься інтенсифікація змін на сході та в центрі (північ Калуського, Івано-Франківський та Коломийський райони) зі значеннями ≥ 25 днів з максимумом 32 дні, тоді як в Карпатах ці зміни будуть в межах 18-25 днів на рік. Середні зміни по області становитимуть 24 дні. На противагу RCP 4.5 за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 відбуватимуться вдвічі інтенсивніші зміни. На рівнинній частині Івано-Франківської області приріст буде становити ≥ 55 днів з максимумом 63 днів на рік. Тоді як в Карпатах такі зміни переважно 45-55 днів, а в окремих осередках найнижче значення становитиме 44 дні. Середні зміни по області складають 56 дні. Тобто, на кінець XXI сторіччя за реалізації сценарію RCP 8.5 вегетаційний сезон може подовжитися на 1,5-2 місяці.



3.2.1.2 ЕКСТРЕМАЛЬНА СПЕКА

3.2.1.2.1 Середня за літо максимальна добова температура повітря

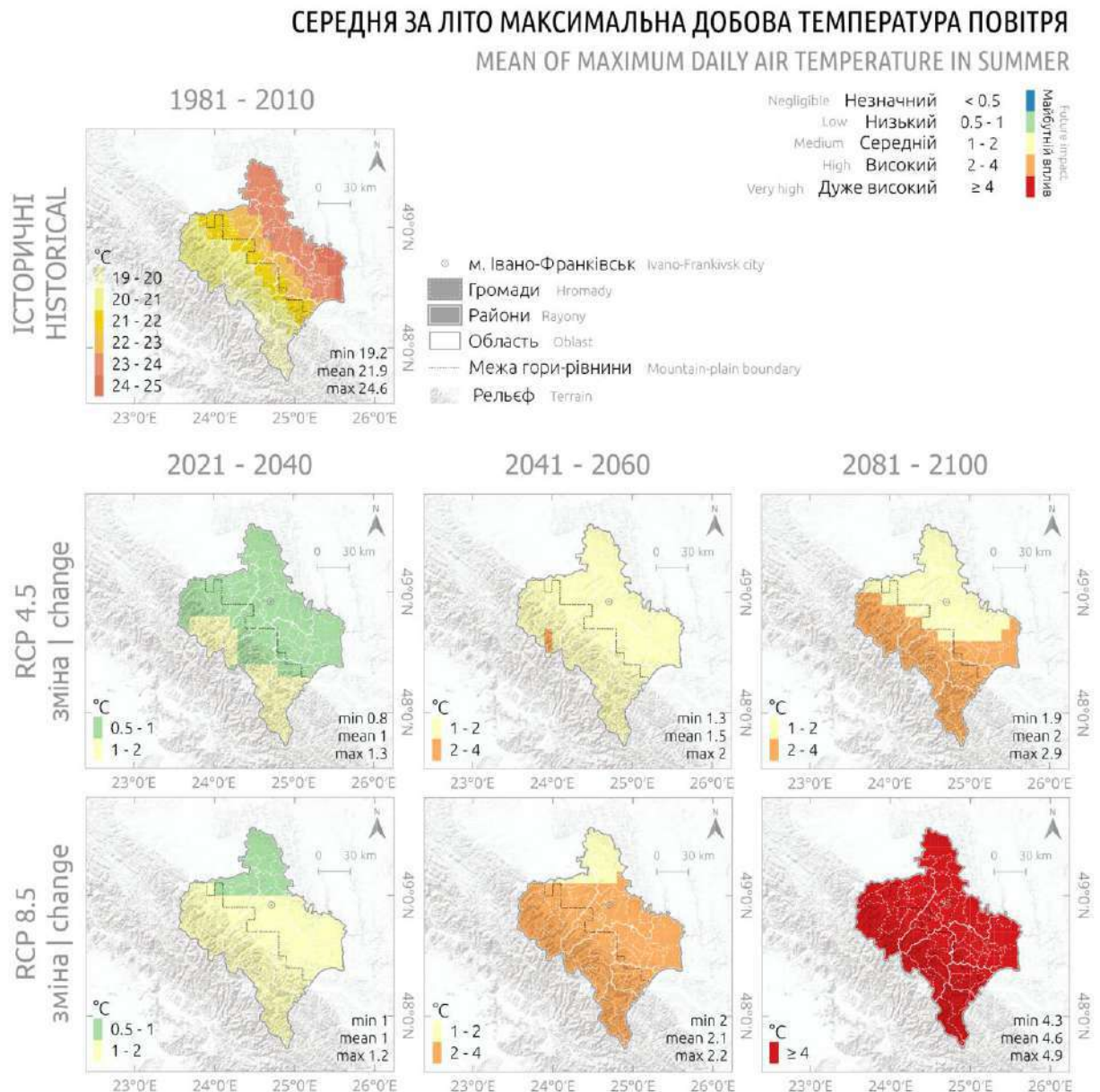


Рис. 3.2.9 Середня за літо максимальна добова температура

Оцінки зміни просторово-часового розподілу середньої за літо максимальної добової температури повітря є важливі для аналізу зміни екстремальності кліматичних умов території.

Для Стратегії адаптації до зміни клімату Івано-Франківської області така оцінка здійснювалася для літнього сезону, що є найтеплішим у річному ході температури повітря, тому підвищення максимальних температур саме в цю пору року може спричинити значні наслідки для різних галузей економіки. Зокрема, високі температури та їх тривалість можуть здійснювати негативний вплив через дискомфортні погодні та кліматичні умови на охорону здоров'я та тваринництво через те, що вони можуть сприяти поширенню та загостренню хвороб, підвищувати

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проект, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму



рівень смертності тощо; також можуть зумовлювати тепловий стрес та пошкодження рослин, що потенційно негативно вплине на сектори рослинництва та лісове господарства, що у свою чергу може призвести до зменшення врожайності тощо; значне теплове навантаження на наземні та водні екосистеми може зумовити явище “цвітіння” води влітку. Також високі температури можуть негативно вплинути на енергетику через більше споживання електроенергії для охолодження (кондиціонування повітря) тощо.

Для обчислення зміни середньої максимальної добової температури повітря в літній сезон використовувалися дані ансамблю регіональних кліматичних моделей двох RCP-сценаріїв: RCP 4.5 (20 РКМ) та RCP 8.5 (48 РКМ) [IA IPCC] Euro-CORDEX з Інтерактивного атласу МГЕЗК. Дані моделей мають горизонтальний просторовий крок сітки з середньою деталізованістю (0,5°x0,5° або приблизно 50x50 км). Визначення змін середньої максимальної температури повітря протягом літнього сезону проводилося відносно базового історичного періоду 1981-2010 (базуються на даних 48 РКМ). Відносно даного базового періоду знаходилася різниця між показниками максимальної температури (°C) у три майбутні 20-річні періоди 2021-2040, 2041-2060, 2081-2100 за відповідними ансамблями РКМ.

Для визначення ступенів негативного впливу зростання середньої максимальної приземної добової температури повітря протягом літнього сезону на сектори економіки в Івано-Франківській області встановлено такі п'ять порогових значень або градацій:

1. незначний (negligible) до 0,5°C;
2. низький (low) від 0,5°C до 1,0°C;
3. середній (moderate/medium) від 1,0°C до 2,0°C;
4. високий (high) від 2,0°C до 4,0°C;
5. дуже високий (very high) вище 4,0°C.

У базовий історичний період 1981-2010 за даними ансамблю РКМ на території Івано-Франківської області відбувається зниження літньої середньої максимальної добової температури повітря у напрямку зі сходу та південного сходу на захід та південний захід через підвищення абсолютних висот та перехід у гірську систему Українських Карпат. Найвищі значення температури +23,0...+24,0°C характерні для сходу області з максимальними значеннями +24,6°C (Чернелицька, Городенківська, Снятинська громади Коломийського району). Надалі при просуванні на захід відбувається поступове зниження максимальної температури, значення якої у гірських районах становлять переважно +20,0...+21,0°C, а мінімальне значення +19,2°C виявлено у високогір'ї (Поляницька, Ворохтянська громади Надвірнянського району та весь Верховинський район).

Для періоду найближчого майбутнього 2021-2040 за RCP 4.5 відносно базового 1981-2010 (рис. 3.2.9) на території Івано-Франківської області відмічатиметься зростання середньої максимальної добової температури повітря влітку. Максимальні зміни до 1,3°C будуть характерними на заході області для високогір'я Карпат (Перегінська громада Калуського району; Ворохтянська громада Надвірнянського району; весь Верховинський район), тоді як на решті території значення зміни будуть меншими із мінімальними змінами у 0,8°C і середнім 1,0°C. Такі підвищення середньої максимальної добової температури повітря у літній сезон на переважній частині території Івано-Франківської області відповідають низькому впливу на сектори економіки за винятком окремих високогірних регіонів, де вплив буде середнім. За умови реалізації RCP 8.5 підвищення середньої максимальної приземної температури за літо на території Івано-Франківської



області буде відмічатися відносно однорідним. Максимальне зростання становитиме $1,2^{\circ}\text{C}$, а мінімальне $1,0^{\circ}\text{C}$ (Верхнянська, Войнилівська, Калуська громади Калуського району; північ Івано-Франківського району). Середнє по області також становитиме $1,0^{\circ}\text{C}$. Отримані значення будуть відповідати середньому негативному впливу на економіку для переважної частини території за винятком півночі.

На середину сторіччя 2041-2060 (рис. 3.2.9) за RCP 4.5 по всій території Івано-Франківської області відбуватиметься подальше підвищення середньої за літо максимальної добової температури повітря. Максимальні зміни становитимуть $2,0^{\circ}\text{C}$ та будуть притаманні для невеликих за площею територій на заході у високогір'ї, тоді як мінімальне зростання становитиме $1,3^{\circ}\text{C}$, а середнє по області $1,5^{\circ}\text{C}$. За умови реалізації RCP 8.5 відмічатиметься відносно однорідне підвищення середньої максимальної температури: максимальні зміни становитимуть $2,2^{\circ}\text{C}$, мінімальні $2,0^{\circ}\text{C}$ (північна частина Івано-Франківського району), тоді як середні по області $2,1^{\circ}\text{C}$. Розраховане зростання середньої максимальної температури влітку зумовить середній негативний вплив за RCP 4.5, тоді як за RCP 8.5 здебільшого високий.

На кінець сторіччя 2081-2100 (рис. 3.2.9) за RCP 4.5 очікується продовження підвищення середньої за літо максимальної добової температури повітря в Івано-Франківській області з середнім значенням по області $2,0^{\circ}\text{C}$. Вище цього значення отримано зміни на заході та півдні області з максимальним значенням $2,9^{\circ}\text{C}$, які припадають на регіон Карпат та частково Передкарпаття. Мінімальні значення $1,9^{\circ}\text{C}$ будуть характерні для півночі (схід Калуського, переважна частина Івано-Франківського та північ Коломийського районів). За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 ці зміни будуть більшими: максимальне значення сягатиме $4,9^{\circ}\text{C}$, середнє по області становитиме $4,6^{\circ}\text{C}$, а мінімальне $4,3^{\circ}\text{C}$. Таке зростання літньої середньої максимальної температури повітря за RCP 4.5 відповідатиме середньому та високому ступеням негативного впливу, тоді як за RCP 8.5 отримано дуже високий негативний вплив на галузі економіки Івано-Франківської області.

Високу чутливість до підвищення середньої за літо добової максимальної приземної температури повітря в літній сезон має рослинництво, тваринництво, пляжний туризм, здоров'я; помірну або середню чутливість - будівлі, рибальство та аквакультура, лісове господарство, наземні екосистеми, управління ризиками стихійних лих, рекреація та туризм, наземний та водний транспорт, інфраструктура енергетики, культурна спадщина. Інші сектори економіки матимуть низьку чутливість.



3.2.1.2.2 Кількість днів з дуже сильною та екстремальною спекою

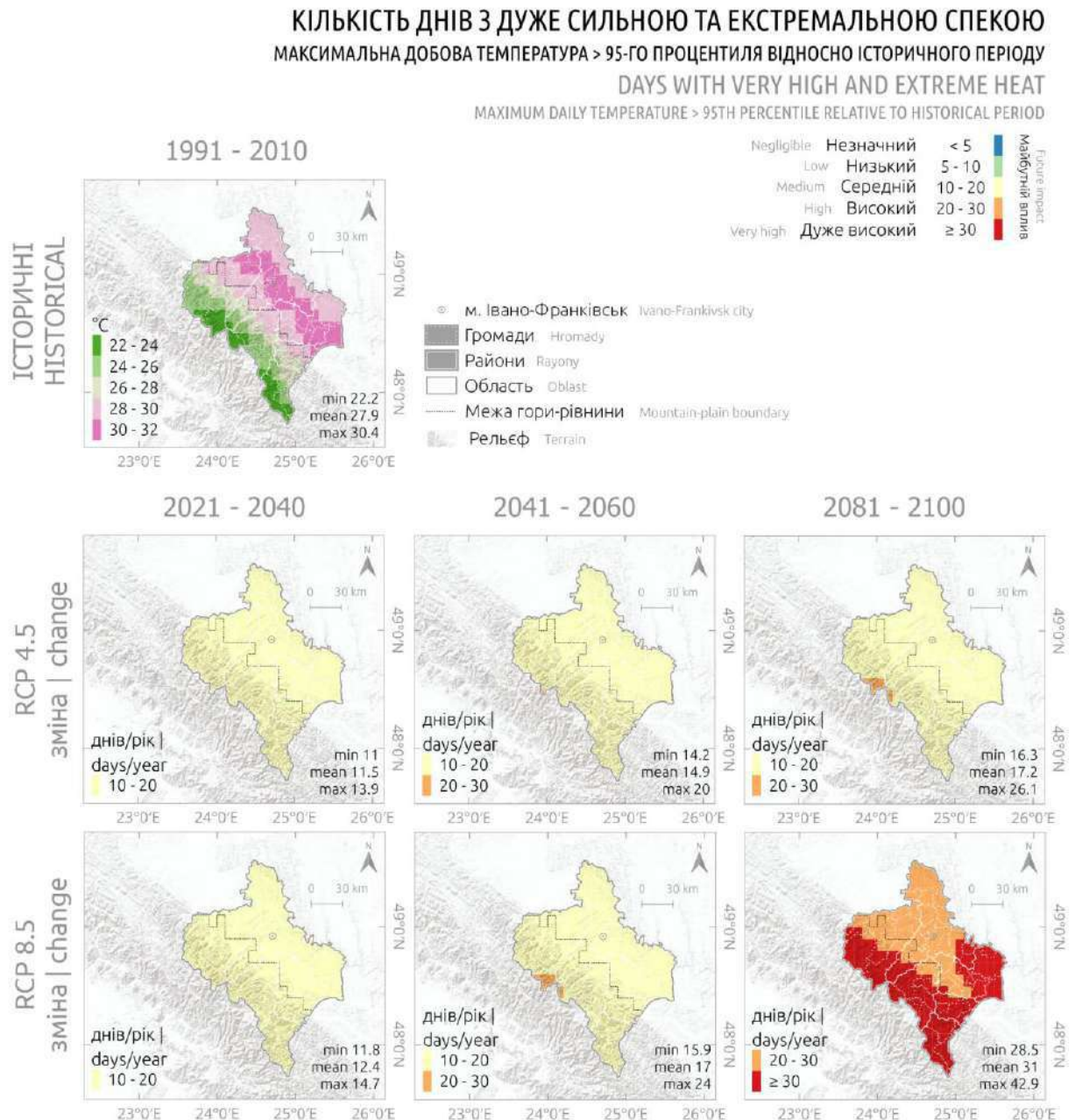


Рис. 3.2.10 Кількість днів з дуже сильною та екстремальною спекою

Для визначення кліматичних екстремумів, зокрема температурних, використовуються проценти, які дозволяють оцінити ймовірнісний розподіл заданих кліматичних характеристик у певній місцевості. Тоді значення, які на краях розподілів, будуть вважатися екстремальними. У представленій Стратегії для оцінки впливу хвиль тепла використаний 95-й процентиль максимальної денної температури повітря за літній сезон, який відповідає дням з дуже сильною та екстремальною спекою, оскільки саме влітку спостерігаються найвищі значення температури повітря у річному ході. Тому дана характеристика є важливим чинником впливу на такі галузі економіки як управління ризиками стихійних лих, сільське та лісове господарства, наземні та водні



екосистеми, водні ресурси, рибальство, прибережні території, туризм, здоров'я, будівлі, культурна спадщина тощо. Зростання максимальної добової приземної температури повітря у літній сезон у майбутні періоди із збільшенням кількості днів з дуже сильною та екстремальною спекою порівняно з історичним періодом потенційно може спричинити поширення хвороб і підвищення ризиків захворюваності та смертності, вигорання та пошкодження посівів та деревних рослин, підвищення ризику виникнення пожеж, цвітіння води, погіршення якості водних ресурсів, деформацію дорожнього покриття та залізничних шляхів (рейок), здатність керування транспортним засобом, підвищення проблеми з транспортуванням вантажів, тощо. Слід зауважити, що територія Івано-Франківської області характеризується нерівномірним рельєфом та значними перепадами висот, тому даний показник 95-го процентиля максимальної температури повітря має варіативність по території.

Розрахунок кількості днів з дуже сильною та екстремальною спекою у майбутні періоди, коли максимальна добова приземна температура повітря перевищує значення 95-го процентилю влітку в історичний період для території Івано-Франківської області, проводився на основі початкових модельних даних ансамблю з 14 РКМ (див. список у Додатку) з добових значень максимальної приземної температури повітря проєкту Euro-CORDEX, які були наявні у базі даних [ESGF, Euro-CORDEX]. Ці дані мають доволі деталізований горизонтальний крок сітки $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$, що відповідає приблизно $12,5 \times 12,5$ км. Дані моделей використовувалися для двох сценаріїв репрезентативних концентрацій парникових газів RCP 4.5 та RCP 8.5 за допомогою Climate Data Operators (CDO). Спочатку значення 95-го процентилю максимальної добової температури повітря за літній сезон обчислено для базового історичного періоду 1991-2010 на основі меж значень (y_{daymin} та y_{daymax}) максимальної температури повітря із використанням функції $y_{daypct195}$ з пакету CDO. На наступному етапі, для трьох майбутніх періодів 2021-2040, 2041-2060, 2081-2100, проводився розрахунок середньої за 20 років кількості днів протягом літнього сезону, коли максимальна температура перевищувала історичне значення 95-го процентилю в період 1991-2010. Такі розрахунки виконані для кожної з 14 РКМ з подальшим їх ансамблевим усередненням.

Даний показник кількості днів з дуже сильною та екстремальною спекою чинить негативний вплив, коли відбувається зростання кількості днів відносно історичного періоду 1991-2010 із нижче зазначеними градаціями ступеню впливу:

1. незначний (very low) до 5 днів;
2. низький (low) від 5 до 10 днів;
3. середній (moderate/medium) від 10 до 20 днів;
4. високий (high) від 20 до 30 днів;
5. дуже високий (very high) вище 30 днів.

За базовий історичний період 1991-2010 на території Івано-Франківської області протягом літнього сезону просторовий розподіл значень 95-го процентилю очікувано характеризується вищими значеннями на рівнинній частині. На сході області значення показника становлять у межах $+28,0 \dots +30,0^{\circ}\text{C}$, тоді як при просуванні на захід виділяється вузька смуга з вищими значеннями з максимумом до $+30,4^{\circ}\text{C}$ (Верхнянська, Войнилівська, Калуська громади Калуського району; Галицька, Ямницька, Загвіздянська, Угринівська, Івано-Франківська, Тисменицька, Обертинська). Цей проєкт фінансується Європейським Союзом



громади Івано-Франківського району; П'ядицька, Підгайчинівська, Заболотівська, Снятинська громади Коломийського району), яка може бути пов'язана з феновими ефектами. Далі, при просуванні на захід в гірську частину області, значення максимальної температури зменшується до +28,0...+30,0°C з подальшим зниженням при просуванні до високогір'я Карпат. На східних схилах значення становлять +26,0...+28,0°C, а при піднятті у високогір'я складають 24,0-26,0°C, а на заході в окремих громадах значення мінімально становлять +22,2°C (Перегінська громада Калуського району; Ворохтянська (масив Чорногора), Поляницька громади Надвірнянського району; Зеленська громада Верховинського району). Середнє значення 95-го процентилю максимальної приземної температури влітку в області становить +27,9°C.

У період найближчого майбутнього 2021-2040 за сценарієм RCP 4.5 по всій території Івано-Франківської області відмічатиметься відносно однорідне зростання кількості днів з дуже сильною та екстремальною спекою, що перевищуватиме значення 95-го процентилю базового історичного періоду 1991-2010 в літній сезон. Максимальне підвищення становитиме 13,9 днів, мінімальне 11,0 днів, а середнє по області 11,5 днів. Для цього ж періоду за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 значення кількості днів будуть дещо вищими: максимальне значення складатиме 14,7 днів, мінімальне 11,8 днів, тоді як середнє 12,4 днів. Отримані значення кількості днів за обома сценаріями відповідають середньому ступеню впливу цього чинника на сектори економіки за вказаний період.

На середину сторіччя 2041-2060 за сценарієм RCP 4.5 по всій території Івано-Франківської області у літній сезон відбуватиметься інтенсифікація зміни кількості днів з дуже сильною та екстремальною спекою, що перевищуватиме 95-й процентиль історичного періоду. Максимальне збільшення кількості днів складатиме до 20,0, а мінімальне буде 14,2 днів, тоді як середнє по області 14,9 днів. За RCP 8.5 продовжуватиметься інтенсивне зростання кількості днів з максимумом до 24,0 днів (Перегінська громада Калуського району). Мінімальне збільшення складатиме 15,9 днів, тоді як середнє по області 17,0 днів. Незважаючи на те, що кількість днів з максимальною денною температурою, що перевищуватиме значення 95-го процентилю, зростатиме, вплив за обома сценаріями даного показника залишатиметься середнім.

На кінець сторіччя 2081-2100 за сценарієм RCP 4.5 очікується ще більше посилення екстремальної спеки по всій території Івано-Франківської області та відповідно кількості днів з дуже сильною та екстремальною спекою. Максимальне зростання кількості днів становитиме 26,1 (Перегінська громада Калуського району). Мінімальне підвищення складе 16,3 днів, тоді як середнє по області 17,2 днів. За умови реалізації сценарію високих концентрацій RCP 8.5 відбуватиметься найінтенсивніше зростання кількості спекотних днів. Найбільші зміни $\geq 30,0$ днів з максимумом до 42,9 днів будуть у Карпатському регіоні та на сході області (Олешанська, Обертинська громади Івано-Франківського району; Підгайчинська, Гвіздецька, Заболотівська, Снятинська, Городенківська, Чернелицька Коломийського району). Тоді як в центрі та півночі (схід Калуського, переважна частина Івано-Франківського та захід Коломийського району) зміни будуть меншими з мінімумом 28,5 днів. Тоді як середнє по області зростання становить 31,0 день. Тобто, за сценарієм RCP 4.5 на кінець сторіччя така зміна кількості днів зумовить середній негативний вплив, тоді як за RCP 8.5 - високий та дуже високий.

До очікуваного за розглянутими сценаріями в Івано-Франківській області зростання кількості днів з дуже сильною та екстремальною спекою з максимальною добовою приземною



температурою повітря, що перевищуватиме 95-ий процентиль в історичному періоді, дуже високу чутливість мають сфера здоров'я, управління ризиками стихійних лих; високу рослинництво, тваринництво та лісове господарства, культурний та пляжний туризм, будівлі; середню наземні та прісноводні екосистеми, рибальство та аквакультура, гірськолижний туризм, наземний та водний транспорт, інфраструктура енергетики.

3.2.1.2.3 Тропічні ночі

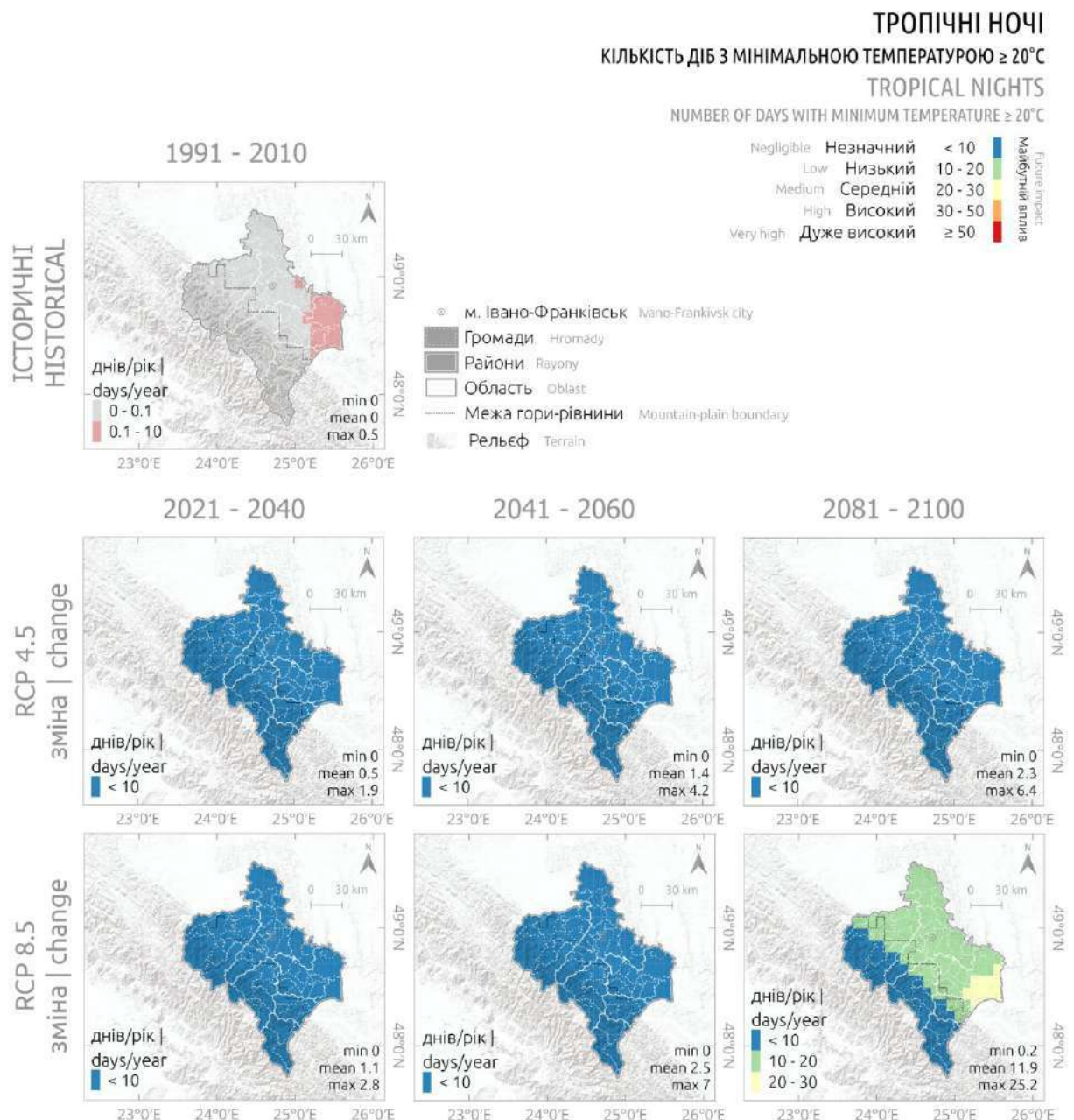


Рис. 3.2.11 Тропічні ночі



Глобальна зміна клімату спричиняє зростання як максимальної добової температури повітря, яка фіксується зазвичай відразу після полудня, так і мінімальної, яка зазвичай відповідає нічному періоду доби перед світанком. Для деяких секторів економіки та екосистем важливо проаналізувати окремо зміни нічної температури повітря, для якої зазвичай використовується показник під назвою “тропічна ніч”. Тропічною ніччю вважається доба, коли мінімальна добова приземна температура повітря перевищує 20°C, а зміна цього показника характеризує зміну клімату. Даний індекс розроблений та входить до списку ключових для визначення проявів зміни клімату [http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml] та розроблений групою експертів з питань визначення зміни клімату та розробки кліматичних індексів (CCI/CLIVAR/JCOMM Expert Team (ET) on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) [<https://www.clivar.org/organization/etccdi/etccdi.php>, Karl et al. 1999; Peterson et al., 2001; Peterson, 2005]. До зміни цього показника чутливі багато секторів економіки, зокрема через негативний вплив на здоров'я людини, сільське та лісове господарства, наземні та водні екосистеми через можливий тепловий стрес, поширення захворюваності, загострення хвороб та потенційного зростання смертності тощо. Зростання кількості днів з тропічними ночами може спричиняти більші витрати електроенергії на кондиціонування повітря тощо.

Для розрахунку даного показника для території Івано-Франківської області використано добові дані мінімальної приземної температури повітря 14 РКМ проєкту Euro-CORDEX, їх перелік є у Додатку 1. Початкові дані отримані за посиланням [Euro-CORDEX, ESGF] та оброблено за допомогою Climate Data Operators (CDO). Дані моделі мають доволі деталізовану горизонтальну сітку з покриттям 0,1°x0,1° або приблизно 12,5x12,5 км, що дозволяє оцінити кліматичні особливості того чи іншого регіону. Аналіз зміни показника тропічних ночей (у днях на рік) для території Івано-Франківської області здійснено за двома сценаріями репрезентативних шляхів концентрацій парникових газів RCP 4.5 та RCP 8.5. Для аналізу використано чотири двадцятирічні періоди: в якості базового використовувався історичний період 1991-2010, відносно якого аналізувалися зміни у кількості днів для трьох майбутніх періодів: 2021-2040, 2041-2060, 2081-2100. Для цього для кожної з РКМ застосовувалася функція CDO `es_t`, яка дозволяє розрахувати кількість тропічних ночей за період та знайти різницю між кількістю днів за майбутній та базовий історичний періоди. Надалі отриманий результат за кожною з РКМ усереднювався за ансамблем 14 моделей.

За потенційними ступенями негативного впливу на галузі економіки в Івано-Франківській області встановлено такі порогові значення зростання кількості днів з тропічними ночами відносно базового періоду:

1. незначний (very low) до 10 днів;
2. низький (low) від 10 до 20 днів;
3. середній (moderate/medium) від 20 до 30 днів;
4. високий (high) від 30 до 50 днів;
5. дуже високий (very high) вище 50 днів.



За базовий історичний період 1991-2010 (рис. 3.2.11) територія Івано-Франківської області характеризується мінімальною кількістю днів із тропічними ночами, оскільки частина знаходиться під гірським масивом Карпат, а інша - передгірська, де також спостерігається вплив гір. Найвища кількість складає до 0,5 (тобто одна на два роки) та характерна для сходу області (Чернелицька, Городенківська, Гвіздецька, Заболотівська, Снятинська громади Коломийського району). Тоді як середнє та мінімальне значення складають 0 днів.

У найближчому майбутньому 2021-2040 за RCP 4.5 (рис. 3.2.11) за RCP 4.5 відносно базового 1991-2010 в цілому відмічатиметься незначний ріст кількості днів з тропічними ночами на території Івано-Франківської області. Максимальне підвищення становитиме 1,9 днів, середнє 0,5 дня. Мінімальне значення становитиме 0 днів, що означає відсутність змін. За сценарієм RCP 8.5 також буде спостерігатися переважно зростання з максимальними змінами 2,8 днів, середнє по області 1,1 дня. Мінімальні значення також складають 0 днів. Зростання кількості днів за обома RCP-сценаріями відповідає градації незначного негативного впливу на сектори економіки.

На середину сторіччя 2041-2060 за RCP 4.5, так як і за RCP 8.5 (рис. 3.2.11), буде відмічатися зростання максимальної та усередненої кількості днів з тропічними ночами в Івано-Франківській області. Найвищі зміни за RCP 4.5 складатимуть 4,2 днів, середнє 1,4 дня, тоді як мінімальне 0 днів. За RCP 8.5 кількість днів з тропічними ночами підвищиться максимально на 7,0 днів, середнє на 2,5 днів, а мінімальне залишиться 0 днів. Отримані значення зростання кількості днів за RCP 4.5 та RCP 8.5, як і у попередньому двадцятиріччі, матимуть незначний негативний вплив на економіку.

У віддаленому майбутньому 2081-2100 за RCP 4.5 (рис. 3.2.11) очікується подальше зростання максимальної (6,4 дні) та усередненої (2,3 дні) кількості днів з тропічними ночами в Івано-Франківській області, тоді як мінімальні залишаться 0 днів. Натомість, за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 відмічатиметься інтенсифікація зростання кількості днів з тропічними ночами. Більші зміни >20 днів з максимумом 25,2 днів очікуються на південному сході (Рожнівська громада Косівського району; Заболотівська, Снятинська громади Коломийського району), тоді як на переважній рівнинній частині території значення зростання коливатимуться у межах 10-20 днів. Середнє значення по області складає 11,9 днів. Менші зміни <10 днів будуть відбуватися у районі Карпат, де мінімальне підвищення складатиме 0,2 дня. Отримані значення зростання кількості днів за RCP 8.5 на кінець сторіччя лише у високогір'ї залишатимуться в градації незначного негативного впливу, тоді як на рівнинній частині цей вплив буде переважно низьким і частково середнім.

Дуже висока чутливість до негативного впливу збільшення кількості тропічних ночей у сфері здоров'я; висока - у тваринництві, пляжного туризму; помірна - у рослинництві, наземних екосистемах, рибальстві та аквакультурі. Для сектору управління ризиками стихійних лих такий показник не нестиме негативного впливу.



3.2.1.2.4 Індекс Гумідекс для середніх максимальних температур повітря літку

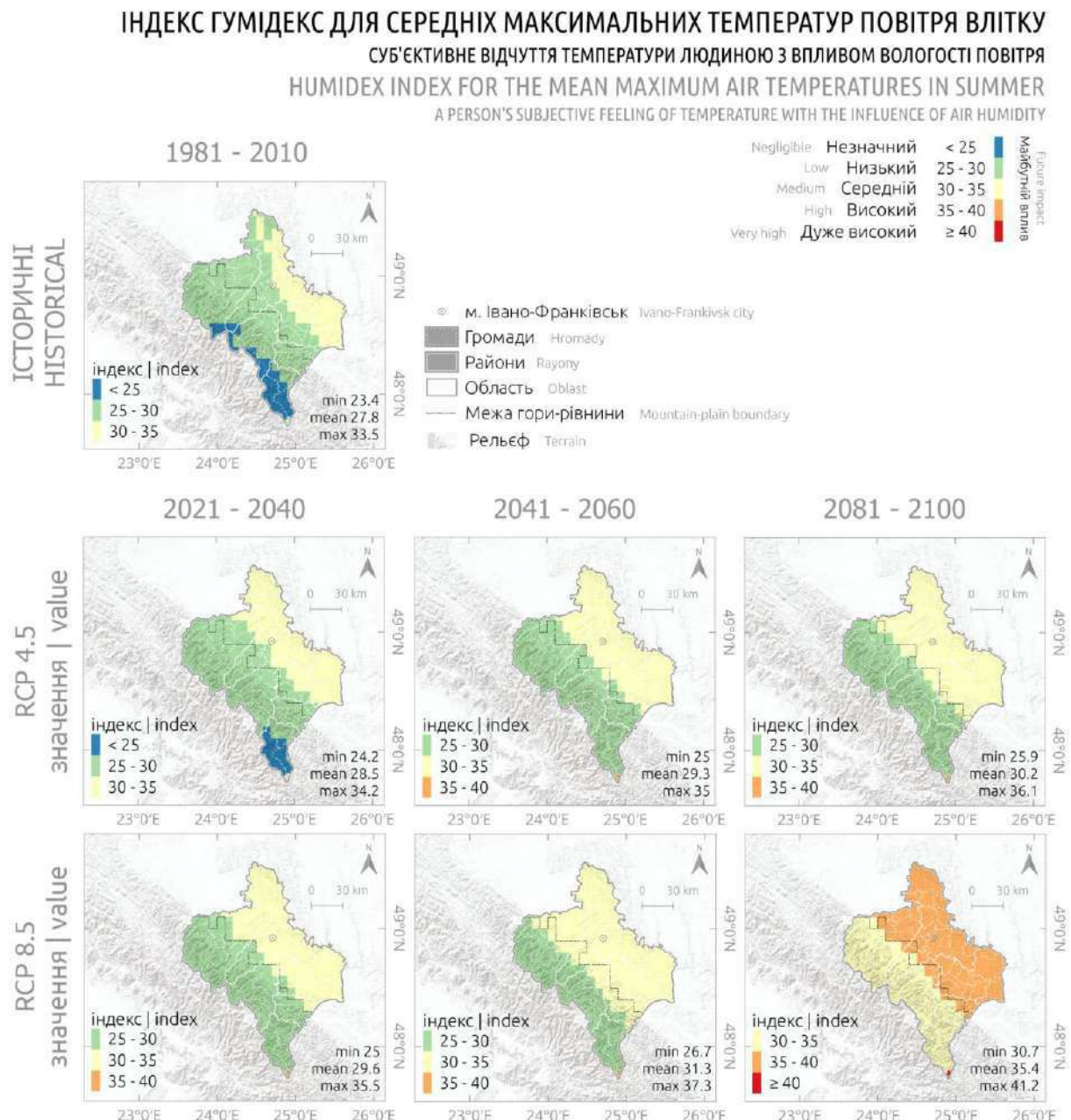


Рис. 3.2.12 Індекс гумідекс для середніх максимальних температур повітря літку

Гумідекс - це індекс для оцінки рівня комфортних чи дискомфортних погодних умов для самопочуття людини. Він запропонований канадськими метеорологами [Masterton, Richardson, 1979] для аналізу ступеня теплового стресу на організм людини за умови поєднання досить високої температури та вологості повітря впродовж літнього сезону. Розраховується цей індекс як сума температури повітря і доданок, який визначається за відносною вологістю, за наступною формулою [Masterton, Richardson, 1979; Baum et al., 2009; Mekis et al., 2015] :



$$\text{HUMIDEX} = T + 5/9 * ((6.112 * 10^{\left(\frac{7.5 * T}{237.7 + T}\right)} * H / 100) - 10)$$

де Т — температура повітря (°C) і Н — відносна вологість (%) [Mekis et al., 2015].

Обчислення даного показника проводилися з використанням історичних модельних даних для базового історичного періоду 1981-2010 та майбутніх періодів 2021-2040, 2041-2060, 2081-2100 за двома сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5. При цьому дані про обидві кліматичні характеристики для розрахунку гумідекс отримано з проєкту Euro-CORDEX за ансамблями РКМ [Euro-CORDEX, ESGF], але для середньої максимальної приземної температури повітря використано дані з Інтерактивного Атласу МГЕЗК з більшим кроком сітки (0,5°x0,5° або 50x50 км), як описано вище у відповідному підрозділі про цей чинник кліматичного впливу, а для відносної вологості повітря з дрібнішим (0,1°x0,1° або 12,5x12,5 км). Тому перед визначенням індексу для кожного з чотирьох періодів обидві характеристики було приведено до спільної сітки за допомогою ГІС методів. Слід зазначити, що даний індекс має сенс в абсолютних значеннях і для нього встановлено наступні універсальні градації комфортних або дискомфортних умов [Masterton, Richardson, 1979; https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/humidex.html]:

- 20-29 - комфортний;
- 30-39 - невеликий дискомфорт;
- 40-45 - значний дискомфорт
- 45-54 - небезпечні умови (можливий тепловий удар);
- >55 - дуже небезпечні умови.

У даній Стратегії для Івано-Франківської області, виходячи із особливостей кліматичних умов України, де більшість населення не пристосована до дуже високих температур і вологості повітря, нами визначено такі межі ступенів негативного впливу на галузі економіки в абсолютних значеннях індексу гумідекс :

1. незначний (very low) до 25,0;
2. низький (low) від 25,0 до 30,0;
3. середній (moderate/medium) від 30,0 до 35,0;
4. високий (high) від 35,0 до 40,0;
5. дуже високий (very high) вище 40,0.

Для базового історичного періоду 1981-2010 абсолютні значення індексу гумідекс на території Івано-Франківської області через рівнинні, передгірські та гірські форми рельєфу характеризується деякою просторовою неоднорідністю. На сході області (схід Івано-Франківського та Коломийського районів) значення будуть вищими 30 з максимумом 33,5. Тоді як на переважній частині території включаючи значну площу гірського регіону Карпат ці значення будуть в межах 25,0-30,0. Лише на заході та південному заході у високогір'ї ці значення будуть <25 з мінімальними значеннями 24,2 (частина Перегінської громади Калуського району; Ворохтянська громада Надвірнянського району; Зеленська, Білоберізька громади Верховинського району). Середнє значення по області складає 27,8. Такі значення за універсальною шкалою вказують на переважно комфортні умови, і лише на сході області виявлено середній ступінь впливу даного чинника.

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проект, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму



У майбутній період 2021-2040 за RCP 4.5 спостерігатиметься розширення площі на сході області зі значеннями гумідексу >30 (схід Калуського, північ та схід Івано-Франківського, переважна частина Коломийського району). Максимальні значення становитимуть 34,2. Лише на півдні зберігатиметься ділянка, де мінімальні значення становитимуть 24,2 (Зеленська, Білоберізька громади Верховинського району)). Середнє по області складатиме 28,5. Тоді як за RCP 8.5 переважна частина рівнинного рельєфу буде характеризуватися індексом гумідекс >30 з максимальними значеннями 35,5, тоді як в Карпатах цей індекс буде в межах 25-30. Середнє по області 29,6. Отримані абсолютні значення гумідексу у найближче двадцятиріччя за обома сценаріями відповідають переважно середньому негативному впливу на рівнинній території та низькому у Карпатах.

На середину сторіччя 2041-2060 за RCP 4.5 у порівнянні з базовим та попереднім двадцятиріччям буде відмічатися невелике зростання гумідексу. Просторовий розподіл буде схожим на попередній період: на рівнинній території переважно зберігатимуться вищі значення >30, тоді як у Карпатах 25-30. Максимальні значення сягатимуть 35, тоді як середнє по області становить 29,3. За RCP 8.5 на всій рівнинній території Івано-Франківської області значення будуть >30, тоді як в Карпатах вони будуть в межах 25-30. Максимальні значення становитимуть 37,3, а середнє по області 31,3. Тобто, на середину сторіччя за обома сценаріями середній негативний вплив буде спостерігатися на рівнинній території та низький у Карпатах.

На кінець сторіччя 2081-2100 продовжуватиметься зростання індексу гумідекс за обома сценаріями, але зовсім не значне за RCP 4.5 з середнім по області 30,2, максимальним 36,1, а у Карпатах значення будуть у межах 25,9-30. За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 очікується значне підвищення індексу гумідексу, а з тим і дискомфорту умов для людини. На рівнинній частині та в Передкарпатті, він буде у межах 35-40. Нижчі значення будуть у Карпатах - 30,7-35. Максимальні значення сягатимуть 41,2. Таке зростання за RCP 8.5 відповідатиме умовам невеликого дискомфорту для здоров'я людини та середньому впливу чинника на галузі економіки у гірській і високому впливу чинника на сектори економіки на рівнинній частині території Івано-Франківської області.

Найбільш чутливі до зростання індексу гумідекс сектор пляжного туризму; високий у здоров'я. Помірна чутливість до негативного впливу чинника у тваринництві та культурної спадщини, рекреації та туризму. Для таких секторів як прісноводні екосистеми, управління ризиками стихійних лих, рибальства та аквакультури, прибережних територій негативна чутливість відсутня.



3.2.1.2.5 Градусодні періоду кондиціонування повітря

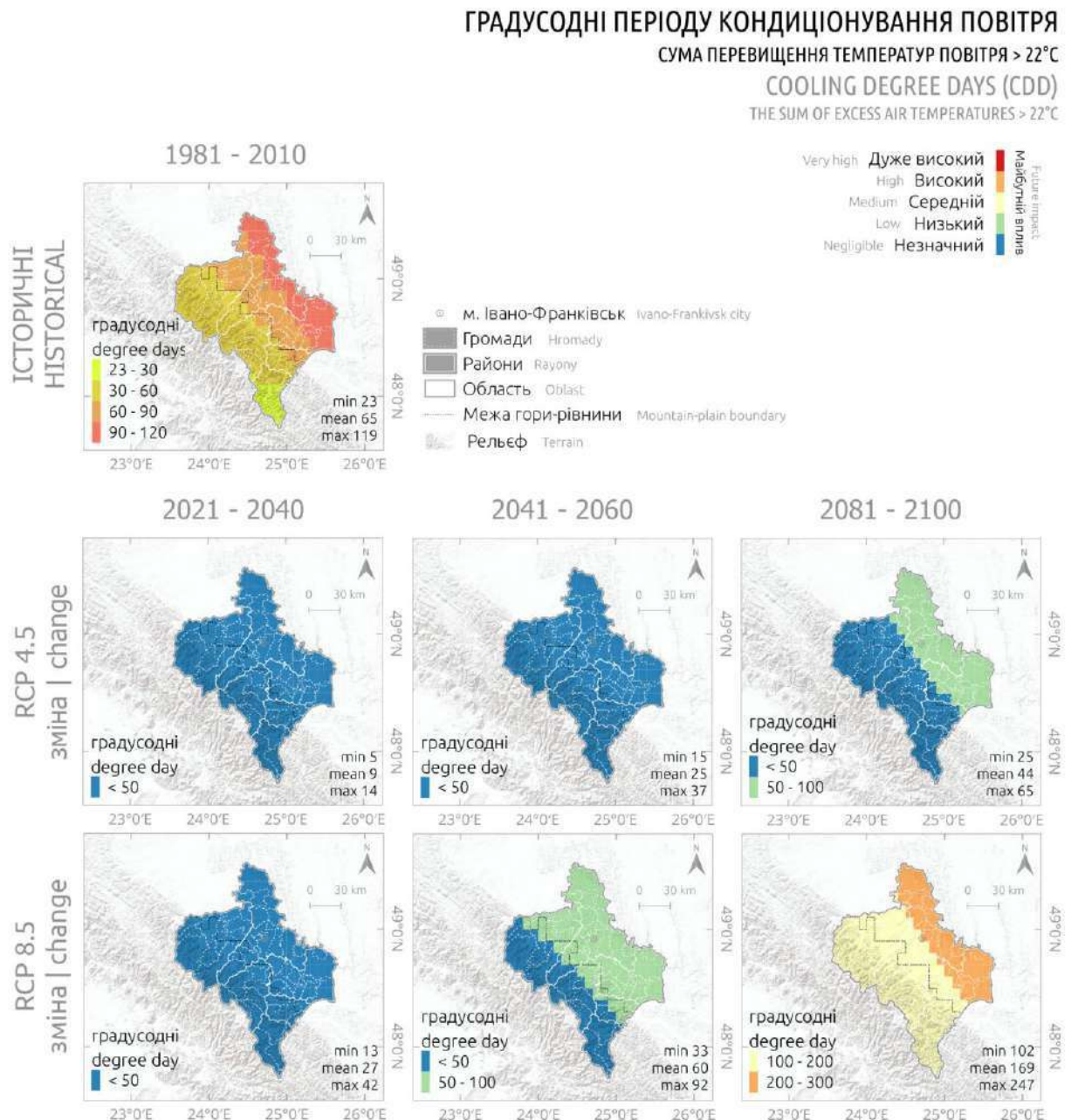


Рис. 3.2.13 Градусодні періоду кондиціонування повітря

Градусодні охолодження або градусодні кондиціонування повітря (в українській літературі також зустрічається як Індекс Охолодження, англ. cooling degree day, CDD) використовуються для розрахунку електроенергії, потрібної для кондиціонування повітря і охолодження у будівлях, і розраховуються за даними про мінімальну (T_N), середню (T_M) і максимальну (T_X) температури повітря як сума градусів вище певного порогового значення - бази (T_b) у період з 1 квітня до 30 вересня у північній півкулі. Для кожного дня у цей період у залежності від того чи весь день



температура повітря досягає чи перевищує порогове значення ($T_N > T_b$), чи тільки частина дня, рахуються градуси перевищення, які потім підсумовуються:

$$CDD_i = \begin{cases} 0 & T_b \geq T_X \\ \frac{T_X - T_b}{T_X - T_M} & T_M \leq T_b < T_X \\ \frac{T_X^4 - T_b^4}{T_X^4 - T_M^4} & T_N \leq T_b < T_M \\ T_M - T_b & T_b \leq T_N \end{cases} \quad \text{if} \quad \begin{cases} T_b \geq T_X \\ T_M \leq T_b < T_X \\ T_N \leq T_b < T_M \\ T_b \leq T_N \end{cases}$$

with $T_b = 22^\circ\text{C}$ (3)

$$CDD = \sum_{i=1}^{182} CDD_i \quad (4)$$

Порогове значення зазвичай обирається відповідно до клімату, оскільки залежить від пристосованості населення та будівель до певного температурного режиму і відповідає температурі комфортного перебування без необхідності охолодження приміщення. Для України можна використовувати $T_b = 22^\circ\text{C}$, яке прийнято у Метеорологічному офісі Великої Британії та метеослужбах інших європейських країн, які знаходяться у схожих з Україною кліматичних умовах.

Для розрахунків ступеня впливу кліматичного чинника градусоднів кондиціонування повітря для території Івано-Франківської області використовувалися дані, які представлені в Інтерактивному атласі МГЕЗК ($0,5^\circ \times 0,5^\circ$ або 50×50 км) і базуються на даних ансамблів регіональних кліматичних моделей (РКМ) європейського проєкта Euro-CORDEX. При цьому в історичному періоді, який для даного показника 1981-2010, використовувалися розрахунки 49 РКМ, для проєкцій за сценарієм RCP 4.5 ансамбль складався з 20 РКМ, а за сценарієм RCP 8.5 ансамбль налічував 48 РКМ для майбутніх періодів 2021-2040, 2041-2060, 2081-2100.

Для оцінки ступеня впливу зміни градусоднів кондиціонування повітря для території Івано-Франківської області визначено наступні межі, які відповідають категоріям:

1. незначний до 50;
2. низький від 50 до 100;
3. середній від 100 до 200;
4. високий від 200 до 300;
5. дуже високий вище за 300.

Відповідно цих категорій на рис. 3.2.13 представлені проєкції на три майбутні періоди за двома сценаріями.

За історичний базовий період 1981-2010 (рис. 3.2.13) на території Івано-Франківської області відбувається поступове зменшення градусоднів кондиціонування повітря зі сходу та північного сходу на захід та південний захід через поступове зростання висотної поясності та зміни рівнинного



рельєфу на гірський. Вищі значення складають >90 з максимумом 119 градусоднів (схід Івано-Франківського та Коломийського районів). Середнє по області складає 65 градусоднів. У передгірських районах та Карпатах значення складають переважно 30-60, а мінімальні 23 градусоднів характерні для півдня (Ворохтянська громада Надвірнянського району, де масив Чорногора; Зеленська, Білоберізька громади Верховинського району).

У період найближчого майбутнього 2021-2040 за сценарієм RCP 4.5 по всій території Івано-Франківської області відбуватиметься зростання кількості градусоднів кондиціонування повітря відносно базового історичного періоду. Максимальні зміни становитимуть 14 градусоднів, середні 9, а мінімальні 5 градусоднів. За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 ці зміни будуть інтенсивнішими. Максимальне підвищення градусоднів охолодження складатиме 42, середнє по області 27, тоді як мінімальне зростання становитиме 13 градусоднів. Таке зростання даного кліматичного чинника за обома сценаріями відповідає градації незначного негативного впливу на сектори економіки.

На середину сторіччя у період 2041-2060 за сценарієм RCP 4.5 відбуватиметься продовження зростання градусоднів. Максимальне підвищення становить 37 градусоднів, середнє 25, а мінімальні зміни становитимуть 15. Натомість за RCP 8.5 підвищення буде більш відчутним. Найбільші зміни >50 градусоднів відбуватимуться на рівнинній частині Івано-Франківської області з максимумом 92. Середні зміни по області становлять 60. Нижчі значення будуть характерні для району Карпат, де мінімальні зміни становитимуть 33 градусодні. Такі зміни за RCP 4.5 призведуть до незначного негативного впливу, тоді як за RCP 8.5 переважно до низького.

До кінця сторіччя у період 2081-2100 за сценарієм RCP 4.5 зростання кількості градусоднів кондиціонування повітря посилиться. Найбільші зміни >50 будуть характерні для сходу та частково центру області (Верхнянська, Войнилівська громади Калуського району; переважна частина Івано-Франківського та Коломийського районів), де максимальне підвищення складатиме 65 градусоднів. Середні зміни по області 44 градусоднів охолодження. Мінімальні значення складатимуть 25 та будуть характерні для Карпатського регіону. За RCP 8.5 очікується значне зростання градусоднів охолодження по всій території Івано-Франківської області. Найвищі зміни >200 з максимумом 247 характерні для сходу області (схід Івано-Франківського та Коломийського районів). Середнє значення по області становить 169 градусоднів, тоді як мінімальні зміни 102 градусоднів. На кінець сторіччя зростання градусоднів кондиціонування повітря за RCP 8.5 буде переважно середнім, а на сході високим.

В цілому, до такого показника середній ступінь чутливості у пляжного туризму і енергетичної інфраструктури, а низький у сфері охорони здоров'я та будівель.



3.2.1.3 Хвилі холоду

3.2.1.3.1 Температура дуже холодних днів у зимові місяці

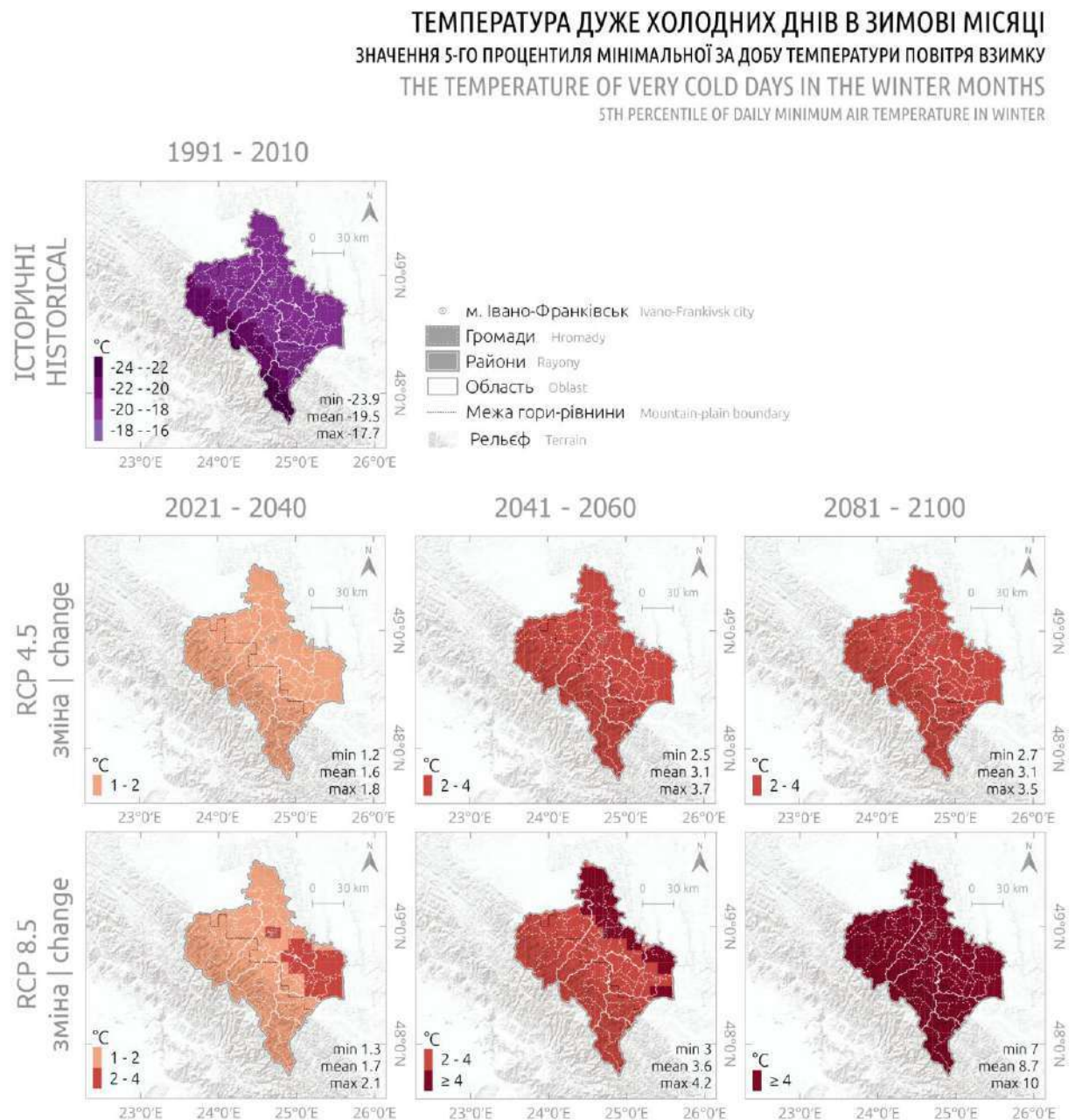


Рис. 3.2.14 Температура дуже холодних днів в зимові місяці

Мінімальна добова приземна температура повітря, як правило, характерна нічним годинам доби, коли відбувається максимальне охолодження підстильної поверхні, і є однією з характеристик кліматичних температурних екстремумів. Якщо такі температурні екстремуми тривають два послідовних дні і більше, то їх ще називають хвилями холоду [World Meteorological Organization (WMO). Guidelines on the Definition and Monitoring of Extreme Weather and Climate Events; TT-DEWCE. 4/14/2016 Technical Report; World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland, 2016]. Якщо



взяти ряд таких значень за декілька десятиріч для певної дати, то можна визначити ймовірнісний розподіл мінімальної температури повітря. Для визначення хвиль холоду користуються такими розподілами і знаходять значення, які відповідатимуть 5-у процентилю для мінімальної температури. Очевидно, що таке порогове значення для визначень хвиль холоду можна застосовувати для всіх пір року, але ми зосередимося на зимовому сезоні, оскільки такий показник є важливим для низки галузей, зокрема сільського та лісового господарств, техногенного середовища (будівництва), транспорту, енергетики, управління ризиками стихійних лих тощо. Екстремально низькі температури повітря в зимовий сезон можуть негативно вплинути на здоров'я населення, зумовити вимерзання та пошкодження озимих культур та дерев, матеріалів, проводів, дорожнього покриття тощо. Для Івано-Франківської області такий показник є вкрай актуальним, оскільки дана територія характеризується як рівнинним, передгірським (Передкарпаття), так і гірським формами рельєфу (Українські Карпати), де фіксуються найнижчі температури.

Оцінка зміни та аналіз 5-го процентилю або температури дуже холодних днів у зимові місяці для Івано-Франківської області проводилася з використанням добових даних про мінімальну приземну температуру повітря з 14 PKM проєкту Euro-CORDEX. Крок горизонтальної сітки є доволі деталізованим та складає $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$ або приблизно $12,5 \times 12,5$ км. Використано дані для двох сценаріїв репрезентативних концентрацій парникових газів RCP 4.5 та RCP 8.5, які були доступні для завантаження на момент формування бази даних УкрГМІ [ESGF, Euro-CORDEX]. Перелік використаних PKM по мінімальній температурі повітря представлено у Додатку та виділені відповідним кольором.

Для виявлення та аналізу змін чинника кліматичного впливу використано дані за базовий історичний період 1991-2010 і майбутні три періоди: 2021-2040, 2041-2060, 2081-2100. Розрахунок даного індексу проводився для зимового сезону, коли температури є найнижчими у річному ході.

Розрахунок багаторічного значення 5-го процентилю для кожного дня трьох зимових місяців для базового історичного 1991-2010 та майбутніх періодів 2021-2040, 2041-2060, 2081-2100 попередньо використовувалися функції пакету CDO `ydaymin` та `ydaymax` для знаходження меж значень мінімальної температури повітря за багаторічний період, у даному випадку, 20 років. Базуючись на цьому, знаходилися 5-ті процентилі мінімальної температури за кожен день в кожному періоді, потім розраховувалися різниці цих значень між майбутніми і базовим історичним періодами за кожною з моделей у градусах Цельсія. Потім проводилося усереднення даних різниць для зимового сезону за ансамблем 14 PKM.

Очікується, що негативний вплив може мати саме зниження температури дуже холодних днів у зимові місяці, тобто посилення екстремальності дії даного кліматичного чинника на галузі економіки, тому виділено наступні градації за ступенем впливу:

1. незначний (very low) до $-0,5^{\circ}\text{C}$;
2. низький (low) від $-0,5^{\circ}\text{C}$ до $-1,0^{\circ}\text{C}$;
3. середній (moderate/medium) від $-1,0^{\circ}\text{C}$ до $-2,0^{\circ}\text{C}$;
4. високий (high) від $-2,0^{\circ}\text{C}$ до $-4,0^{\circ}\text{C}$;



5. дуже високий (very high) вище $-4,0^{\circ}\text{C}$.

За базовий історичний період 1991-2010 (рис. 3.2.14) за ансамблем РКМ рівнинна та передгірська частини Івано-Франківської області характеризується відносно однорідним просторовим розподілом мінімальної приземної температури повітря 5-го процентиля взимку, що становить $-20,0\ldots-17,7^{\circ}\text{C}$ з поступовим зниженням на захід до гірського регіону. У Карпатах значення даної температури становлять $<-20,0^{\circ}\text{C}$ з мінімумом $-23,9^{\circ}\text{C}$, тоді як середнє по області $-19,5^{\circ}\text{C}$.

У найближчому майбутньому 2021-2040 за сценарієм RCP 4.5 (рис. 3.2.14) взимку очікується відносно рівномірне зростання температури дуже холодних днів у зимові місяці (5-го процентилю) відносно базового історичного періоду 1991-2010 для зимового сезону по всій території Івано-Франківської області та становитиме $1,2-1,8^{\circ}\text{C}$ з середнім значенням $1,6^{\circ}\text{C}$. За сценарієм RCP 8.5 очікуються дещо вищі кількісні зміни 5-го процентилю розподілу мінімальної температури повітря. Максимальні зміни до $2,1^{\circ}\text{C}$ будуть характерні для сходу області (Тлумацька, Олешанська, Обертинська громади Івано-Франківського району; схід Коломийського району). На решті території зміни становлять $1,3-2,0^{\circ}\text{C}$.

На середину сторіччя 2041-2060 для сценарію RCP 4.5 (рис. 3.2.14) на території Івано-Франківської області очікується інтенсивніше зростання температури дуже холодних днів у зимові місяці (5-тий процентиль). Максимальні зміни сягатимуть $3,7^{\circ}\text{C}$, середні по області становитимуть $3,1^{\circ}\text{C}$, а мінімальні $2,5^{\circ}\text{C}$ відносно базового періоду 1991-2010. За теплішим сценарієм RCP 8.5 такі зміни будуть значнішими: максимальне зростання становитиме $4,2^{\circ}\text{C}$ на сході області (північ та схід Івано-Франківського району; Чернелицька, Городенківська, Снятинська громади Коломийського району), середнє по області $3,6^{\circ}\text{C}$, а мінімальні зміни $3,0^{\circ}\text{C}$.

На кінець сторіччя 2081-2100 для Івано-Франківської області за сценарієм RCP 4.5 (рис. 3.2.14) у порівнянні з попереднім двадцятиріччям відбуватимуться зовсім незначні зміни значень температури дуже холодних днів у зимові місяці (5-тий процентиль). Максимальне зростання складе $3,5^{\circ}\text{C}$, мінімальне $2,7^{\circ}\text{C}$, середнє по області становитиме $3,1^{\circ}\text{C}$. На противагу йому, за сценарієм RCP 8.5 на кінець сторіччя відбуватиметься значна інтенсифікація зміни мінімальної температури (5-й процентиль) взимку по всій території Івано-Франківської області. Максимальні значення зростання показника можуть сягати до $10,0^{\circ}\text{C}$, мінімальні $7,0^{\circ}\text{C}$.

За отриманими результатами кліматичних проєкцій через зростання температури дуже холодних днів у зимові місяці (5-тий процентиль) можна зробити висновки, що на території Івано-Франківської області за двома сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5 для зимового сезону зміни у хвилях холоду в загальному не чинитимуть негативний вплив на сектори економіки.



3.2.1.3.2 Градусодні опалювального періоду

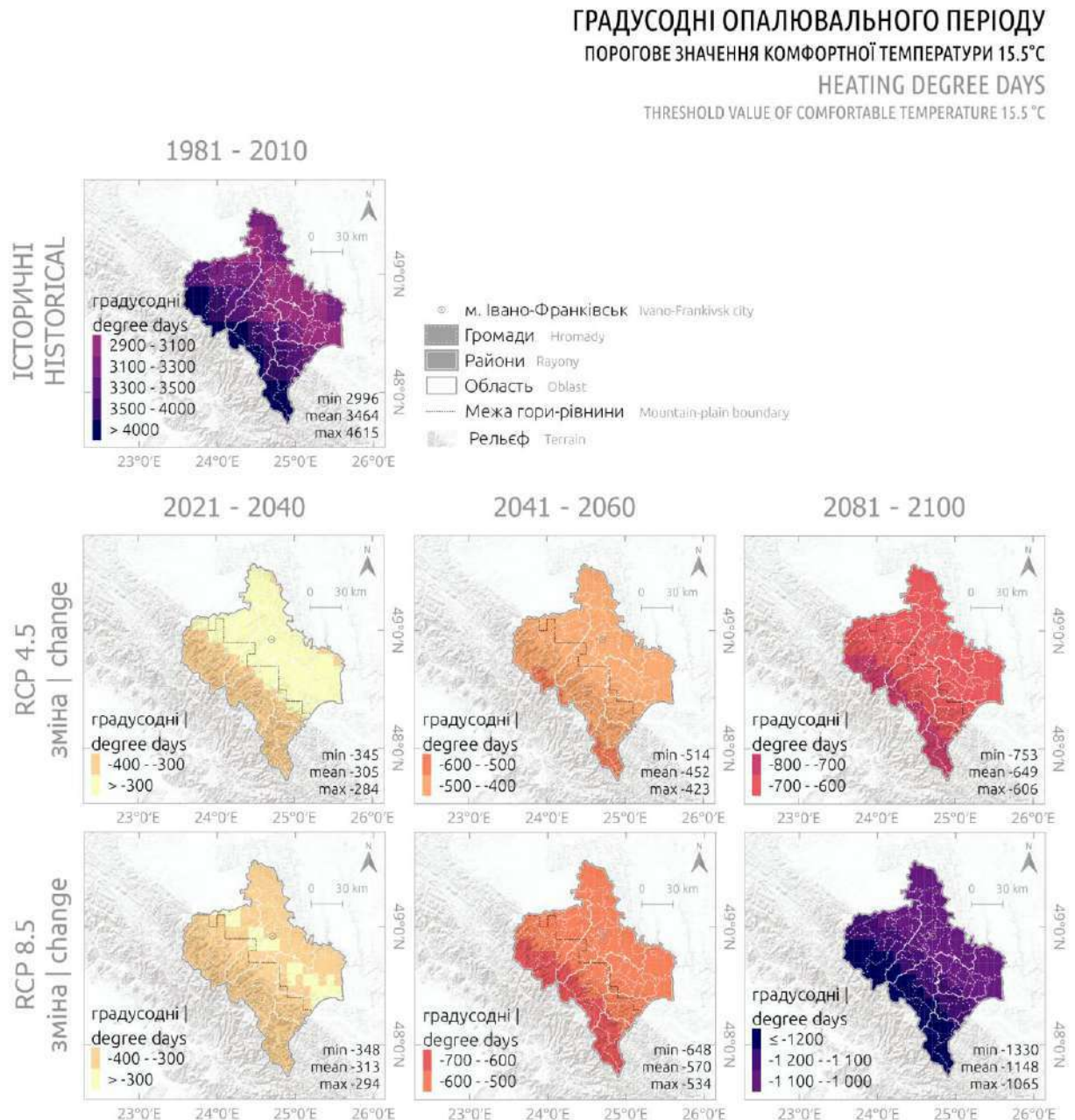


Рис. 3.2.15. Градусодні опалювального періоду

Градусодні опалювального періоду (англ. heating degree-day HDD) використовуються для визначення кількості теплової енергії, яка необхідна для нагріву повітря в опалювальний період у будівлях. Для розрахунку даного показника потрібні дані про добові мінімальну (T_n), середню (T_m) і максимальну (T_x) температури повітря як сума градусів нижче за певне порогове значення – базу (T_b) у період з 1 жовтня до 31 березня у північній півкулі. Для кожного дня у цей період у залежності від того чи весь день температура повітря досягає чи нижче за порогове значення ($T_x < T_b$), чи тільки частина дня, рахуються градуси недосягнення базового значення, які потім підсумовуються за наступними формулами:

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проєкт, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму



$$\text{HDD}_i = \begin{cases} \frac{T_b - T_M}{T_b - T_N} - \frac{T_X - T_b}{4} & \text{if } \begin{cases} T_b \geq T_X \\ T_M \leq T_b < T_X \\ T_N \leq T_b < T_M \\ T_b \leq T_N \end{cases} \\ \frac{T_b^2 - T_N^2}{4} & \\ 0 & \end{cases}$$

with $T_b = 15.5^\circ\text{C}$ (1)

$$\text{HDD} = \sum_{i=1}^{183} \text{HDD}_i \quad (2)$$

Порогове значення зазвичай обирається відповідно до клімату, оскільки залежить від пристосованості населення та будівель до певного температурного режиму і відповідає температурі комфортного перебування без необхідності обігріву приміщення. Для України можна використовувати $T_b = 15,5^\circ\text{C}$, яке прийнято у Мет-офісі Великої Британії та метеослужбах інших європейських країн, які знаходяться у схожих з Україною кліматичних умовах.

Для розрахунків ступеня впливу цього кліматичного чинника в Івано-Франківській області використовувалися дані, які представлені в Інтерактивному атласі МГЕЗК і базуються на даних ансамблів Регіональних Кліматичних Моделей (PKM) європейського проєкта Euro-CORDEX. При цьому в історичному періоді, який для даного показника 1981-2010, використовувалися розрахунки 49 PKM, для проєкцій за сценарієм RCP 4.5 ансамбль складався з 20 PKM, а за сценарієм RCP 8.5 ансамбль налічував 48 PKM.

У цілому для оцінки ризиків від зміни клімату передбачається, що негативний вплив відповідатиме збільшенню кількості градусоднів опалення з відповідними категоріями:

1. незначний до 50;
2. низький від 50 до 100;
3. середній від 100 до 200;
4. високий від 200 до 300;
5. дуже високий вище за 300.

Слід зауважити, що в умовах потепління за тих сценаріїв, які розглядаються в цій стратегії для Івано-Франківської області, цей показник лише зменшується пропорційно рівням глобального потепління і тому не чинитиме негативного впливу, а навпаки за отриманими значеннями можна оцінити на скільки зменшиться попит теплової енергії на опалення. Таким чином на рис. 3.2.15 представлені проєкції зміни градусоднів опалення на три майбутні періоди за двома сценаріями.

В історичному періоді 1981-2010 (рис. 3.2.15) територія Івано-Франківської області характеризується неоднорідним розподілом градусоднів. Найменша їх кількість 2900-3100 для

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом



опалювання припадає переважно на схід та центр Івано-Франківського району та переважну частину Коломийського району. Тоді як значення 3100-3300 характерні для півночі (Рогатинська, Бурштинська, Більшівцівська громади Івано-Франківського району) та передгірських районів (північ Калуського, захід Івано-Франківського та Коломийського районів). При просуванні на захід із підвищенням висотної поясності спостерігається і зростання градусоднів з 3300 до максимального значення 4615 у високогір'ї. Мінімальне по області становить 2996 градусоднів, а середнє 3464.

У період найближчого майбутнього 2021-2040 за сценарієм RCP 4.5 на території Івано-Франківської області найбільші зміни до -345 градусоднів будуть характерні для регіону Карпат, тоді як на рівнинній частині ці значення будуть -300...-284. Середнє для всієї області становить -305 градусоднів. За сценарієм RCP 8.5 у цей період очікуються рівномірніше скорочення градусоднів для всієї області. Найбільші зміни становитимуть -348, а найменші -294 градусоднів. Усереднене значення по області складає -313 градусоднів.

На середину сторіччя у період 2041-2060 за сценарієм RCP 4.5 спостерігатиметься інтенсифікація зменшення градусоднів опалення на -500 і більше з максимальними змінами -514 градусоднів у деяких районах Карпат (Перегінська громада Калуського району; Зеленська, Білоберізька громади Верховинського району). Найменші зміни будуть складати -423 градусодні, а усереднене по всій області становить -452 градусодні. За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 зменшення градусоднів буде швидшим з найінтенсивнішим зменшення у -600 і більше, яке припадає на район Карпат, де максимальні зміни сягають -648 градусоднів. Найменша зміна становить -534, тоді як середнє по області -570 градусоднів.

До кінця сторіччя у період 2081-2100 продовжується зниження показника і за сценарієм RCP 4.5 максимальні зміни -700 і більше з максимумом -753 будуть характерні для заходу області - високогір'я Карпат (Перегінська громада Калуського району; Поляницька, Ворохтянська громади Івано-Франківського району; Зеленська, Білоберізька громади Верховинського району). Найменші зміни становлять -606, а середні -649. За сценарієм RCP 8.5 очікується суттєві зниження по всій області, що безперечно пов'язано із підвищенням температурного режиму холодного півріччя. Максимальні зміни до -1330 градусоднів (близько 30%) відмічатимуться в Карпатах, а на рівнинній частині області найменше вони становитимуть -1065 градусоднів, із середнім по області -1148.

У цілому, вплив зміни кліматичного чинника градусоднів на опалення не матиме негативних наслідків для тих секторів економіки, які оцінюються в цій Стратегії.

https://www.academia.edu/63526040/European_degree_day_climatologies_and_trends_for_the_period_1951_2011



3.2.1.4 МОРОЗИ

3.2.1.4.1 Дні з морозом

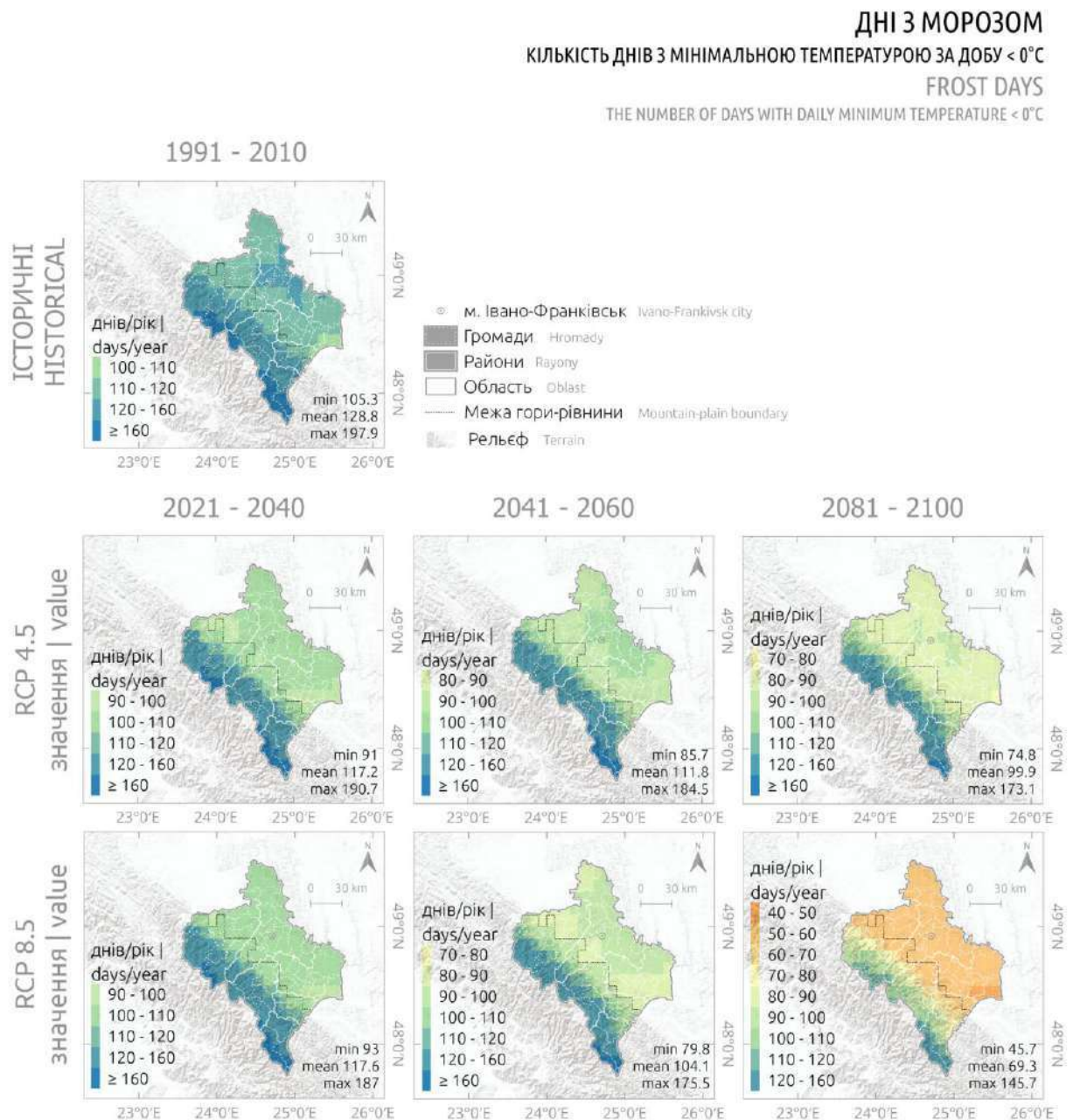


Рис. 3.2.16 Дні з морозом

Кількість днів із морозами за рік належить до переліку індексів зміни клімату, які характеризують екстремальність [http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml]. Він створювався групою експертів з питань визначення зміни клімату та розробки кліматичних індексів (CCI/CLIVAR/JCOMM Expert Team (ET) on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) [<https://www.clivar.org/organization/etccdi/etccdi.php>, Karl et al. 1999; Peterson et al., 2001; Peterson, 2005]. Показник кількості днів з морозами визначається коли мінімальна добова приземна



температура повітря, яка зазвичай спостерігається вночі, нижче за 0°C. Цей чинник кліматичного впливу належить до показників екстремальності термічного режиму території, адже низькі температури можуть зумовлювати негативний вплив на функціонування різних секторів економіки через дискомфортність погодних та кліматичних умов, наприклад, на сферу здоров'я населення та сільське господарство, зокрема скотарство через ризики переохолодження, розвитку та поширення захворюваності тощо, рослинництво оскільки може спричинити пошкодження та загибель рослин тощо, додаткове навантаження на енергосистему та можливі псування її певних складових тощо. Такий показник є особливо актуальним для території Івано-Франківської області, оскільки значні перепади висот (рівнинна, передгірська, гірська частини), висотна поясна зміна зумовлюють і відповідно різне надходження сонячної радіації з відповідним неоднорідним розподілом поля температури, що може мати різний вплив на галузі економіки у різних громадах.

Для розрахунків ступеня впливу показника кількості днів з морозом у Стратегії для Івано-Франківської області використано добові дані мінімальної приземної температури повітря 14 РКМ (0,1°x0,1° або приблизно 12,5x12,5 км) проєкту Euro-CORDEX за сценаріями концентрацій RCP 4.5 та RCP 8.5. Список моделей представлено у Додатку. Дані завантажені за наступним посиланням [Euro-CORDEX, ESGF] та опрацьовано за допомогою програмного пакета CDO. Для оцінки зміни даного показника використано чотири періоди: базовий історичний період 1991-2010, по відношенню до якого розраховувалися потенційні зміни для трьох майбутніх періодів - 2021-2040, 2041-2060, 2081-2100. З використанням функції CDO `esaf` знаходилася кількість днів з мінімальною температурою нижче 0°C та проводилося усереднення для знаходження річної кількості днів для кожного з двадцятирічних періодів та ансамблеве усереднення за 14 РКМ. Для розрахунку градацій ступенів впливу на економіку розраховувалися різниці між кількістю днів кожного майбутнього періоду та базового періоду для кожної моделі індивідуально, а потім отримані різниці усереднювалися за ансамблем.

Негативний вплив від зміни кількості днів з морозом буде із їхнім збільшенням. Тому визначено такі градації за ступенем впливу для галузей економіки:

1. незначний (very low) до 0 днів;
2. низький (low) від 0,1 до 5 днів;
3. середній (moderate/medium) від 5 до 10 днів;
4. високий (high) від 10 до 20 днів;
5. дуже високий (very high) більше 20 днів.

У базовий історичний період 1991-2010 територія Івано-Франківської області характеризується поступовим зростанням кількості днів з морозом у напрямку зі сходу та південного сходу на захід та південний захід через поступову зміну рівнинного рельєфу на гірський, і, відповідно, зростання висотної поясності. Найвищі значення ≥ 160 днів характерні для високогір'я Карпат з максимумом 197,9 днів (Перегінська громада Калуського району; Поляницька, Ворохтянська громади Надвірнянського району; Зеленська, Білоберізька громади Верховинського району). Тоді як на переважній частині Карпат кількість днів з морозом коливається в межах 120-160 днів. На рівнинній частині території такі значення складають 110-120 днів. Середнє по області 128,8 днів. Мінімальні значення 105,3 днів відмічаються на південному сході (Снятинська громада Коломийського району; Рожнівська громада Косівського району).



Оскільки за розглянутими сценаріями зміни клімату не очікується зниження мінімальної температури, то для трьох майбутніх періодів наведено не зміни показника, а саме значення кількості днів з морозом, які зменшуються відповідно до рівнів потепління.

У найближчому періоді 2021-2040 за RCP 4.5 по відношенню до базового 1991-2010 буде спостерігатися зменшення абсолютної кількості днів з морозом по всій території Івано-Франківської області, проте зберігатиметься схожий просторовий розподіл. У районі Карпат максимальне значення кількості днів становитиме 190,7 (Перегінська громада Калуського району; Зеленська громади Верховинського району), тоді як на переважній частині території Карпат значення складатимуть 110-160 днів з морозами. На рівнинній та передгірській території Івано-Франківської області значення кількості днів з морозами будуть 100-110. Абсолютне середнє по області 117,2 днів, мінімальні значення складають 91 день на півночі та південному сході (північ Калуського, південь Коломийського районів). За RCP 8.5 максимальна кількість днів з морозами становитиме до 187 у високогір'ї Карпат (Перегінська громада Калуського району; Зеленська громади Верховинського району). У цілому, в гірському регіоні ця кількість коливатиметься в межах 110-160 днів, тоді як на рівнинній та передгірській частинах 100-110 днів. Середнє абсолютне значення по області становитиме 117,6 днів. Мінімальна кількість днів складатиме 93 на південному сході (Заболотівська, Снятинська громади Коломийського району).

На середину сторіччя 2041-2060 за RCP 4.5 відбуватиметься подальше зменшення кількості днів з морозами. Найвища їх кількість в Карпатах складатиме до 184,5 днів (Зеленська громади Верховинського району), тоді як на переважній частині гірського регіону значення становитимуть 110-160 днів. На рівнинній та передгірській частинах вони значно зменшаться та становитимуть в цілому 90-100 днів за виключенням сходу Івано-Франківського району. Середнє по області складатиме 111,8 днів, а мінімальні значення 85,7 днів. За RCP 8.5 зменшення кількості днів із морозами буде ще інтенсивнішим: максимальне значення у Карпатах складатиме 175,5 і у горах значення переважно будуть у межах 100-160 днів. На рівнинній та передгірській частинах території вони становитимуть 80-100 днів. Середнє по області 104,1 днів, а мінімальне 79,8 днів.

У віддаленому майбутньому 2081-2100 за RCP 4.5 очікується зменшення абсолютної кількості днів з морозами. Максимальне значення становитиме 173,1 днів, а в цілому кількість днів у Карпатах складатиме 90-160 днів. На рівнинній та передгірській частинах території ці значення коливатимуться в межах 80-90 днів. Середнє по області складає 99,9 днів, а мінімальна кількість 74,8 днів на південному сході. За сценарієм високих концентрацій RCP8.5 відбуватиметься інтенсивніше зменшення кількості днів з морозами порівняно з історичним. Максимальне значення зменшиться на більше за 50 днів і становитиме 145,7 днів (Зеленська, Білоберізька громади Верховинського району). У загальному на переважній частині Карпат значення коливатимуться в межах 60-120 днів. Тоді як на рівнинній та передгірській частинах території кількість днів з морозами переважно становитиме 50-60 днів. Середнє по області складає 69,3 днів, а мінімальні 45,7 днів будуть на південному сході (Заболотівська, Снятинська громади Коломийського району).

Таке зменшення абсолютної кількості днів з морозами не чинитиме негативного впливу на галузі економіки в Івано-Франківській області за розглянутими сценаріями та критеріями.



3.1.1.1.1 Морозні дні

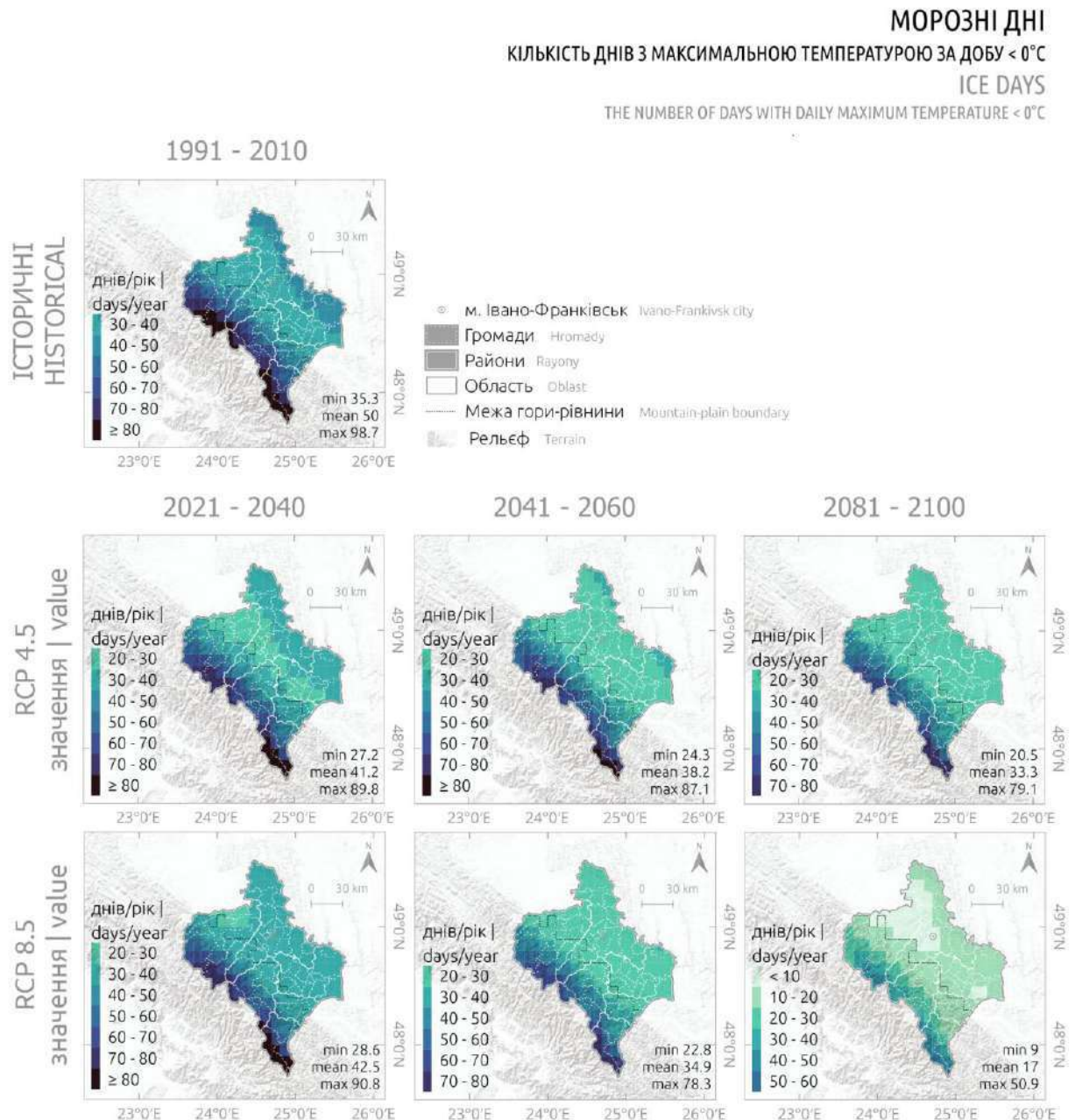


Рис. 3.2.17 Морозні дні

Кількість морозних днів аналогічно як і кількість днів з морозами також входить до списку основних індексів зміни клімату [http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml, <https://www.clivar.org/organization/etccdi/etccdi.php>, Karl et al. 1999; Peterson et al., 2001; Peterson, 2005]. Кількість морозних днів розраховується, коли максимальна приземна температура повітря протягом доби була < 0°C, тобто цілий день спостерігалися від'ємні температури. У загальному, такі низькі температури повітря та їх значна тривалість потенційно можуть зумовлювати дискомфортні умови для людини, тобто мати негативний вплив на сферу охорони здоров'я (переохолодження, виникнення чи поширення хвороб); додаткове навантаження на енергетику, наземний та водний Цей проєкт фінансується Європейським Союзом



транспорт (наприклад, для річкового є важливою інформація про стійкі морози) [Економічна метеорологія]; на сільське господарство через можливе пошкодження та вимерзання озимих за умови недостатнього покриття та висоти снігового покриву; дискомфортні умови для тварин тощо.

Івано-Франківська область характеризується як рівнинними, передгірськими так і гірськими формами рельєфу. Такі перепади висот та особливості надходження сонячної радіації значно впливають на просторово-часовий перерозподіл поля температури, зокрема й екстремальної, тому дуже важливим є аналіз даного температурного чинника для даної області.

У даній Стратегії для Івано-Франківської області використано добові дані максимальної температури повітря з 24 РКМ для сценарію RCP 4.5 та 15 РКМ для сценарію RCP 8.5 з розділенням $0,1^{\circ}\times 0,1^{\circ}$ (або приблизно $12,5\times 12,5$ км) з європейського проєкту Euro-CORDEX [Euro-CORDEX, ESGF]. Дані завантажено за посиланням [Euro-CORDEX, ESGF]. Обробка здійснена за допомогою пакета CDO. Для аналізу змін на майбутнє у три періоди 2021-2040, 2041-2060, 2081-2100 використано базовий історичний період 1991-2010. Для обчислення кількості днів, коли максимальна приземна температура повітря становила $< 0^{\circ}\text{C}$, застосовано функцію CDO `esa_id`. Знайдено усереднену річну кількість днів для кожного з періодів кожної РКМ, знайдено різниці та проведено ансамбле усереднення за моделями для RCP 4.5 та RCP 8.5.

Нижче наведені градації ступенів впливу на економіку цього чинника, який визначено негативним, коли чинник зростає у майбутні періоди відносно базового історичного 1991-2010. Визначені такі градації впливу від зміни кількості морозних днів з максимальною температурою $< 0^{\circ}\text{C}$ на сфері економіки в Івано-Франківській області:

1. незначний (very low) до 5 днів;
2. низький (low) від 5 до 10 днів;
3. середній (moderate/medium) від 10 до 20 днів;
4. високий (high) від 20 до 30 днів;
5. дуже високий (very high) більше 30 днів.

У базовий історичний період 1991-2010 територія Івано-Франківської області характеризується в цілому зростанням кількості морозних днів з північного сходу та сходу на захід і південний захід. Найвищі значення ≥ 80 з максимумом 98,7 днів характерні для високогір'я Карпат (Перегінська громада Калуського району; Поляницька, Ворохтянська громади Надвірнянського району; Зеленська, Білоберізька громади Верховинського району), але на переважній частині гірського хребта Карпат ця кількість морозних днів є нижчою та становить 50-80 днів. На рівнинній частині території ці значення є нижчими та становлять < 40 днів, лише на сході виділяється смуга з дещо вищими значеннями (схід Івано-Франківського та Коломийського районів). Середнє по області складає 50 днів, а мінімальне 35,3 днів на рік.

Оскільки за розглянутими сценаріями зміни клімату очікується потепління, то відповідно не очікується збільшення морозних днів і негативного впливу цього чинника. Тому на рис. 3.2.17 наведено для ілюстрації кількості морозних днів по Івано-Франківській області для майбутніх періодів.



У найближчому майбутньому 2021-2040 за RCP 4.5 по всій території Івано-Франківської області відносно базового очікується зменшення кількості морозних днів відносно базового 1991-2010. Їх максимальна кількість складатиме 89,8 днів у високогір'ї Карпат (Зеленська, Білоберізька громади Верховинського району), а в цілому значення кількості днів в горах складатиме 40-80 днів. Рівнинна частина характеризуватиметься нижчими значеннями та складатиме 30-40 на сході (схід Івано-Франківського та Коломийського районів) та <30 у центрі. Середнє по області складає 41,2 днів, а мінімальне 27,2 дні. За RCP 8.5 максимальна кількість морозних днів складатиме 90,8 (Ворохтянська громада Надвірнянського району; Зеленська, Білоберізька громади Верховинського району). У цілому, в Карпатах значення коливаються в межах 40-80 днів. На рівнинній частині кількість морозних днів нижча та складає 30-40. Середнє значення по області складає 42,5 днів. Найнижчі значення характерні для півночі та мінімальні складають 28,6 днів (Долинська, Брошнів-Осадська, Верхнянська, Калуська громади Калуського району).

На середину сторіччя 2041-2060 за RCP 4.5 очікується подальше зменшення кількості морозних днів по всій території Івано-Франківської області. Найвищі значення 87,1 характерні для високогір'я Карпат (Зеленська, Білоберізька громади Верховинського району), для гір ці значення коливатиметься від 40 до 80 днів. На рівнинній території розподіл є більш рівномірним в межах 24,3-30 днів. Середнє по області абсолютне значення становить 38,2 дні. За RCP 8.5 зменшення є більш інтенсивним: максимальні значення кількості морозних днів становитимуть 78,3 (Зеленська, Білоберізька громади Верховинського району), а їхня кількість в Карпатах складатиме в межах 30-70 днів, тоді як на рівнинній частині території 22,8-30 днів. Середнє значення по області 34,9 морозних днів на рік.

У віддаленому майбутньому 2081-2100 за RCP 4.5 продовжуватиметься зменшення кількості морозних днів по всій території Івано-Франківської області. Максимальні значення будуть складати 79,1 днів (Зеленська, Білоберізька громади Верховинського району). У цілому, значення в Карпатах коливатимуться у межах 30-70 днів, а на рівнинній він буде більш однорідним у просторі та становитиме 20,5-30 днів. Середнє по області складає 33,3, а мінімальне 20,5 морозних днів. За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 внаслідок зростання температури спостерігатиметься значне зменшення кількості морозних днів. Максимальні значення до 50,9 днів будуть притаманні для регіону Карпат (Перегіньська громада Калуського району; Зеленська, Білоберізька громади Верховинського району), де у порівнянні з минулими двадцятирічними періодами кількість морозних днів коливатиметься в межах 20-50 днів. Натомість, на переважній частині рівнинної території значення кількості морозних днів буде 20-30. Середнє по області складатиме 17 днів. Тоді як на півночі виділятимуться осередки з нижчими значеннями, де мінімум буде становити лише 9 днів (схід Калуського, захід Івано-Франківського району).

Оскільки впродовж сторіччя кількість морозних днів буде зменшуватися, то така тенденція не чинитиме негативного впливу на сфери економіки.



3.2.2 ЗВОЛОЖЕННЯ ТА ПОСУШЛИВІСТЬ

3.2.2.1 УСЕРЕДНЕНІ ОПАДИ

3.2.2.1.1 Кількість опадів за рік

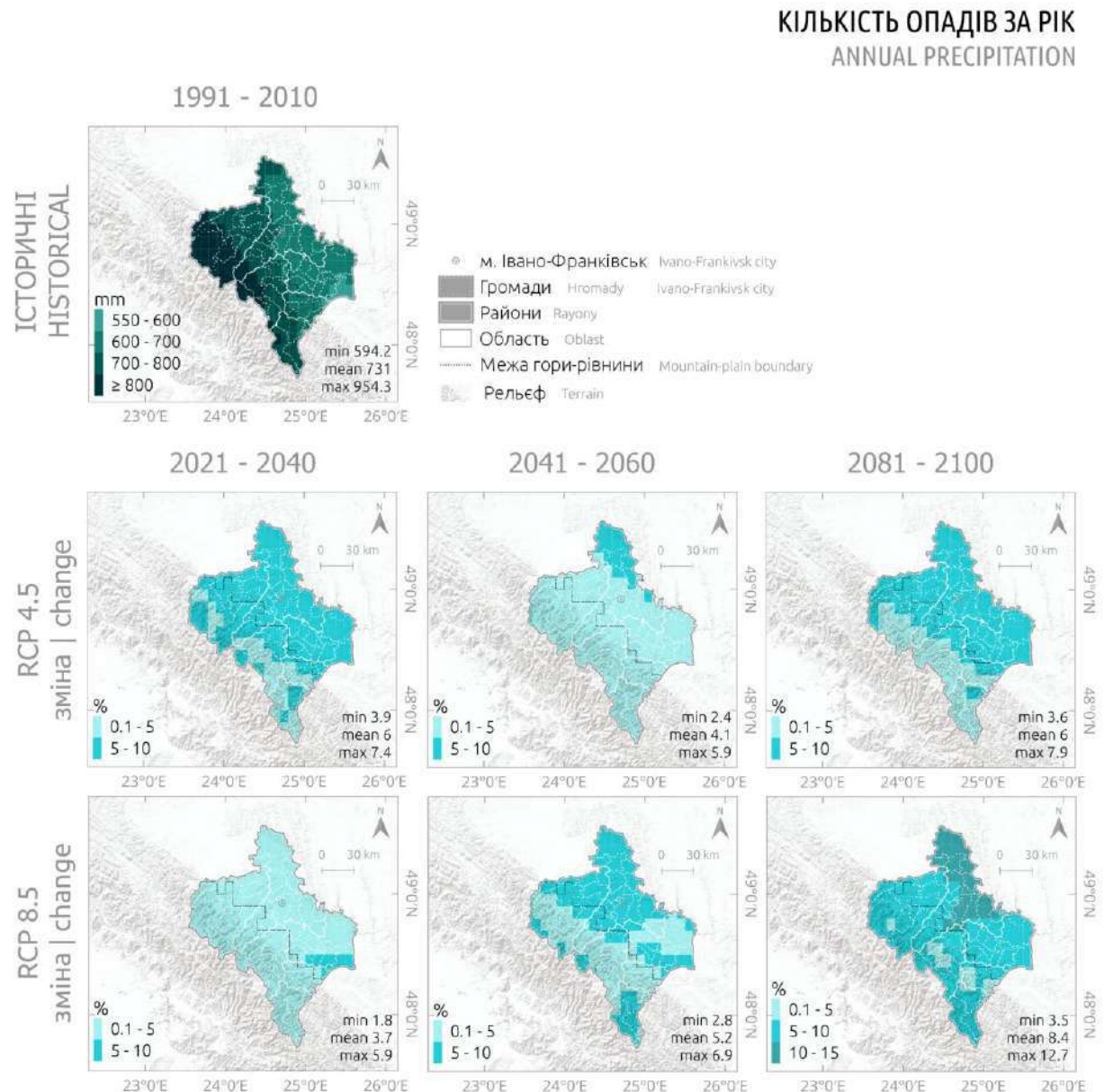


Рис. 3.2.18 Кількість опадів за рік

Кількість опадів за рік є загальною кліматичною характеристикою режиму зволоженості та прихідною частиною водного балансу певної території. Вона зазвичай визначається як сума опадів, накопичених протягом календарного року. Річна сума опадів є важливим кліматичним показником для планування сільського та лісового господарств, гідроенергетики, будівництва та транспорту включно з річковим, для сталого управління наземними та водними екосистемами, прибережними територіями, тощо. Слід зазначити, що територія Івано-Франківської області входить до кліматичної зони надмірного зволоження, коли кількість опадів перевищує випаровування.



У даній Стратегії розрахунків та аналіз зміни річної суми опадів проводився з використанням початкових добових модельних даних про кількість опадів 34 РКМ проєкту Euro-CORDEX [ESGF, Euro-CORDEX] за двома сценаріями репрезентативних концентрацій парникових газів RCP 4.5 та RCP 8.5. Модельні дані завантажені з сайту [ESGF, Euro-CORDEX] та мають просторовий горизонтальний крок сітки $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$, що становить приблизно $12,5 \times 12,5$ км. Така роздільна здатність дає можливість деталізованого відображення просторового розподілу кліматичних характеристик. Для обробки та розрахунку використовувався bash-scripting з застосуванням пакету Climate Data Operators (CDO). Початкові модельні дані представлені у $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ та переведені у мм за добу, що є уніфікованими одиницями вимірювання кількості опадів та рекомендовані Всесвітньою метеорологічною організацією (ВМО).

Розрахунки річної кількості опадів виконано для базового історичного періоду 1991-2010 та трьох майбутніх: 2021-2040, 2041-2060 та 2081-2100 за двома сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5. Спочатку знаходилася сума за кожен рік, після чого проводилося усереднення за кожен з 20-річних періодів. Наступним був розрахунок різниці річної суми опадів між кожним майбутнім періодом відносно базового історичного 1991-2010 для кожної моделі, потім отримані значення усереднювалися за ансамблем 34 РКМ та переводилися у відсотки (%).

Для аналізу та оцінки негативного впливу зміни кількості опадів за рік у відсотках (%) за двома RCP-сценаріями для Івано-Франківської області визначено, що негативний вплив на сектори матиме зменшення кількості річних опадів. Нижче наведені наступні п'ять градацій ступеня впливу на галузі економіки:

1. незначний (very low) до -5,0%
2. низький (low) від -5,0% до -10,0%;
3. середній (moderate/medium) від -10,0% до -15,0%;
4. високий (high) від -15,0% до -20,0%;
5. дуже високий (very high) більше -20,0%.

У базовий історичний період 1991-2010 територія Івано-Франківської області характеризується зростанням кількості опадів за рік у напрямку зі сходу, де переважає рівнинна частина, на захід, де розташований гірський масив Карпат. У Передкарпатті (на сході та в центрі області) річна кількість опадів варіює переважно у межах 600-700 мм, а найменша кількість становить 594,2 мм (Снятинська громада Коломийського району). При просуванні на захід ця кількість зростає і становить вище 800 мм у високогір'ї Карпат з максимумом 954,3 мм. Середні по області становлять 731,0 мм. Загалом, Івано-Франківська область за вологозабезпеченням відноситься до достатнього та надмірного, оскільки річна сума опадів зазвичай вища від кількості вологи, що випаровується з поверхні ґрунту та рослинного покриву (евапотранспірація).

У найближчому майбутньому 2021-2040 за RCP 4.5 (рис. 3.2.18) на території Івано-Франківської області очікується підвищення річної суми опадів відносно базового періоду 1991-2010. Більші зміни очікуються на рівнинній частині, східних схилах Карпат та частково на заході, де вони складатимуть 5,0% і вище з максимальними значеннями 7,4%. Нижчі значення очікуються частково у високогір'ї Карпат з мінімальними значеннями 3,9% (Витвицька громада Калуського району; Пасічанська, Яремчанська, Ворохтянська громади Надвір'янського району; Зеленська, Цей проєкт фінансується Європейським Союзом



Білоберізька громади Верховинського району). Середнє по області становить 6,0%. За сценарієм вищих концентрацій RCP 8.5 річна кількість опадів буде також зростати, проте з меншою інтенсивністю. Максимальні значення 5,9% будуть відмічатися на сході області (частково Матеївецька, Заболотівська, Снятинська громади Коломийського району), тоді як на переважній частині території значення будуть становити до 5% з мінімальним підвищенням 1,8%. Середнє по області 3,7%.

Для періоду 2041-2060 на середину сторіччя, (рис. 3.2.18) по всій території Івано-Франківської області зростання кількості опадів за рік за RCP 4.5 дещо знизиться відносно попереднього двадцятиріччя. Максимальні зміни до 5,9% будуть характерні для півночі області (Рогатинська, Бурштинська, Більшівцівська, Дубовецька громади Івано-Франківського району). На переважній частині території зміни будуть до 5,0%. Мінімальні значення становитимуть 2,4%, а середні 4,1%. За RCP 8.5 таке зростання буде дещо вищим. Переважно на рівнинній частині, у Передкарпатті, та на півдні (Зеленська, Верховинська, Білоберізька громади Верховинського району) будуть відмічатися значення 5% і вище з максимумом 6,9%. Тоді як в районі Карпат ці значення будуть нижчими та становитимуть мінімально 2,8%.

Для періоду віддаленого майбутнього 2081-2100 за сценарієм RCP 4.5 (рис. 3.2.18) відбуватиметься підвищення кількості опадів за рік. Більші зміни вище 5,0% з максимумом 7,9% очікуються на рівнинній частині території Івано-Франківської області, тоді як у високогір'ї Карпат ці зміни будуть меншими з мінімальними значеннями 3,6%. Середнє по області становить 6,0%. За високим емісійним сценарієм RCP 8.5 очікується інтенсифікація опадоутворення. Максимальне зростання становитиме до 12,7% та буде характерне для півночі та сходу Івано-Франківської області. Тоді як на переважній частині Івано-Франківської області зміни становитимуть 5,0-10,0%. Мінімальні значення складатимуть 3,5%, тоді як середнє по області 8,4%.

Оскільки кількості опадів за рік зростає, а не зменшується, то на економічні сектори Івано-Франківської області не очікується негативного впливу цього кліматичного показника.



3.2.2.1.2 Кількість опадів за січень

КІЛЬКІСТЬ ОПАДІВ ЗА СІЧЕНЬ JANUARY PRECIPITATION

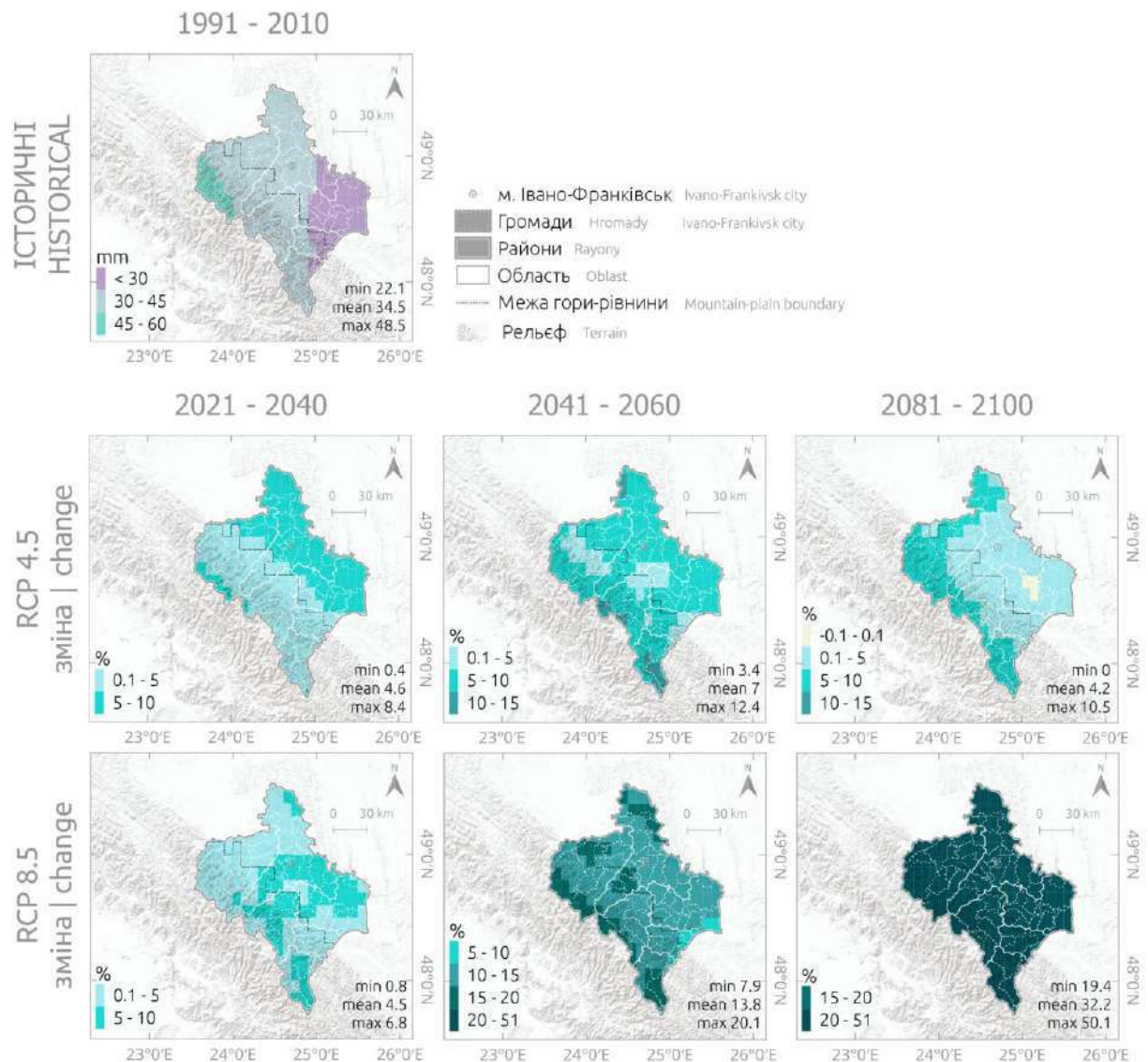


Рис. 3.2.19 Кількість опадів за січень

Для детальнішого аналізу впливу зміни клімату виникає необхідність оцінити зміни кількості опадів внутрішньорічно або по сезонах, оскільки перерозподіл опадів може бути нерівномірним як по місяцях року, так і по території. Сума опадів у зимовий сезон є важливим показником для оцінки впливу на економіку, оскільки можливі додатні та від'ємні зміни у кількості опадів можуть як посилювати, так і послаблювати різноспрямовані (як негативні так і позитивні) впливи на різні сектори. Зростання або зменшення кількості опадів у зимовий сезон може впливати на річковий стік, якість водних ресурсів; їх збільшення може зумовити додаткове навантаження на транспорт, енергетику тощо. Для сезонних змін кількості опадів у зимовий сезон проаналізовано центральний



місяць сезону - січень. Особливо це є актуальним для території Івано-Франківської області, оскільки вона характеризується складним рельєфом, як рівнинним, передгірським так і гірським Карпат.

Аналогічно алгоритму розрахунку річної кількості опадів на території Івано-Франківської області, суму опадів для січня знайдено за даними добової суми опадів за 34 РКМ для сценаріїв RCP 4.5 та RCP 8.5. Початкові змодельовані дані отримані з сайту [ESGF, Euro-CORDEX]. Для знаходження зміни кількості опадів у січні виконувалася обробка даних за допомогою пакету CDO за наступні періоди: базовий історичний 1991-2010 та три майбутні 2021-2040, 2041-2060 та 2081-2100. Початкові дані РКМ були наведені у $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ та переведені у мм за добу. Спочатку за допомогою функції CDO `uomsun` розраховувались багаторічні усереднені значення для всіх чотирьох періодів. Для визначення зміни знаходилася різниця між кожною моделлю майбутнього періоду та базовим 1991-2010 та проводилося ансамблеве усереднення за 34 РКМ та перерахунок у відсотки (%).

Ступені негативного впливу на різні сектори економіки від зміни кількості опадів за січень визначалися за зменшенням чинника із тими самими межами як і для річної суми опадів:

1. незначний (very low) до -5,0%
2. низький (low) від -5,0% до -10,0%;
3. середній (moderate/medium) від -10,0% до -15,0%;
4. високий (high) від -15,0% до -20,0%;
5. дуже високий (very high) більше -20,0%.

З (рис. 3.1.9) у базовий історичний період 1991-2010 кількість опадів взимку у січні мають дещо меридіональний розподіл та зростають поступово зі сходу на захід. Найвищі значення >45 мм відмічаються на заході у районі Карпат (Вигодська, Перегінська громади Калуського району), де максимуми становлять 48,5 мм. Тоді як на переважній частині території, як гірській, передгірській так і рівнинній, значення будуть коливатися у межах 30-45 мм. Східна частина області характеризується найменшою кількістю опадів протягом січня та становить <30 мм з мінімальними значеннями 22,1 мм (схід Івано-Франківського району; переважна частина Коломийського та Косівського районів). Середня кількість опадів по області у січні становила 34,5 мм.

У найближчому майбутньому у період 2021-2040 (рис. 3.2.19) за сценарієм RCP 4.5 кількість опадів за січень зростатиме відносно базового історичного періоду 1991-2010 по всій території Івано-Франківської області. Проте найбільші зміни $>5,0\%$ будуть спостерігатися переважно на рівнинній частині та становитимуть максимально до 8,4%, середнє по області 4,6%, тоді як в Карпатах ці зміни будуть нижчими та складатимуть мінімально 0,4%. За RCP 8.5 також очікується зростання кількості опадів у січні. Найбільші зміни $>5,0\%$ з максимумом 6,8 % отримано на півдні (Верховинська, Білоберізька громади Верховинського району), в центрі та сході (південь Івано-Франківського району, частина Надвірнянського та Коломийського районів). Середнє по області становить 4,5%, а мінімальні 0,8%.

На середину сторіччя 2041-2060 за сценарієм RCP4.5 (рис. 3.2.19) продовжуватимуться підвищуватися суми опадів у січні по всій території Івано-Франківської області у порівнянні з 1991-2010. Найвищі зміни відбуватимуться на крайньому заході (Поляницька громада Надвірнянського району) та півдні (Білоберізька громади Верховинського району) і становитимуть до 12,4%. Тоді як Цей проєкт фінансується Європейським Союзом



на переважній частині території значення коливатимуться в межах 5,0-10,0%, з середнім значенням по області 7,0%. Мінімальні значення становитимуть 3,7%. За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 на середину сторіччя відбуватиметься значне зростання кількості опадів у січні. Максимальні зміни до 20,1% спостерігатимуться на заході (Вигодська, Перегінська громади Калуського району; Полянницька громада Надвірнянського району) та півдні. Середнє по області складає 13,8%. Мінімальні значення 7,9% будуть характерні для південного сходу області.

Для віддаленого майбутнього 2081-2100, за сценарієм RCP 4.5 (рис. 3.2.19) на противагу попередньому двадцятиріччю, відмічатиметься дещо менше зростання кількості опадів у січні. Найбільші зміни >5,0% будуть характерні для заходу, півночі та півдня, де максимальні зміни становитимуть 10,5%. Тоді як на рівнинній частині території та на південному сході Карпат ці зміни будуть меншими, у межах 0,1-5,0%. Усереднене значення по області 4,2%. Мінімальні значення складатимуть 0%. За цей же період за RCP 8.5 очікується значне зростання кількості опадів у січні. Максимальні зміни становитимуть 50,1%, середнє по області 32,2%, а мінімальні зміни 19,4%.

Отримані значення зміни суми опадів у січні впродовж XXI сторіччя не матимуть у цілому негативного впливу на галузі економіки, оскільки відбувається зростання їхньої кількості. Але очевидно, що все ж значні (до 50%) зміни кількості опадів у січні мають братися до уваги принаймні у таких секторах як управління водними ресурсами та стихійними лихами.



3.2.2.1.3 Кількість опадів за квітень

КІЛЬКІСТЬ ОПАДІВ ЗА КВІТЕНЬ

APRIL PRECIPITATION

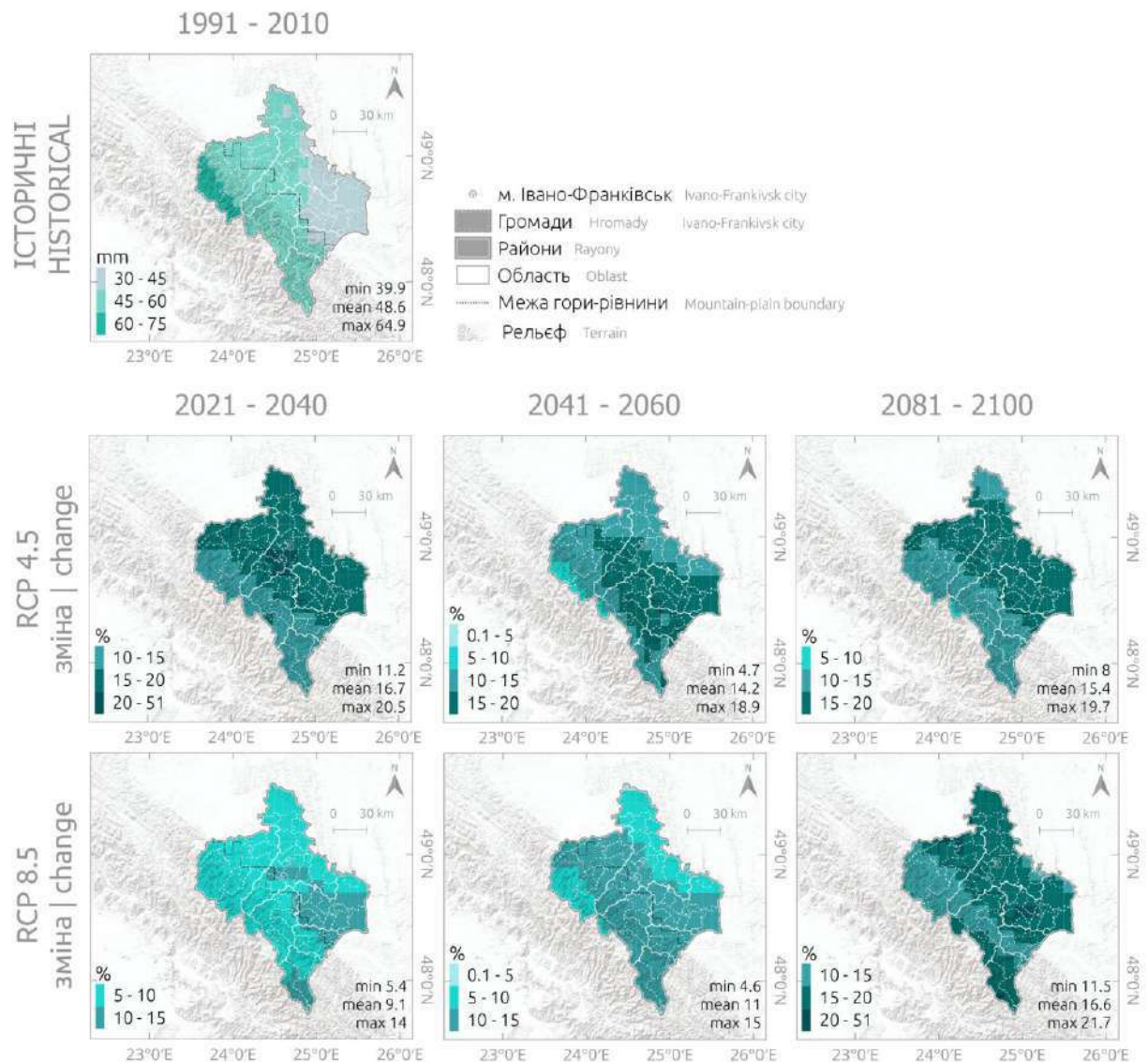


Рис. 3.2.20 Кількість опадів за квітень

Аналіз змін суми опадів для весняного сезону виконувався для центрального місяця - квітня. Опади навесні є важливими, оскільки у цей час починається період вегетації для багатьох рослин. Слід зауважити, що Івано-Франківська область характеризується як рівнинним, передгірським так і гірськими формами рельєфу, що у поєднанні з підвищенням приземної температури повітря призводить до інтенсивного танення снігу. У поєднанні з опадами це може вплинути на річковий стік та якість водних ресурсів навесні.

Розрахунок для оцінки зміни кількості опадів у квітні здійснено з використанням даних добової кількості опадів за 34 PKM проєкту Euro-CORDEX з даними у сітці 0,1°x0,1° (або приблизно 12,5x12,5 км), які завантажені з сайту [ESGF, Euro-CORDEX]. Початкові дані моделей були наведені у

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проект, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму



кг·м²·с⁻¹ та переведені у мм за добу. Аналіз проводився для двох сценаріїв репрезентативних концентрацій парникових газів RCP 4.5 та RCP 8.5. Розрахунок виконано за допомогою Climate Data Operators (CDO) для двох сценаріїв RCP 4.5 та RCP 8.5 за чотири періоди: базовий історичний 1991-2010 та три майбутні 2021-2040, 2041-2060 та 2081-2100. Знайдено різницю між кількістю опадів за кожен майбутній 20-річний період та базовий для кожної РКМ окремо та проведено ансамблеве усереднення за 34 РКМ, після чого знайдені відносні зміни у відсотках до історичного періоду.

Як і для інших усереднених показників кількості опадів, визначено, що лише зменшення кількості опадів у квітні за нижче вказаними градаціями може призвести до різних ступенів негативного впливу на різні сектори економіки:

1. незначний (very low) до -5,0%
2. низький (low) від -5,0% до -10,0%;
3. середній (moderate/medium) від -10,0% до -15,0%;
4. високий (high) від -15,0% до -20,0%;
5. дуже високий (very high) більше -20,0%.

У базовий історичний період 1991-2010 для квітня відмічається зростання кількості опадів у напрямку зі сходу на захід. Найвищими значеннями >60 мм характеризується західна частина області у Карпатах (Вигодська, Перегінська громади Калуського району), а максимумами сягають 64,9 мм. Переважна частина території характеризується значеннями 45,0-60,0 мм, а усереднена кількість опадів за квітень становить 48,6 мм. Мінімальні значення 39,9 мм характерні для сходу області (схід Івано-Франківського; весь Коломийський; Косівська, Рожнівська громади Косівського району).

У період найближчого майбутнього 2021-2040 за сценарієм RCP 4.5 (рис. 3.2.20) на всій території Івано-Франківської області буде спостерігатися зростання суми опадів у квітні відносно базового історичного періоду 1991-2010. Максимальні зміни >15,0% спостерігатимуться на рівнинній частині території, максимумами сягатимуть 20,5% (Старобогородчанська, Лисецька, Івано-Франківська громади Івано-Франківського району). Середнє по області складатиме 16,7%. Нижчі значення будуть характерні для регіону Карпат з мінімумом 11,2%. У порівнянні з RCP 4.5 за RCP 8.5 ці зміни будуть нижчими. Максимальне зростання становитиме до 14,0% на півдні (Зеленська, Білоберізька громади Верховинського району) та сході (Коломийський район). Тоді як на переважній частині території, як рівнинній, так і гірській, зміни будуть у межах 5,4-10,0%. Середнє по області становитиме 9,1%.

Для періоду 2041-2060 на середину сторіччя за сценарієм RCP 4.5 (рис. 3.2.20) по всій території Івано-Франківської області також очікується зростання кількості опадів у квітні. Найбільші прирости будуть у центрі та на південному сході до 18,9% (захід Івано-Франківського, переважна частина Надвірнянського та Коломийського районів). Середнє по області становить 14,2%, тоді як мінімальне 4,7% буде характерне для заходу. За RCP 8.5 у порівнянні з RCP 4.5 значення приросту будуть дещо нижчими. Переважна частина території характеризуватиметься значеннями >10,0% з максимумом 15,0%. Середній приріст по області складатиме 11,0%. А нижчі значення з мінімумом 4,6% будуть характерні для заходу (Вигодська, Перегінська громади Калуського району), північного сходу та сходу (північ та схід Івано-Франківського району).

Для періоду 2081-2100, віддаленого майбутнього, за сценарієм RCP 4.5 (рис. 3.2.20) очікується також посилення зростання кількості опадів у квітні по всій території Івано-Франківської області. Найвищі значення спостерігатимуться на рівнинній частині >15,0% з максимальним



приростом до 19,7%. Середня по області зміна складе 15,4%. Регіон Карпат характеризуватиметься нижчими значеннями з мінімальним зростанням на 8,0%. За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 на більшій частині території приросту будуть >15% з максимальними значеннями 21,7%. Середнє зростання по області складатиме 16,6%, а нижчі значення відмічатимуться в Карпатах з мінімумом 11,5%.

Отже, можна зробити висновок, що такі зростання кількості опадів впродовж XXI сторіччя навесні у квітні не матимуть негативного впливу на сектори економіки в Івано-Франківській області.

3.2.2.1.4 Кількість опадів за липень

КІЛЬКІСТЬ ОПАДІВ ЗА ЛИПЕНЬ JULY PRECIPITATION

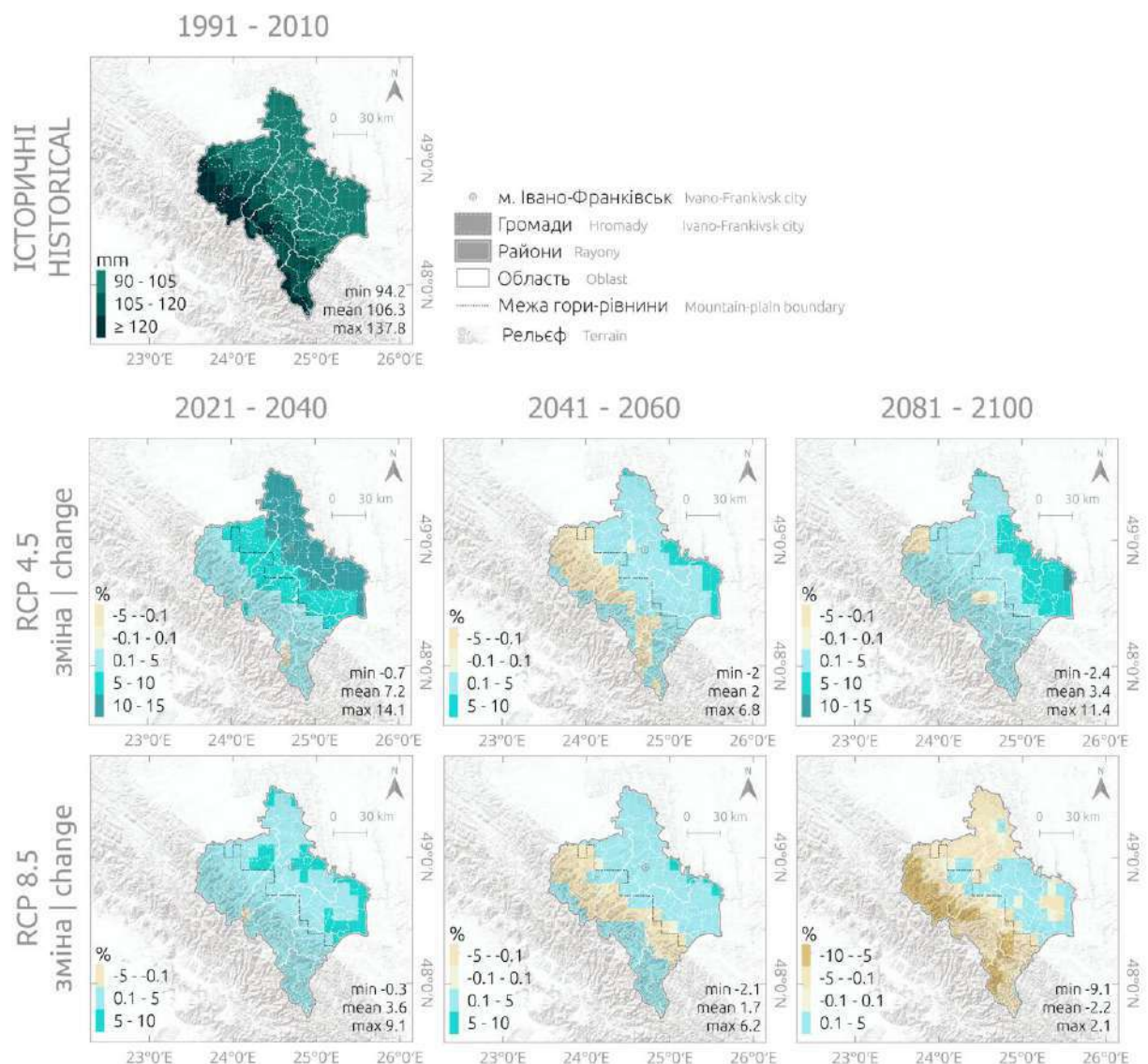


Рис. 3.2.21 Кількість опадів за липень

Для літнього сезону зміна кількості опадів аналізувалася для центрального місяця - липня.

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проект, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму



Аналогічно як і для попередніх усереднених річних та місячних сум опадів, використано модельні дані добової суми опадів за 34 РКМ (просторовий горизонтальний крок сітки $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ або приблизно $12,5 \times 12,5$ км) проєкту Euro-CORDEX. Початкові дані у $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ завантажені з бази даних [ESGF, Euro-CORDEX] і переведені у мм за добу. Розрахунок показника для липня проводився із застосуванням пакету Climate Data Operators (CDO) для двох сценаріїв RCP 4.5 та RCP 8.5 за чотири періоди: базовий історичний 1991-2010 та три майбутні 2021-2040, 2041-2060 та 2081-2100. Знайдено різницю між кількістю опадів за липень за кожен майбутній 20-річний період та базовий для кожної РКМ та проведено ансамблеве усереднення за 34 РКМ із перерахунком у відсотки.

Ступені негативного впливу на різні сектори економіки в Івано-Франківській області від зміни суми опадів влітку в липні визначалися за зменшенням чинника із тими самими межами як і для річної суми опадів:

1. незначний (very low) до -5,0%
2. низький (low) від -5,0% до -10,0%;
3. середній (moderate/medium) від -10,0% до -15,0%;
4. високий (high) від -15,0% до -20,0%;
5. дуже високий (very high) більше -20,0%.

Базовий історичний період 1991-2010 характеризується в цілому найбільшими значеннями суми опадів впродовж року, а також розкидом значень у липні по території Івано-Франківської області через наявність як рівнинних, передгірських так і гірських форм рельєфу. Нижчі значення місячної суми опадів характерні для рівнинної частини та Передкарпаття, де значення варіюють у межах 94,2-105,0 мм. Середнє по області складає 106,3 мм. У гірських регіонах ці значення зростають від 105,0 мм на східних схилах Карпат до максимально 137,8 мм на заході у високогір'ї.

У найближчому майбутньому 2021-2040 (рис. 3.2.21) за умови реалізації сценарію RCP 4.5, влітку (у липні) відносно базового історичного періоду 1991-2010 практично по всій території Івано-Франківської області буде спостерігатися зростання кількості опадів максимально до 14,1%, які будуть характерні для сходу та північного сходу (схід Івано-Франківського та Коломийського районів). Тоді як у напрямку зі сходу на захід зростання кількості опадів буде зменшуватися. Середнє по області становитиме 7,2%. Лише в окремих осередках кількість опадів матиме негативну тенденцію, тобто мінімальні значення становитимуть -0,7% (Зеленська громада Верховинського району). Аналогічно до RCP 4.5 за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 у цілому спостерігатиметься зростання кількості опадів, проте з меншими кількісними значеннями і одноріднішими по території. Максимум становить 9,1% та вищі значення характерні для сходу області. Середні складатимуть 3,6%, тоді як мінімальні значення набуватимуть від'ємних значень - 0,3% на заході. Отже, за двома RCP-сценаріями відбуватиметься переважно зростання кількості опадів, що відповідно не нестиме негативного впливу на сектори економіки, оскільки дані впливи розглядаються за умови зменшення кількості опадів.

На середину сторіччя 2041-2060 за сценаріями RCP 4.5 зростання кількості опадів у липні порівнянні з базовим за виключенням певних осередків у Карпатах, проте інтенсивність зміни зменшилася у порівнянні з попереднім періодом. Максимальне зростання опадів становить 6,8% на сході, середнє по області 2,0%, тоді як мінімальні значення будуть від'ємними та становитимуть - 2,0% та будуть характерні для району Карпат (захід Калуського та Івано-Франківського районів; Пасічнянська, Яремчанська, Ворохтянська громади Надвірнянського району; Зеленська громада

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом



Верховинського району). Для RCP 8.5 значення зміни є подібними до RCP 4.5. Максимальні зміни опадів складають 6,2%, середнє по області 1,7%, а мінімальні значення будуть від'ємними та становитимуть -2,1% у районі Карпат (захід Калуського та Івано-Франківського районів; Пасічнянська, Яремчанська громади Надвірнянського району; Печеніжинська громада Коломийського району; Косівський район). Аналогічно, як і для попереднього двадцятиріччя, такі зміни кількості опадів у липні є здебільшого додатними за виключенням регіону Карпат, де вони матимуть незначний вплив через від'ємні зміни кількості опадів.

Для віддаленого майбутнього 2081-2100, за сценарієм RCP 4.5 (рис. 3.2.21) переважно для всієї території Івано-Франківської області продовжуватиметься підвищення кількості опадів у липні відносно базового та деяка інтенсифікація у порівнянні з попереднім двадцятирічним періодом. Максимально опади зростуть на 11,4% на сході (Городенківська громада Косівського району), середнє по області становитиме 3,4%, тоді як мінімальне значення, як і в попередні періоди, буде від'ємним -2,4% в окремих осередках (Болехівська, Витвицька громади Калуського району). Тоді як за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 до кінця сторіччя очікуються зменшення кількості опадів у липні на переважній частині території. На заході та півдні у районі Карпат зменшення опадів сягатиме -9,1% (Витвицька, Вигодська, Перегінська громади Калуського району; Пасічнянська громада Надвірнянського району; Зеленська громада Верховинського району), тоді як середнє по області становитиме -2,2%. Максимальні значення зміни будуть додатними та складатимуть до 2,1% (південь Івано-Франківського та північ Коломийського районів). Такі зміни опадів у липні до кінця XXI сторіччя за RCP 8.5 спричинятимуть переважно незначний негативний вплив за винятком заходу та півдня Карпат, де він відповідатиме градації низького.

В цілому високу чутливість до зменшення кількості опадів у липні мають такі сектори як водні ресурси, річковий стік та сільське господарство (рослинництво), а помірна чутливість у сфері охорони здоров'я та у енергетики. Проте, для Івано-Франківської області переважно відмічатиметься зростання кількості опадів за RCP 4.5 впродовж XXI сторіччя, і в той же час лише на кінець сторіччя за сценарієм RCP 8.5 переважне зменшення.



3.2.2.1.5 Кількість опадів за жовтень

КІЛЬКІСТЬ ОПАДІВ ЗА ЖОВТЕНЬ OCTOBER PRECIPITATION

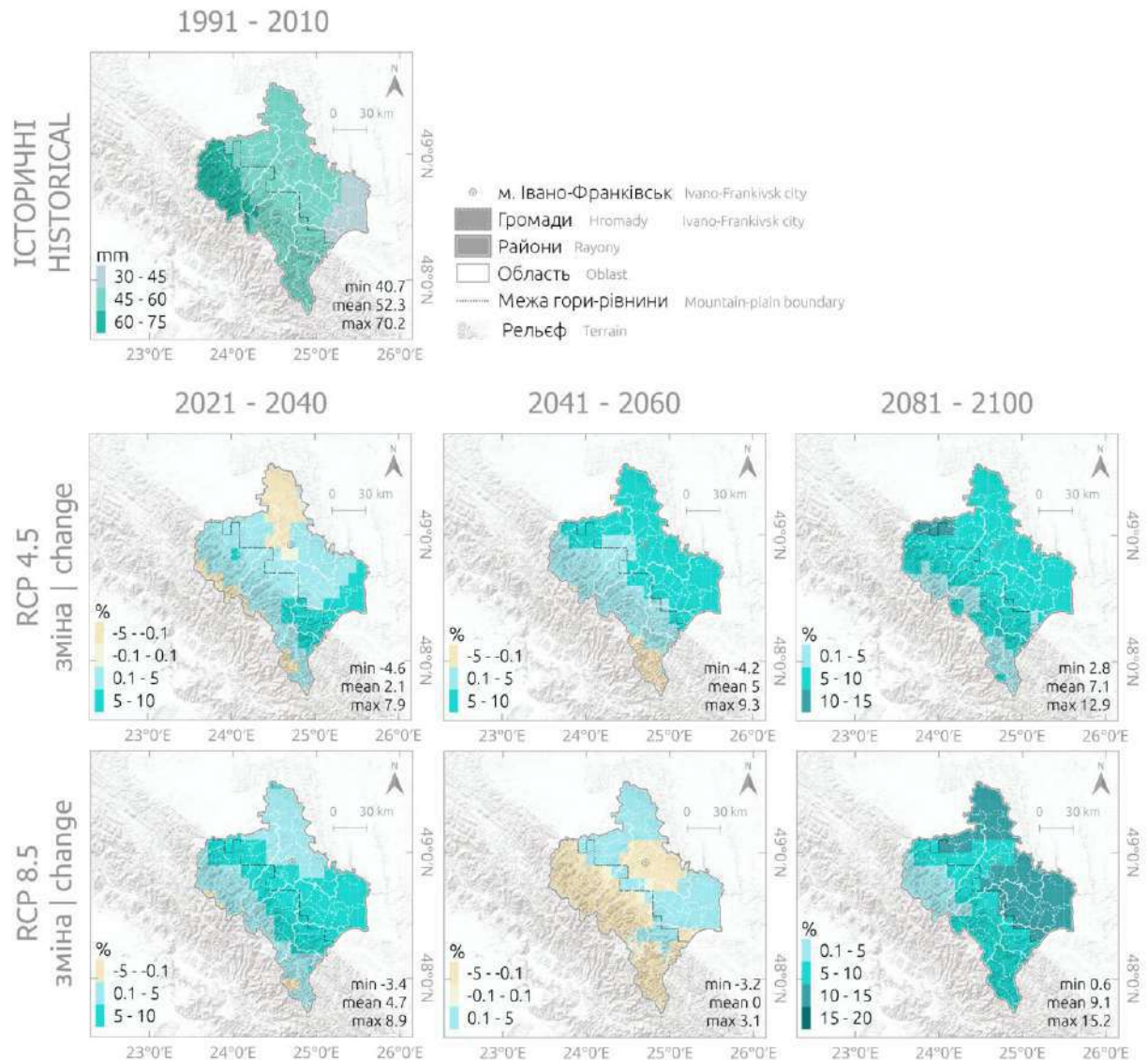


Рис. 3.2.22 Кількість опадів за жовтень

Для осіннього сезону аналіз зміни кількості опадів проводився для центрального місяця, жовтня. Як і у попередньо представлених розрахунках зміни суми опадів, для осіннього сезону, жовтня, застосовувався той самий алгоритм. Завантажено [ESGF, Euro-CORDEX] та опрацьовано модельні дані про добові суми опадів за 34 РКМ (сітка $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ або приблизно $12,5 \times 12,5$ км) проєкту Euro-CORDEX для двох сценаріїв RCP 4.5 та RCP 8.5 за чотири періоди: базовий історичний 1991-2010, відносно якого визначалися зміни за три майбутні 2021-2040, 2041-2060 та 2081-2100. Обчислення проводилися з застосуванням Climate Data Operators (CDO). Модельні дані були переведені з $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ у мм за добу. Знайдено різницю між кількістю опадів у жовтні між кожною з



РКМ за кожен майбутній 20-річний період та базовий та проведено ансамблеве усереднення за 34 РКМ і розрахунок зміни у відсотках від історичного.

Ступені негативного впливу на різні сектори економіки від зміни суми опадів восени в жовтні визначалися за зменшенням чинника за такими ж градаціями як і для річної суми та суми опадів центральних місяців сезонів:

1. незначний (very low) до -5,0%
2. низький (low) від -5,0% до -10,0%;
3. середній (moderate/medium) від -10,0% до -15,0%;
4. високий (high) від -15,0% до -20,0%;
5. дуже високий (very high) більше -20,0%.

Для базового історичного періоду 1991-2010 опади у жовтні характеризуються поступовим підвищенням кількості з заходу на схід Івано-Франківської області, що пов'язано зі зростанням висотної поясності. Хоча слід відмітити, що не у всьому регіоні Карпат спостерігаються значне зростання кількості опадів у порівнянні з рівнинною частиною території Івано-Франківської області. Отже максимальні значення до 70,2 мм характерні для заходу області (Болехівська, Витвицька, Вигодська, Спаська, Перегінська громади Калуського району). Тоді як на переважній частині території значення будуть коливатися в межах 45,0-60,0 мм з середнім значенням 52,3 мм. Нижчі значення суми опадів у жовтні з мінімумом 40,7 мм притаманні для сходу області (Чернелицька, Городенківська, Гвіздецька, Заболотівська, Снятинська громади Коломийського району).

Для періоду найближчого майбутнього 2021-2040 за сценарієм RCP 4.5 (рис. 3.2.22) для Івано-Франківської області по відношенню до базового історичного періоду 1991-2010 характерне деяке зростання суми опадів у жовтні переважно на всій території. Максимальне зростання кількості опадів становить до 7,9% на південному сході області (Косівський район; Заболотівська, Снятинська громади Коломийського району), середнє по області 2,1%. Тоді як мінімальне матиме від'ємне значення та становитиме -4,6% (північ Івано-Франківського району та захід Калуського), що відповідає незначному негативному впливу. За сценарієм RCP 8.5 відбуватиметься здебільшого зростання кількості опадів. Більші значення >5,0% будуть характерні для переважної території області. Максимальні значення становитимуть до 8,9%, середнє по області 4,7%, а мінімальне буде -3,4%, що також відповідає незначному негативному впливу. У цілому, отримані значення зміни кількості опадів за обома RCP-сценаріями вказуватимуть на переважно відсутність негативного впливу, бо такий вплив буде незначним, зокрема на півночі Івано-Франківської області та інших невеликих ділянках.

Для періоду 2041-2060, на середину сторіччя, за сценарієм RCP 4.5 (рис. 3.2.22) по всій території Івано-Франківської області переважно буде спостерігатися зростання кількості опадів у жовтні. Максимальні зміни становитимуть до 9,3% (північ Калуського, переважна частина Івано-Франківського та весь Коломийський район), середнє по області 5,0%, а мінімальні -4,2% (Зеленська, Білоберізька громади Верховинського району). За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 усереднені зміни кількості опадів відсутні (0%). На іншій території отримано значення у межах приблизно $\pm 3\%$. Такі отримані значення зміни кількості опадів на середину сторіччя вказують на те, що вони або не чинитимуть негативний вплив, або цей вплив відповідає градації незначного і здебільшого в Карпатах за RCP 8.5.



Для періоду 2081-2100, віддаленого майбутнього за сценарієм RCP 4.5 (рис. 3.2.22) на території Івано-Франківської області очікується посилення зростання кількості опадів у жовтні. Максимальне зростання складатиме 12,9% (Болехівська, Долинська громади Івано-Франківського району), середнє по області 7,1%, а мінімальне 2,8% (Перегінська громада Калуського району; Пасічнянська громада Надвірнянського району; Зеленська, Білоберізька громади Верховинського району). За сценарієм RCP 8.5 до кінця сторіччя також очікується зростання кількості опадів у жовтні. Максимальні зміни становитимуть до 15,2% (північ та схід Івано-Франківського району; Коломийський район), середнє по області буде 9,1%. Нижчі значення <5,0% характерні для заходу області (Вигодська, Спаська, Перегінська громади Калуського району), де мінімальні значення складають 0,6%. Оскільки опади матимуть негативний ступінь впливу лише за умови їх зменшення, то у жовтні не буде спостерігатися негативний вплив на сектори економіки.

До зміни кількості опадів у жовтні середній або помірний ступінь чутливості у водних ресурсів та прісноводних екосистем, а у інших галузях чутливість здебільшого нижча.



3.2.2.2 ЗЛИВИ ТА ДОЩОВІ ПАВОДКИ

3.2.2.2.1 Максимальна кількість опадів за 5 днів

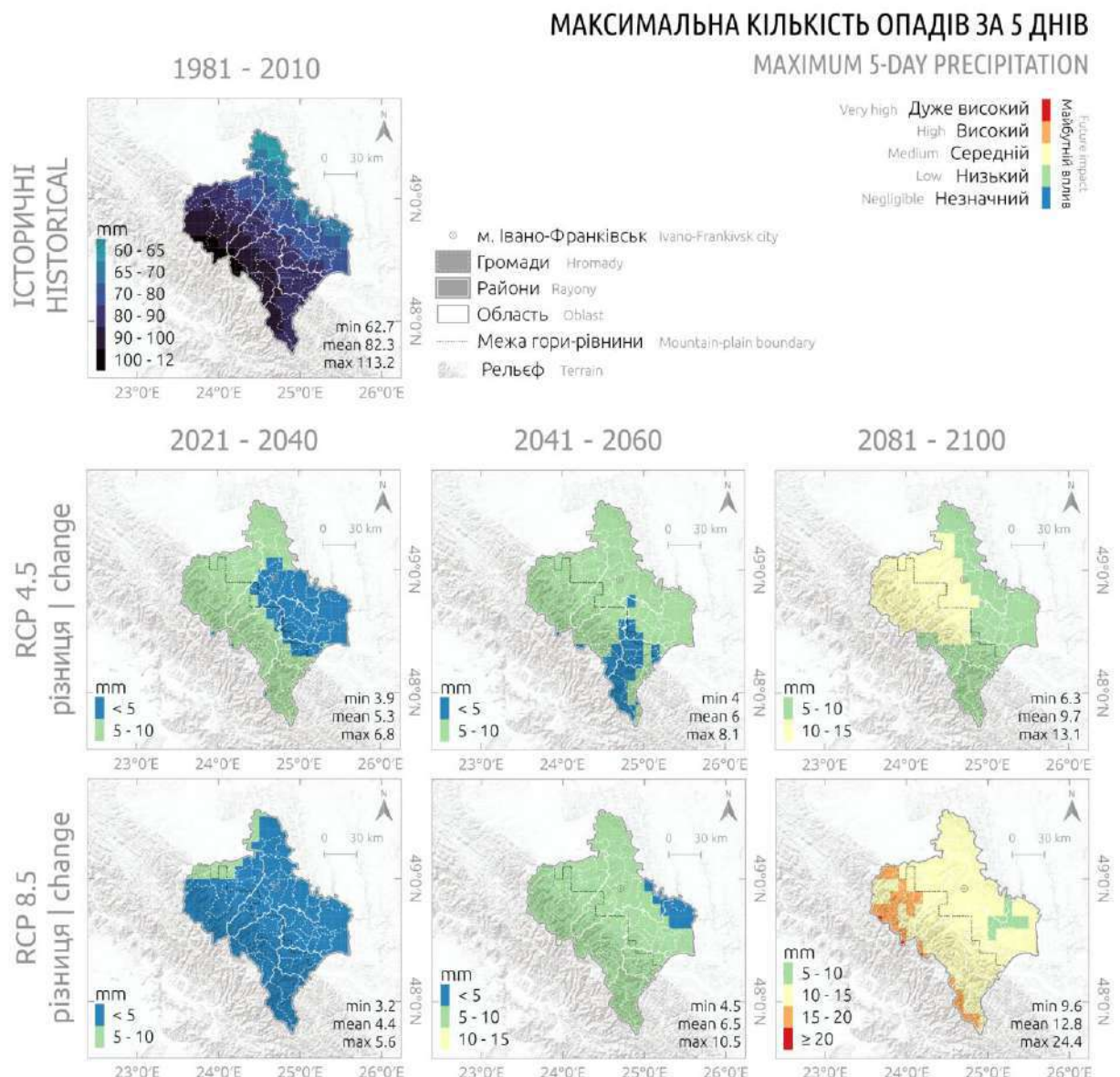


Рис. 3.2.23 Максимальна кількість опадів за 5 днів

Максимальна кількість опадів за 5 послідовних днів (Rx5day) є одним з показників зміни клімату та оцінки його екстремальності [http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml]. Дані індекси екстремальності розроблені групою експертів з питань визначення зміни клімату та розробки кліматичних індексів (CCI/CLIVAR/JCOMM Expert Team (ET) on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) [<https://www.clivar.org/organization/etccdi/etccdi.php>, Karl et al. 1999; Peterson et al., 2001; Peterson, 2005]. Зміна максимальної кількості опадів за 5 днів може значно вплинути на такі сектори економіки як управління ризиками стихійних лих (наприклад, через ймовірність ризиків паводків та затоплень тощо), сільське господарство (надмірна кількість опадів може спричинити

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проєкт, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму



хвороби та пошкодження рослин тощо), наземний транспорт (додаткове навантаження, перешкоджання руху, пошкодження транспортних мереж тощо), водні ресурси (вплив на річковий стік тощо), будівлі тощо.

Для розробки Стратегії для Івано-Франківської області даний показник опрацьовано та проаналізовано з використанням вхідних даних регіональних кліматичних моделей (РКМ) проєкту Euro-CORDEX [Euro-CORDEX, ESGF] з Інтерактивного Атласу МГЕЗК [IA IPCC]. Для ідентифікації змін цього показника використано базовий історичний період 1981-2010 на основі даних 48 РКМ (0,5°x0,5° або приблизно 50x50 км), у порівнянні з яким визначаються його зміни у мм в наступні три майбутні періоди: 2021-2040, 2041-2060, 2081-2100 за сценаріями репрезентативних концентрацій RCP 4.5 та RCP 8.5. Для RCP 4.5 розрахунки проводилися за 21 РКМ, тоді як за RCP 8.5 - за 48 РКМ.

Оцінка ступенів негативного впливу на галузі економіки в Івано-Франківській області проводилася на основі таких порогових значень зміни максимальної кількості опадів за 5 послідовних днів:

1. незначний (very low) до 5,0 мм;
2. низький (low) від 5,0 мм до 10,0 мм;
3. середній (moderate/medium) від 10,0 мм до 15,0 мм;
4. високий (high) від 15,0 мм до 20,0 мм;
5. дуже високий (very high) вище 20,0 мм.

У базовий історичний період 1981-2010 на території Івано-Франківської області кількість опадів за 5 днів зростає у напрямку зі сходу-північного сходу на захід-південний захід, що пов'язано зі поступовим переходом рівнинного рельєфу у гірський. Нижчими значеннями характеризується північ області, де мінімальні значення становлять 62,7-65,0 мм (Рогатинська громада Івано-Франківського району). При просуванні на захід ці суми зростають і сягають максимальних значень до 113,2 мм у високогір'ї Карпат. А середнє значення по області становить 82,3 мм.

У найближчому майбутньому 2021-2040 за RCP 4.5 по відношенню до базового 1981-2010 практично по всій території Івано-Франківської області відбуватиметься зростання кількості опадів за 5 днів. Максимальні зміни становитимуть 6,8 мм, середні 5,3 мм. Тоді як менші зміни будуть характерні для сходу та центра області (південь Івано-Франківського, весь Коломийський район), де мінімальні зміни сягатимуть 3,9 мм. За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 практично по всій області буде рівномірне підвищення показника на < 5,0 мм з мінімальними значеннями 3,2 мм. Тоді як максимальні зміни до 5,6 мм відмічатимуться на північному заході області (Болехівська, Долинська громади Калуського району; Рогатинська громада Івано-Франківського району). У найближчому майбутньому такі зміни кількості опадів за 5 послідовних днів зумовлять незначний вплив за RCP 8.5 та переважно низький за RCP 4.5.

На середину сторіччя у період 2041-2060 за RCP 4.5 продовжуватиметься підвищення максимальної кількості опадів за 5 днів відносно базового 1981-2010. Максимальні зміни по області складатимуть 8,1 мм, середнє по області 6,0 мм. Менші зміни у кількості опадів 4,0 мм відбуватимуться на півдні області. За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 на переважній частині території, як на рівнинній так і на гірській очікується зростання кількості опадів у межах 5,0-10,0 мм. Максимальний приріст становитиме 10,5 мм. Середнє по області складає 6,5 мм. Тоді як мінімальні значення 4,5 мм будуть на сході (Олешанська громада Івано-Франківського району; Чернелицька, Городенківська громади Коломийського району). Отримані значення зростання кількості опадів за



5 послідовних днів в цілому зумовлять низький негативний вплив на сектори економіки в Івано-Франківській області.

На віддалене майбутнє у період 2081-2100 за RCP 4.5 буде продовжуватися подальше зростання кількості опадів за 5 днів по всій території Івано-Франківської області. Найбільші зміни з максимумом до 13,1 мм очікуються на заході та в центрі області (Калуський, північ Надвірнянського, захід Івано-Франківського районів). На решті території значення приросту будуть у межах 6,3-10,0 мм, а середнє по області 9,7 мм. За RCP 8.5 відбуватиметься значне зростання кількості опадів за 5 послідовних днів по всій території області. На заході очікуються вищі зміни з максимумом 24,4 мм, середнє значення по області становить 12,8 мм, тоді як мінімальне 9,6 мм. Таке зростання максимальної кількості опадів за 5 днів на кінець сторіччя за RCP 4.5 чинитиме як низький, так і середній негативний впливи, тоді як за RCP 8.5 спричинить переважно середній, але подекуди у Карпатах високий негативний вплив.

Дуже чутливим до зростання максимальної кількості опадів за 5 послідовних днів визначено управління ризиками стихійних лих; висока у пляжного туризму, наземного та водного транспорту, культурної спадщини; помірна - у тваринництва, рослинництва, культурного туризму, будівель, гірськолижного туризму.



3.2.2.2.2 Максимальна кількість опадів за добу

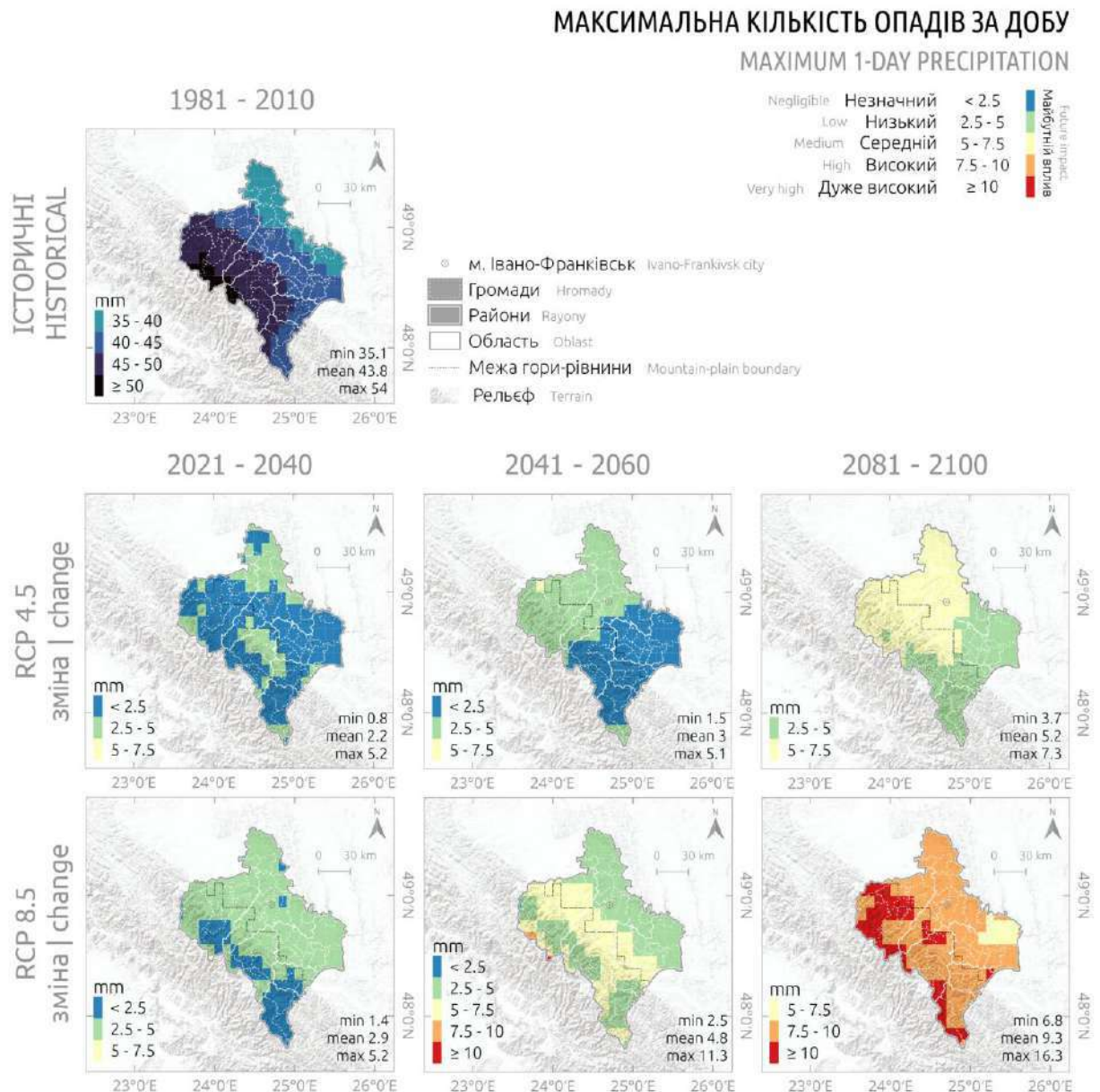


Рис. 3.2.24 Максимальна кількість опадів за добу

Показник максимальної кількості опадів за добу (Rx1day) є одним із індексів зміни клімату, а саме екстремальності [<https://csis.myclimateservice.eu/node/2320>]. Він вказує на потенційні сильні опади, які можуть випасти за один день. Зростання такої кількості опадів у майбутньому може призвести до зміни режиму стоку річок, затоплень значних площ територій, а тому необхідно приймати зважені рішення при управлінні ризиками стихійних лих, що є дуже актуальним для території Івано-Франківської області, оскільки лише частина області є рівнинною, а частина належить до гірського хребту Карпат. Зростання такого показника екстремальних опадів потенційно може спричинити негативні наслідки у рослинництві, наприклад, пошкодження, хвороби та загибель рослин, зменшення врожайності; перешкоджати функціонуванню чи руйнувати транспортну інфраструктуру тощо. Відповідно до Шостої оцінювальної доповіді МГЕЗК, кліматичні

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проект, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму



зміни, зумовлені антропогенною діяльністю, спричиняють ріст глобальної приземної температури, що у свою чергу зумовлює пропорційну інтенсифікацію колообігу води, що призводить до зростання екстремальності, зокрема максимальної кількості опадів за один день у глобальному масштабі [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter11.pdf]

У даній Стратегії для Івано-Франківської області для максимальної кількості опадів за добу (у мм) використано дані регіональних кліматичних моделей (PKM) проєкту Euro-CORDEX з розділенням 0,5x0,5° або приблизно 50x50 км з Інтерактивного атласу МГЕЗК [IA IPCC]. Для даного показника у якості базового використано історичний період 1981-2010, для якого наявні дані 48 PKM. Для кліматичних проєкцій для майбутніх періодів 2021-2040, 2041-2060 та 2081-2100 використано дані 21 PKM для сценарію RCP 4.5 та 48 PKM для сценарію RCP 8.5.

Для зміни показника максимальної кількості опадів за добу встановлено такі градації ступеню негативного впливу на сектори економіки для території Івано-Франківської області:

1. незначний (very low) до 2,5 мм;
2. низький (low) від 2,5 мм до 5,0 мм;
3. середній (moderate/medium) від 5,0 до 7,5 мм;
4. високий (high) від 7,5 мм до 10,0 мм;
5. дуже високий (very high) більше 10,0 мм.

За базовий історичний період 1981-2010 відмічається підвищення максимальної кількості опадів за добу із сходу-північного сходу на захід-південний захід через поступову зміну рівнинного рельєфу на гірський та зростанням висотної поясності. Найбільша кількість опадів за 1 день випадає на схилах Карпат, де вони становлять >45,0 мм, оскільки вони є природною перешкодою для руху повітряних мас. Максимуми до 54,0 мм характерні для західних схилів (Перегінська громада Калуського району, Поляницька громада Надвірнянського району). Середнє по області становить 43,8 мм, а нижчі значення <40,0 мм характерні для сходу та північного сходу (схід Івано-Франківського району, Чернелицька, Городенківська громади Коломийського району) з мінімальним значенням 35,1 мм.

У період найближчого майбутнього 2021-2040 за RCP 4.5 відбуватиметься деяке зростання максимальної кількості опадів за добу на території Івано-Франківської області у порівнянні з базовим 1981-2010. Максимальні зміни до 5,2 мм будуть характерні в основному для півночі та центру області (північ Івано-Франківського району, схід Надвірнянського районів). На переважній частині території зміни будуть <2,5 мм, а середнє по області становитиме 2,2 мм. Мінімальні зміни складатимуть 0,8 мм. За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 ці зміни будуть дещо вищими. Максимальне зростання становитиме 5,2 мм. Середнє по області 2,9 мм, а менші зміни з мінімумом 1,4 мм будуть характерні для заходу (Перегінська громада Калуського району; Пасічнянська, Яремчанська громади Калуського району) та півдня (Верховинський район). Така зміна максимальної кількості опадів за добу на території Івано-Франківської області за RCP 4.5 спричинить здебільшого незначний негативний, а за RCP 8.5 низький негативний вплив на сектори економіки.



На середину сторіччя 2041-2060 за RCP 4.5 на території Івано-Франківської області відносно базового 1981-2010 очікуються продовження зростання максимальної кількості опадів за добу. На півночі (Калуський, Івано-Франківський райони) зміни будуть вищими ніж на півдні (Надвірнянський, Коломийський, Косівський райони). Максимальні зміни сягають 5,1 мм, середнє по області становить 3,0 мм, а мінімальні 1,5 мм. За сценарієм RCP 8.5 відбуватиметься посилення змін. Інтенсивніші підвищення відмічатимуться на заході та в центрі області, а саме область перед Карпатами та їхній східний схил. Максимальне підвищення складатиме 11,3 мм, середнє по області 4,8 мм, а мінімальне 2,5 мм. Збільшення максимальної кількості опадів за 1 день за RCP 4.5 призведе до незначного та низького негативного впливів, а за RCP 8.5 спричинить здебільшого низький та помірний негативний впливи на сектори економіки.

На віддалене майбутнє 2081-2100 за RCP 4.5 для території Івано-Франківської області очікується подальше зростання максимальної кількості опадів за добу. Більші зміни будуть на півночі та в центрі (Калуський, Івано-Франківський, північ Надвірнянського району). Максимальне зростання складатиме 7,3 мм, середнє по області 5,2 мм, а мінімальне 3,7 мм. На кінець сторіччя за RCP 8.5 на всій території буде відмічатися інтенсивніша зміна екстремальної кількості опадів. Найбільші зміни будуть характерні для заходу та півдня області. Максимальні зміни становлять 16,3 мм, середнє по області 9,3 мм. Мінімальні значення 6,8 мм будуть відмічатись на сході області (Городенківська громада Коломийського району). За помірним сценарієм RCP 4.5 така зміна опадів може призвести до низького та помірного негативного впливів, тоді як за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 таке підвищення опадів може зумовити переважно високий вплив на сектори економіки.

У цілому до зростання цього показника екстремальності висока чутливість у наземного та водного транспорту, управління ризиками стихійних лих, пляжного туризму; середня у рослинництва, водних ресурсів, рибальства та аквакультури, культурної спадщини, будівель та низька чутливість у інших галузях, які розглядаються в Стратегії.

3.2.2.2.3 Щорічна кількість дуже сильних опадів

ЩОРІЧНА КІЛЬКІСТЬ ДУЖЕ СИЛЬНИХ ОПАДІВ

VERY HEAVY PRECIPITATION ANNUAL SUMS

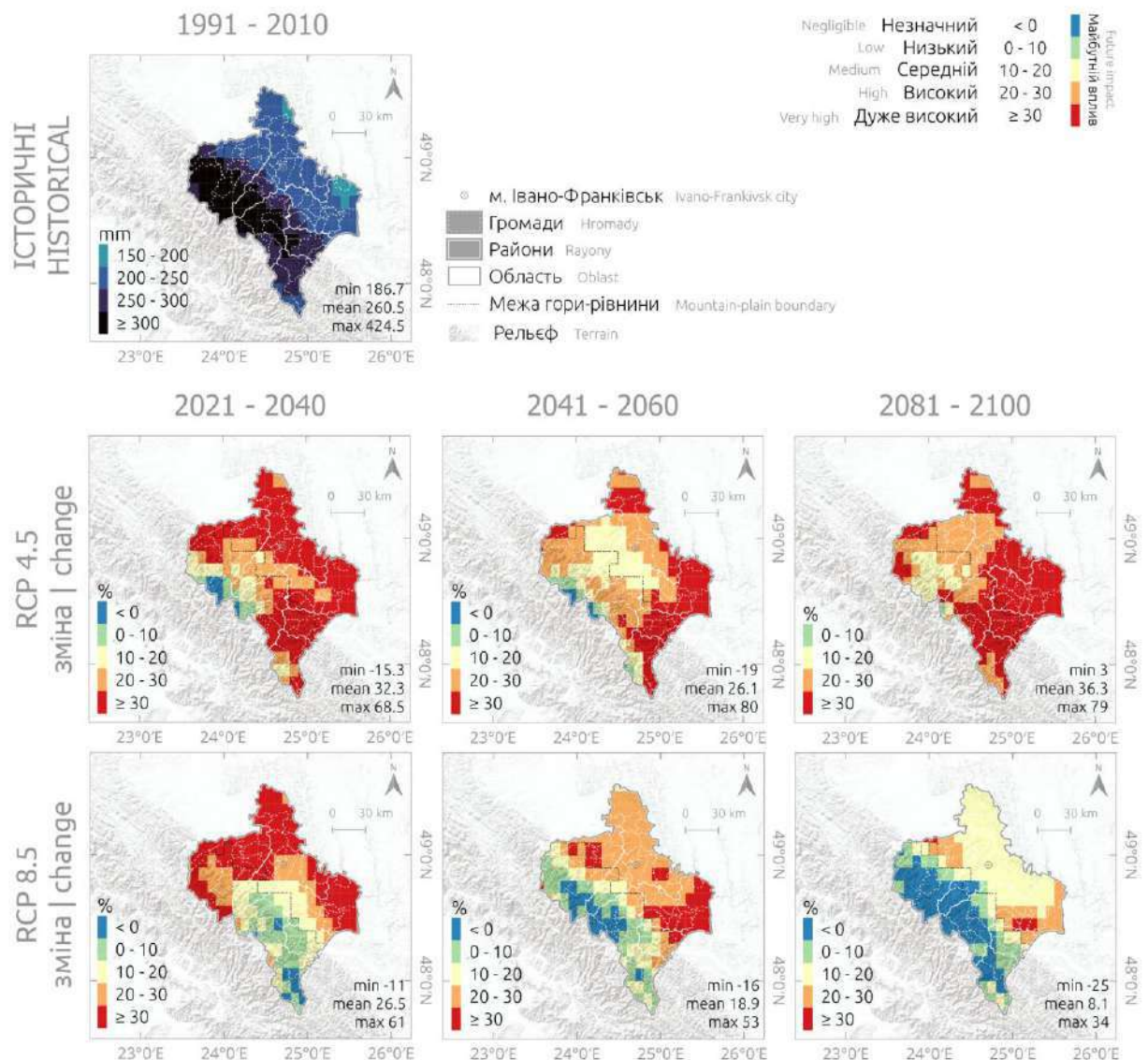


Рис. 3.2.25 Щорічна кількість дуже сильних опадів

Зміна клімату діє через перерозподіл екстремумів кліматичних характеристик та зростання повторюваності небезпечних та стихійних явищ погоди. Для визначення ступеня впливу щодо останніх використовують крайні порогові значення процентилів, які відображають повторюваність екстремальних значень характеристики. У даній Стратегії для Івано-Франківської області для усередненого за кліматичні періоди річного розподілу добових сум опадів за дні, коли вони ≥ 1.0 мм, використаний 99-ий перцентиль, значення якого свідчать про екстремальну подію, яка трапляється один раз на 100 років. Цей чинник кліматичного впливу входить до переліку 27 ключових індексів зміни клімату [http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml, <https://www.clivar.org/organization/etccdi/etccdi.php>, Karl et al. 1999; Peterson et al., 2001; Peterson, 2005]. Добова кількість опадів, яка сягає і перевищує 99-ий перцентиль, у помірних широтах Цей проєкт фінансується Європейським Союзом



напевно вказує на те, що досягаються критерії небезпечних чи стихійних метеорологічних явищ, які можуть завдати значних збитків секторам економіки. Зокрема, найбільшого впливу зазнаватимуть такі сектори, що розглядаються в цій Стратегії, як управління ризиками стихійних лих, транспорт (проблеми з перевезенням, додатковим навантаженням на систему, пошкодження шляхів та шляхопроводів тощо), будівлі (через пошкодження матеріалів тощо), сільському та лісовому господарствам через пошкодження, полягання, вимокання рослин тощо, туризму, водним ресурсам та річковому стоку через підвищення ймовірності виникнення паводків та затоплення територій.

Оцінка показника кількості дуже сильних опадів є важливою для Івано-Франківської області, оскільки гірський регіон Карпат несе підвищену небезпеку через ймовірність формування короткострокових паводків, і, як наслідок, зсувів ґрунту, підтоплень прилягаючих територій, що може призвести до людських жертв, пошкодити посіви та інфраструктуру.

Розрахунок даного показника проводився за двома найпоширенішими сценаріями репрезентативних концентрацій парникових газів RCP 4.5 та RCP 8.5. Для цих обчислень використано добові суми опадів 14 РКМ проєкту Euro-CORDEX, які характеризуються доволі деталізованим горизонтальним просторовим кроком $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ (або $12,5 \times 12,5$ км). Така роздільна здатність дозволяє проводити обґрунтовану оцінку просторово-часового розподілу кліматичних характеристик. Перелік використаних моделей представлено у Додатку 1. Дані про добові суми опадів завантажено з сайту [Euro-CORDEX, ESGF у $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ та переведені у рекомендовані Всесвітньою метеорологічною організацією (ВМО) уніфіковані одиниці вимірювання кількості опадів - мм за добу.

Розрахунок зміни суми опадів за рік у дні, коли вони перевищили 99-ий процентиль розподілу добових сум опадів за календарні дні із значеннями ≥ 1.0 мм, виконано із застосуванням пакету Climate Data Operators (CDO). Оцінку здійснено для трьох майбутніх періодів 2021-2040, 2041-2060, 2081-2100 відносно базового історичного 1991-2010. За допомогою функції CDO `udayrunmax` та `udayrunmin` отримано межі багаторічних добових максимальних та мінімальних багаторічних значень суми опадів у кожен день року. З використанням функції `etccdi_r99p` знайдено щорічні суми опадів, коли вони перевищували 99-ті процентилі добових значень за кожен день у кожному періоді. Після чого отримані щорічні значення були усереднені за 20 років за допомогою функції CDO `timmean`. Отримано усереднене значення за ансамблем 14 РКМ і розраховано різницю показників у відсотках (%) у всі майбутні періоди відносно базового.

Для оцінки зміни щорічної кількості дуже сильних опадів у відсотках (%) за двома RCP-сценаріями для Івано-Франківської області виділено наступні градації ступеня негативного впливу:

1. незначний (very low) до 0,0%
2. низький (low) від 0,0% до 10,0%;
3. середній (moderate/medium) від 10,0% до 20,0%;
4. високий (high) від 20,0% до 30,0%;
5. дуже високий (very high) більше 30,0%.

За базовий період 1991-2010 щорічна кількість дуже сильних опадів на території Івано-Франківської області поступово зростає зі сходу-північного сходу на захід-південний захід, що пов'язано зі зміною рівнинного рельєфу на гірський. Найбільша кількість опадів >250 мм випадає в Цей проєкт фінансується Європейським Союзом



Карпатах, оскільки гори є перешкодою для повітряних мас. Максимальні значення у високогір'ї сягають 424,5 мм. Тоді як на рівнинній частині ці значення складають у межах 200,0-250,0 мм. Середнє значення по області 260,5 мм. Щорічна найменша кількість дуже сильних опадів характерна для сходу області та становить 186,7 мм (Чернелицька, Городенківська громади Коломийського району).

У найближчому майбутньому 2021-2040 за сценарієм RCP 4.5 (рис. 3.2.25) на переважній частині території Івано-Франківської області відносно базового 1991-2010 очікується зростання значень щорічної кількості дуже сильних опадів $\geq 30\%$ з максимумом 68,5%. Лише на заході (в Карпатах) та в центрі виділятимуться ділянки з нижчими значеннями, які поступово зменшуються та сягають від'ємних значень (захід Калуського, Івано-Франківського, Надвірнянського районів). Середнє по області становитиме 32,3%. Мінімальні сягатимуть від'ємних значень -15,3%, що вказуватиме на деяке зменшення кількості сильних опадів. За RCP 8.5 по території Івано-Франківської області відбуватиметься неоднорідна зміна щорічної кількості дуже сильних опадів. На північному заході, півночі та сході зростання буде найвищим, де значення щорічної кількості дуже сильних опадів складатимуть $\geq 30\%$ з максимумом 61,0% (схід Калуського, північ Івано-Франківського та схід Коломийського району). Середнє значення по області становить 26,5%, тоді як мінімальне матиме від'ємне значення -11,0%. Такі зменшення кількості опадів будуть характерні для півдня області (Білоберізька громада Верховинського району). На найближче майбутнє, за сценарієм RCP 4.5 потенційно може призвести до здебільшого дуже високого негативного впливу на галузі економіки, тоді як за RCP 8.5 він буде від незначного до дуже високого.

На середину сторіччя 2041-2060 за сценарієм RCP 4.5 (рис. 3.2.25) територія Івано-Франківської області буде характеризуватися неоднорідним зростанням значень щорічної кількості дуже сильних опадів. Ділянка зі значеннями дужк високого впливу $\geq 30\%$ у порівнянні з минулим двадцятиріччям дещо зменшиться та буде охоплювати частково північ Івано-Франківського району, схід та південний схід області (схід Коломийського, Косівський райони, Верховинська, Білоберізька громади Верховинського району), проте максимальні зміни інтенсифікуються так становитимуть 80,0%. На переважній частині території ці зміни будуть меншими і середнє по області становитиме 26,1%. Тоді як на заході мінімальні значення сягатимуть від'ємних та складатимуть -19,0%. За RCP 8.5 очікується зростання значень щорічної кількості дуже сильних опадів у порівнянні з базовим 1991-2010, проте деяке зменшення у порівнянні з попереднім двадцятиріччям. Лише на сході виділятимуться ділянки з зростанням кількості екстремальних опадів на $\geq 30\%$, що охоплюватимуть територію Коломийського району. Максимальні значення становитимуть 53,0%. На рівнинній території значення зміни коливатимуться в межах 20-30%, тоді як в Карпатах буде спостерігатися менші зміни. А у високогір'ї ці зміни набудуть від'ємних значень та мінімально становитимуть -16,0%. Середнє зростання по області становить 18,9%. На середину сторіччя, за сценарієм RCP 4.5 така зміна кількості опадів зумовить здебільшого високий та дуже високий негативний вплив на галузі економіки, а за RCP 8.5 він буде переважно високим.

У віддаленому майбутньому 2081-2100 за сценарієм RCP 4.5 (рис. 3.2.25) очікується посилення зростання щорічної кількості дуже сильних опадів в Івано-Франківській області. Більші зміни $\geq 30\%$ будуть спостерігатися на сході та півдні (Коломийський, Косівський райони, переважна частина Верховинського), а також частково на півночі. Максимальні зміни становитимуть 79,0%. Тоді як на заході та північному заході також очікується зростання, але з меншим темпом. Середнє підвищення по області становитиме 36,3%, тоді як мінімальні 3,0%. Натомість на кінець сторіччя за



сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 відбуватиметься зменшення щорічної суми екстремальних опадів у високогір'ї Карпат до -25,0%. Зміни $\geq 30\%$ будуть спостерігатися лише точково із максимумом 34,0%. На рівнинній частині території будуть відмічатися зміни в межах 10-20%, тоді як середнє по області складає 8,1%. Таким чином, на кінець XXI сторіччя за сценарієм RCP 4.5 збільшення екстремальних опадів може чинити високий та дуже високий негативний вплив на економіку. У той час як за сценарієм RCP 8.5 очікується не таке інтенсивне зростання кількості дуже сильних опадів, а навіть їхнє зменшення у Карпатах, що може непрямо свідчити про збільшення посушливості в області і такий вплив буде середнім та низьким.

До зростання частки щорічних опадів, які відповідають екстремальним (99-ий процентиль), найбільше чутливі наземний та водний транспорт, управління ризиками стихійних лих, культурний та пляжний туризм, будівлі; високу чутливість мають рослинництво, водні ресурси, культурна спадщина, гірськолижний туризм; середню прісноводні екосистеми, інфраструктура енергетики, рибальство та аквакультура.

3.2.2.3 ПОСУХИ

3.2.2.3.1 Максимальна тривалість посухи за 20-річчя

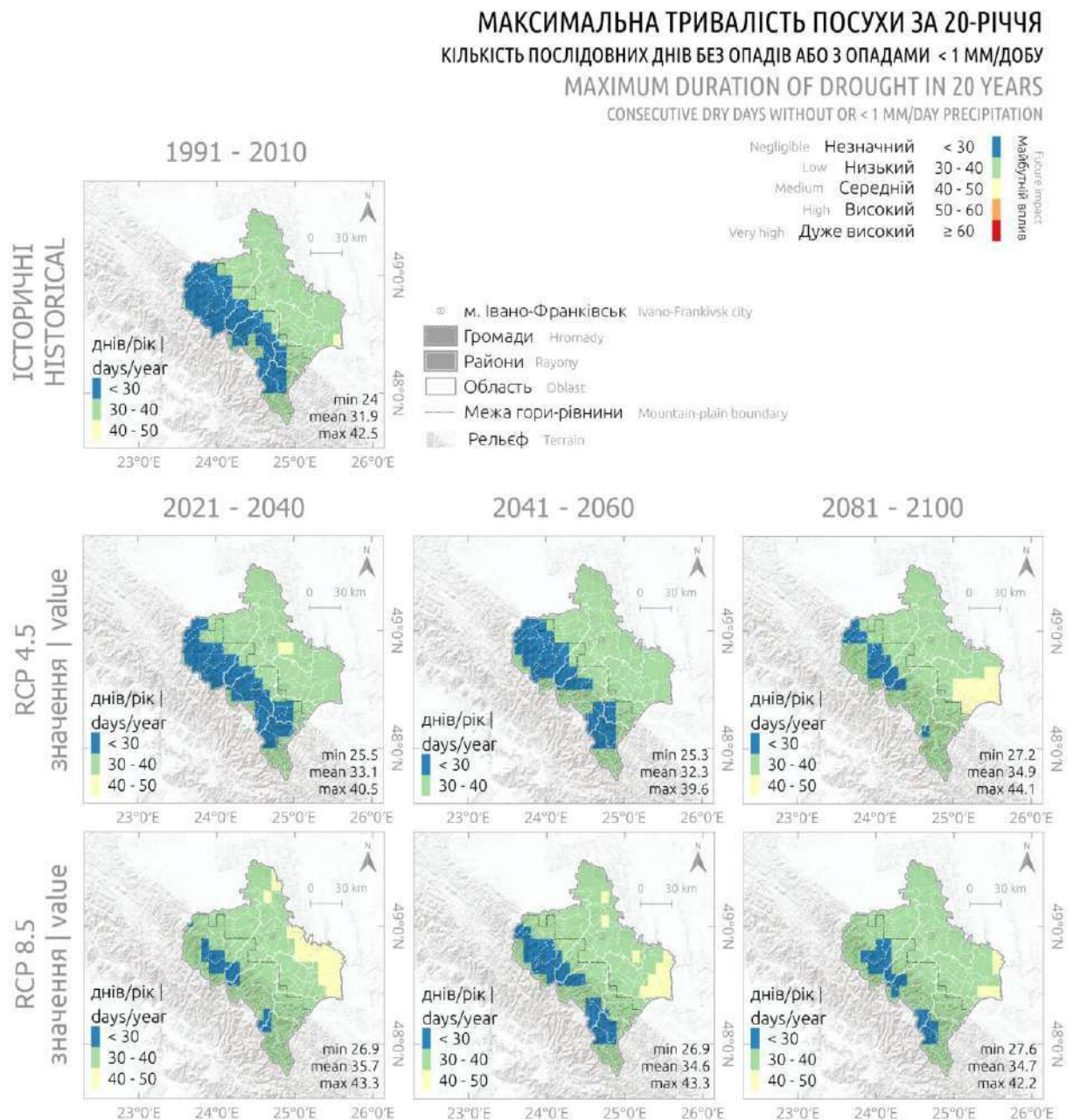


Рис. 3.2.26 Максимальна тривалість посухи за 20 -річчя

У цілому, Івано-Франківська область належить до надмірного зволжених територій та характеризується рівнинним, передгірським (Передкарпаття) та гірськими формами рельєфу. Проте внаслідок зміни клімату та зростання приземної температури повітря важливим є аналіз максимальної тривалості (у днях) посухи у майбутні кліматичні періоди для можливої розробки оптимальних заходів з адаптації для тих секторів економіки, для яких буде виявлено значний ступінь вразливості [<https://csis.myclimateservice.eu/node/3135>]. Максимальна тривалість (у днях) посухи є

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проект, реалізований ENVIROPLAN  & EGIS  та їхніми партнерами по консорціуму



одним із показників екстремальності клімату та визначається за умови, коли опадів або немає, або вони несуттєві (тобто <1 мм на добу). Зростання кількісної характеристики такого показника може потенційно спричинити негативний вплив на низку галузей: на сільське господарство, зокрема фермерство через недостатню кількість вологи, зокрема у ґрунті, що може зумовити процеси в'янення, хвороб та загибелі рослин; у скотарстві можливий стрес тварин через недостатню кількість води; у лісовому господарстві через недостатню кількість вологи для росту і розвитку, а також пошкодження рослин; для наземних та водних екосистем через нестачу чи погіршення якості води; для водних ресурсів через зменшення річкового стоку і також погіршення якості води; для управління ризиками стихійних лих тощо.

У представленій Стратегії для Івано-Франківської області використано добові дані кількості опадів з 34 PKM проєкту Euro-CORDEX (горизонтальний крок сітки 0,1°x0,1° або приблизно 12,5x12,5 км), що були отримані з бази даних [Euro-CORDEX, ESGF]. Оцінка зміни максимальної тривалості посушливого періоду у днях здійснена для майбутніх періодів 2021-2040, 2041-2060, 2081-2100 за сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5 відносно базового історичного 1991-2010. Розрахунки проводилися за допомогою програмного пакету CDO з застосуванням функції `esa_cdd`, яка розраховує абсолютну максимальну кількість послідовних днів без суттєвих опадів за кожен із чотирьох 20-річних періодів.

Для визначення ступеня негативного впливу на сектори економіки встановлені наступні градації максимальної тривалості посушливого періоду, коли опади відсутні або становлять <1 мм на добу:

1. незначний (very low) до 30,0 днів;
2. низький (low) від 30,0 до 40,0 днів;
3. середній (moderate/medium) від 40,0 до 50,0 днів;
4. високий (high) від 50,0 до 60,0 днів;
5. дуже високий (very high) більше 60,0 днів.

У базовий історичний період 1991-2010 на території Івано-Франківської області максимальна тривалість посушливого періоду з опадами <1 мм дещо варіює через нерівномірність рельєфу та наявності висотної поясності (гірський регіон Карпат). Його тривалість є вищою на рівнинній частині території, де він загалом коливається в межах 30,0-40,0 днів. Максимальні значення сягають 42,5 днів. Тоді як у Карпатах така тривалість <30,0 днів та мінімально становить 25,5 днів. Це пояснюється тим, що гори є природною перешкодою для повітряних мас, тому опади часто випадають у даному регіоні. Середня тривалість посушливого періоду по області становить 31,9 днів в історичний період.



У найближчому майбутньому 2021-2040 за сценарієм RCP 4.5 у порівнянні з 1991-2010 на території Івано-Франківської області буде спостерігатися схожий просторовий розподіл максимальної тривалості посушливого періоду з опадами <1 мм: довші періоди отримано на рівнинній та передгірській частинах - 30,0-40,0 днів, тоді як у горах <30,0 днів. Проте слід відмітити, що максимум тривалості зменшиться та становитиме 40,5 днів, тоді як мінімальні та середні значення зростуть та становитимуть відповідно 25,5 та 33,1 днів. На противагу RCP 4.5, за RCP 8.5 зміни дещо будуть інтенсивнішими. Вищі зміни >40 днів з максимумом 43,3 днів будуть характерні для сходу області (Тлумацька, Олешанська, Обертинська громади Івано-Франківського району; Чернелицька, Городенківська, Снятинська громади Коломийського району). Тоді як на переважній частині території значення будуть 30,0-40,0 днів, як і за попередні періоди. Мінімальна тривалість 26,9 днів відмічатиметься у певних осередках Карпат, середнє по області складатиме 35,7 днів. Отримані значення відповідають переважно низькому негативному впливу на сектори економіки за обома RCP-сценаріями.

На середину сторіччя 2041-2060 за сценарієм RCP 4.5 на території Івано-Франківської області в цілому не очікується значних просторово-часових змін максимальної тривалості посушливого періоду у порівнянні з базовим історичним та найближчим двадцятирічним майбутнім періодом за винятком невеликого осередку в Карпатах. Максимальна тривалість становитиме 39,6 днів, мінімальна 25,3 днів, тоді як середнє 32,3 днів. За RCP 8.5 на сході області збережеться ділянка з вищими значеннями з таким же максимумом 43,3 дні як і за попереднє двадцятиріччя, проте площа її дещо зменшиться (охопить Городенківську, Снятинську громади Коломийського району). Мінімальна кількість становитиме 26,9 днів, тоді як середня 34,6 днів. Такі максимальні тривалості посушливих періодів зумовляють низький вплив на рівнинній та передгірській частині області та незначний у гірському регіоні Карпат.

У віддаленому майбутньому 2081-2100 за сценарієм RCP 4.5 прогнозується підвищення максимальної тривалості посушливого періоду, і на сході області з'явиться осередок > 40, 0 днів з максимумом 44,1 днів (Заболотівська, Городенківська, Снятинська громади Коломийського району), тоді як у цілому по території тривалість буде 30,0-40,0 днів. Мінімальні значення становитимуть 27,2 днів у певних регіонах Карпат, а середнє по області 34,9 днів. Тоді як за сценарієм RCP 8.5 ділянка зі значеннями > 40,0 днів зменшиться, а максимальні значення складатимуть 42,2 днів на сході. В цілому по області значення будуть 30,0-40,0 днів як і в попередні періоди, а мінімальна тривалість 27,6 днів зустрічатиметься у високогір'ї Карпат (зокрема, масив Чорногора). Середнє по області становитиме 34,7 днів. Тобто, на кінець сторіччя максимальна тривалість посушливого періоду буде мати переважно низький негативний вплив на сектори економіки за обома сценаріями.

Дуже висока чутливість до негативного впливу цього чинника у рослинництві та тваринництві, водних ресурсів, наземних та водних екосистем, лісового господарства, управління ризиками стихійних лих, наземного та водного транспорту. Помірна чутливість до максимальної тривалості посух у рибальстві та аквакультурі, інфраструктурі енергетики, здоров'я, культурного та пляжного туризму.



3.2.2.4 КІЛЬКІСТЬ ДНІВ З ПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕЧНОЮ ПОГОДОЮ FWI >30

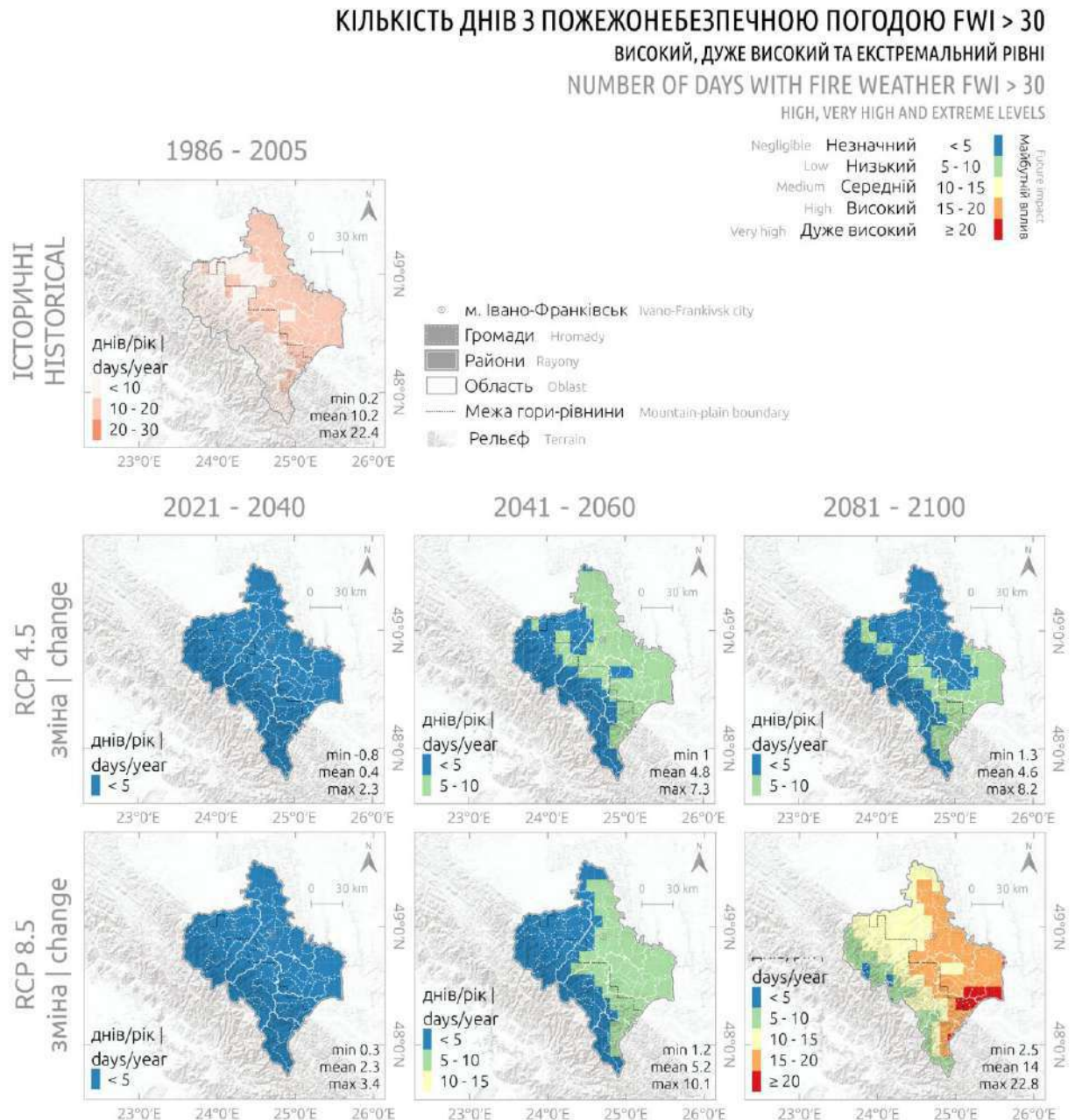


Рис. 3.2.27 Кількість днів з пожежонебезпечною погодою FWI >30

Індекс пожежонебезпечної погоди (англ. fire weather index FWI) розраховується за даними опівдні про температуру та відносну вологість повітря, швидкість вітру та добову кількість опадів (<https://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/background/summary/fwi>). Цей чинник кліматичного впливу є важливим та використовується в основному в таких секторах економіки як лісове господарство і управління ризиками стихійних лих, зокрема у системах раннього оповіщення про небезпечні умови та явища погоди, а також для оцінок впливу на біорізноманіття та екосистеми, туризм, здоров'я населення та інше.

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проект, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму



Індекс пожежонебезпечності погоди було запропоновано до використання у Канаді, а згодом імplementовано у глобальну модель прогнозу пожежонебезпечної погоди (Global ECMWF Fire Forecasting model - GEFF). За допомогою цієї моделі розраховується число днів з помірним, високим і дуже високими ризиками лісових пожеж за класифікацією Європейської Інформаційної Системи Лісових Пожеж (European Forest Fire Information System - EFFIS) впродовж пожежонебезпечного сезону, який, вважається, у північній півкулі триває з червня до вересня. Цей індекс FWI має наступні категорії:

1. Дуже низький (very low): <5.2
2. Низький (low): 5.2 - 11.2
3. Помірний (moderate): 11.2 - 21.3
4. Високий (high): 21.3 - 38.0
5. Дуже високий (very high): 38.0 - 50
6. Екстремальний (extreme): >=50.0

Для розрахунків ступеня впливу цього кліматичного чинника в Івано-Франківській області використано дані з Європейського кліматичного сервісу Копернікус про кількість днів з індексом FWI > 30, що відповідає високому, дуже високому та екстремальному рівням пожежонебезпечної погоди (DOI: 10.24381/cds.ca755de7). Значення отримані в історичному 1986-2005 та для двох сценаріїв RCP 4.5 і RCP 8.5 у трьох майбутніх періодах: 2021-2040, 2041-2060 і 2081-2100 за ансамблем з комбінації 6 (5 для RCP 4.5) розрахунків однієї Регіональної Кліматичної Моделі RCA4 з початковими та граничними умовами з 6 (5 для RCP 4.5) глобальних кліматичних моделей у вузлах тієї ж самої сітки, як і для європейського проєкта Euro-CORDEX високої роздільної здатності (0,1x0,1°). Більше інформації про розрахунок індекса FWI наведено на сторінці провайдерів даних (<https://confluence.ecmwf.int/pages/viewpage.action?pageId=283569774>).

Для визначення ступеня впливу FWI значення усереднювали для історичного і трьох 20-річних періодів, після чого визначали зміну показника для двох сценаріїв у майбутні періоди відносно історичного.

У цілому для оцінки ризиків від зміни клімату у майбутньому передбачається, що негативний вплив відповідатиме збільшенню кількості днів з FWI > 30 згідно категорій:

1. незначний до 5;
2. низький від 5 до 10;
3. середній від 10 до 15;
4. високий від 15 до 20;
5. дуже високий більше за 20 днів за сезон.

На рис. 3.2.27 представлені проєкції зміни показника пожежонебезпечної погоди у три майбутні періоди за двома сценаріями. Для інформації також на рис. 3.2.27 наведені дані про кількість днів із високим, дуже високим і екстремальним ризиком лісових пожеж в історичному періоді 1986-2005, коли FWI > 30, що відповідає середньому значенню вище наведених меж високого ступеню ризику за EFFIS. Переважна частина рівнинної території Івано-Франківської області характеризується кількістю днів з FWI>30 в межах 10-20, максимальні значення становлять 22,4 днів. Середнє значення по області 10,2 днів. Нижчі значення <10 з мінімальним значенням 0,2 дня притаманні для Карпат та сходу Калуського району.

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом



У період найближчого майбутнього 2021-2040 за сценарієм RCP 4.5 територія Івано-Франківської області визначатиметься невеликими змінами показника пожежонебезпечної погоди $FWI > 30$ відносно базового 1986-2005. Максимальні зміни становлять 2,3 дні, середні по області 0,4 дня, а мінімальні вказуватимуть на деяке його зменшення -0,8 дня. За RCP 8.5 ці зміни будуть лише додатними. Максимальне підвищення становитиме 3,4 дні, середнє по області 2,3 дні, тоді як мінімальне зросте на 0,3 дня. Такі кількісні зміни індекса пожежонебезпечної погоди $FWI > 30$ на період найближчого майбутнього за обома сценаріями відповідають незначному негативному впливу.

На середину сторіччя у період 2041-2060 за сценарієм RCP 4.5 відбуватиметься інтенсифікація зростання кількості днів показника пожежонебезпечної погоди $FWI > 30$. Більші зміни > 5 днів з максимумом 7,3 днів спостерігатимуться на рівнинній частині території Івано-Франківської області. Середнє по області складає 4,8 днів, а мінімальні значення 1,0 день будуть характерні переважно для регіону Карпат. За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 очікувана зміна буде більшою. Вищі зміни > 5 днів очікуються переважно на рівнинній частині території Івано-Франківської області, а максимальні підвищення складатимуть до 10,1 днів. Середнє по області становитиме 5,2 днів. Тоді як мінімальні 1,2 днів будуть характерні переважно для регіону Карпат. Отримані значення зростання за обома RCP-сценаріями пожежонебезпечної погоди $FWI > 30$ на середину сторіччя відповідають незначному та низькому негативному впливу на сектори економіки.

До кінця сторіччя у період 2081-2100 за сценарієм RCP 4.5 із зростанням потепління продовжуватиметься підвищення показника пожежонебезпечної погоди, проте вплив на переважній частині території Івано-Франківської області знизиться від низького до незначного. Вищі зміни > 5 з максимумом 8,2 днів будуть характерні для південного сходу та півдня (частина Коломийського, Косівського та Верховинського районів). Середнє по області складатиме 4,6 днів, а мінімальні 1,3 дні переважно в районі Карпат та півночі області (Калуський, переважна частина Івано-Франківського та Надвірнянського районів). За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 очікується значне підвищення кількості днів показника пожежонебезпечної погоди $FWI > 30$. Найбільші зміни ≥ 20 будуть характерні для південного сходу та сходу з максимумом 22,8 днів (Заболотівська, Снятинська громади Коломийського району; Рожнівська громада Косівського району). При просуванні на захід значення змін показника пожежонебезпечної погоди спадають. На рівнинній частині території вони складають переважно 10-20 днів з середнім по області 14 днів. Нижчі значення характерні для високогір'я Карпат, де вони мінімально становлять 2,5 днів. Отримані значення зростання показника пожежонебезпечної погоди $FWI > 30$ на кінець сторіччя за умови реалізації RCP 4.5 відповідатимуть переважно низькому та незначному впливу на сектори економіки, тоді як за RCP 8.5 він буде середнім та високим.

Дуже висока чутливість до негативного впливу цього чинника у лісового господарства, управління ризиками стихійних лих, культурного та пляжного туризму, наземних та водних екосистем, тоді як висока у культурної спадщини. Середня чутливість у наземного та водного транспорту, інфраструктури енергетики, будівель.



3.2.3 СНІГОПАДИ ТА СНІГОВИЙ ПОКРИВ

3.2.3.1 РІЧНА СУМА ОПАДІВ У ВИГЛЯДІ СНІГУ

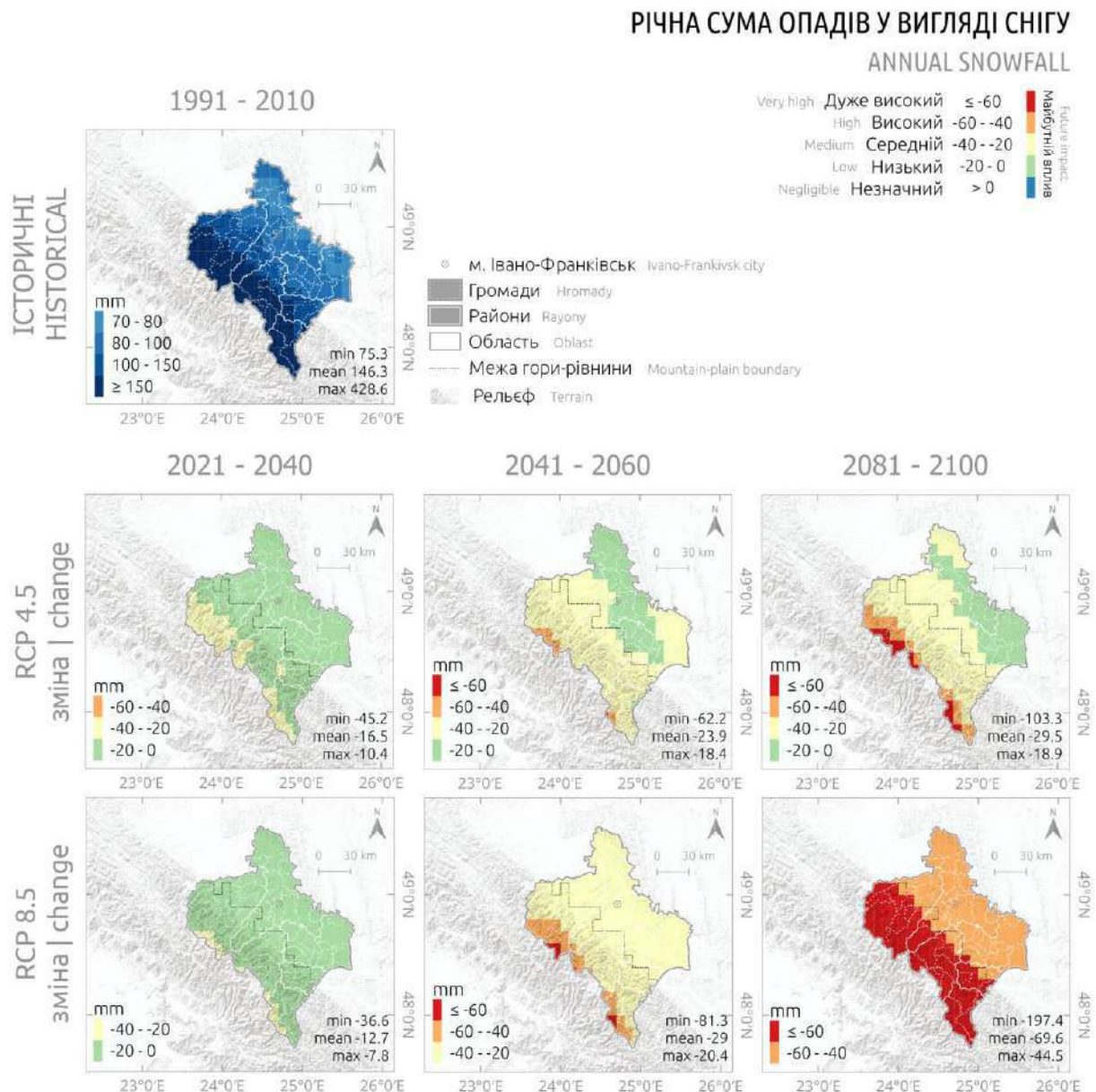


Рис. 3.2.28 Річна сума опадів у вигляді снігу

Річна сума опадів у вигляді снігу є важливим показником для таких галузей економіки, як енергетика, транспорт, сільське та лісове господарства, будівлі, водні ресурси, управління ризиками стихійних лих тощо. Зростання кількості твердих опадів за визначеними градаціями, особливо для гірських регіонів та суміжних з ними територій є надзвичайно необхідними для визначення ступенів ризику, оскільки налипання снігу може створювати додаткове навантаження на лінії електропередач, іншу інфраструктуру, вітроенергетику та транспортні системи, а також в окремих випадках створювати небезпечні погодні умови для гірського туризму через зростання ймовірності сніголавинних ситуацій, що відноситься до сектору управління ризиками стихійних лих та

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проект, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму



потенційного дискомфорту для здоров'я. З іншого боку, зменшення кількості опадів у вигляді снігу може негативно вплинути на запаси продуктивної вологи в ґрунті та захисту від екстремальних низьких температур для рослин, на формування снігового покриву, який важливий для екосистем та туризму взимку, а також річкового стоку і відповідно функціонування гідроенергетики і управління водними ресурсами.

Таким чином, в даній Стратегії вважається, що негативний вплив чинитиме зменшення річної кількості опадів у вигляді снігу, і тому встановлені такі градації впливу зміни цього чинника на сектори економіки:

1. незначне (very low) до 0,0 мм;
2. низьке (low) від 0,0 мм до -20,0 мм;
3. помірне/середнє (moderate/medium) від -20,0 мм до -40,0 мм;
4. високе (high) від -40,0 мм до -60,0 мм;
5. дуже високе (very high) -60,0 мм і більше.

Аналіз кліматичних проєкцій даного показника річної суми опадів у вигляді снігу за двома сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5 для Івано-Франківської області є надзвичайно актуальним, оскільки територія характеризується значними перепадами висот через наявність гірської системи Карпат та має різний просторовий розподіл кількості твердих опадів. Ці два сценарії помірних та високих концентрацій дозволяють побачити можливі зміни фазового стану опадів у майбутньому залежно від реалізації глобальної та національних кліматичних політик. Така зміна кліматичного показника може здійснювати вплив на діяльність вищезгаданих секторів економіки та необхідність прийняття економічно зважених рішень спираючись на прояви зміни клімату у конкретному регіоні.

Для аналізу зміни показника річної кількості опадів у вигляді снігу в Івано-Франківській області використано початкові дані про середні добові значення кількості снігу 9 РКМ європейського проєкту Euro-CORDEX (горизонтальний крок сітки роздільної здатності $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ або $12,5 \times 12,5$ км). Вони обиралися з ансамблю наявних моделей для максимальної та мінімальної приземної температури повітря з метою отримання уніфікованого ансамблю. Дані РКМ були доступні для завантаження за наступним посиланням [ESGF, Euro-CORDEX], а також їх назви та характеристики представлено у додатку (Табл.). Початкові дані були у $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, які переведені у рекомендовані Всесвітньою метеорологічною організацією (ВМО) уніфіковані одиниці вимірювання кількості опадів - мм за добу, які підсумовувалися потім за рік.

Для отримання та оцінки кліматичних проєкцій річної суми опадів у вигляді снігу та їх прогнозованого ступеня впливу на різні сектори та для розробки подальшої стратегії з адаптації до зміни клімату знаходилася різниця між усередненими значеннями річних сум опадів у вигляді снігу за кожен з трьох майбутніх кліматичних періодів 2021-2040, 2041-2060, 2081-2100 та базовим історичним 1991-2010.

За базовий історичний період 1991-2010 річна кількість опадів у вигляді снігу в Івано-Франківській області має значний просторовий розкид значень та варіює в межах 75,3-428,6 мм з мінімальними значеннями на сході, де переважає рівнина та передгірська частина (Передкарпаття), з поступовим зростанням на захід, південний захід у високогір'ї Карпат (рис. 3.2.28). На рівнинній та передгірській частинах Івано-Франківської області річна кількість опадів становить від 75,3 мм до 100,0 мм, від 100,0 мм до 150,0 мм на півніжжі Карпат та вище 150,0 мм у самих Карпатах, де максимуми перевищують 400 мм.



У найближчому майбутньому 2021-2040 відносно базового історичного за сценарієм RCP 4.5 (рис. 3.2.28) зростання глобальної приземної температури повітря зумовить зменшення кількості твердих опадів. На переважній частині території Івано-Франківської області у межах -10,4 мм ...-20,0 мм. Середнє по області -16,5 мм. Тоді як на заході, частково у районі Карпат зменшення річної суми снігу є інтенсивнішим та становитиме -20,0...-40,0 мм (Вигодська, Спаська, Перегінська громади Калуського району; Поляницька громада Надвірнянського району; Зеленська громада Верховинського району). Максимальні зміни становитимуть -45,2 мм. Натомість за RCP 8.5 такі зміни будуть меншими. Практично по всій території очікуються зменшення кількості опадів на -7,8 мм ...-20,0 мм. Середнє по області складає -12,7 мм. Тоді як в гірських районах виділятимуться осередки де кількість твердих опадів зменшиться на -36,6 мм. Отримані значення за RCP 4.5 та RCP 8.5 відповідають низькому ступеню впливу на переважній частині території Івано-Франківської області за винятком частини гірських регіонів, де вплив може бути помірним.

На середину сторіччя 2041-2060 очікуються ще більше зменшення річної суми опадів у вигляді снігу на території Івано-Франківської області. За сценарієм RCP 4.5 на північному сході та частково в центрі виділятимуться території з меншими змінами, що становитимуть -18,4 мм ... -20,0 мм. Тоді як на решті території відбуватиметься інтенсифікація змін, що становитиме -20,0 мм...-40,0 мм. Середнє по області -23,9 мм. Лише в окремих регіонах Карпат зміни будуть більшими та становитимуть до -62,2 мм. За RCP 8.5 у порівнянні з попереднім періодом значно зменшиться річна суми опадів у вигляді снігу. На переважній частині території зміни становитимуть -20,4 мм...-40,0 мм, тоді як на заході (частково Вигодська, Перегінська громади Калуського району; Поляницька громада Надвірнянського району) та південному заході (Зеленська громада Верховинського району) такі зміни становитимуть -40,0 мм...-60,0 мм з максимальним зниженням на -81,3 мм. Середнє по області -29,0 мм. Така зміна кількості опадів у вигляді снігу потенційно зумовить переважно помірний вплив за обома сценаріями та високий в окремих регіонах Карпат.

На кінець сторіччя 2081-2100 внаслідок зміни клімату і значного підвищення температури повітря протягом холодного сезону року зменшення річної суми опадів у вигляді снігу стане більш відчутним у Івано-Франківській області. За сценарієм RCP 4.5 кількість снігу буде зменшуватися зі сходу, де зміни становитимуть -18,9 мм...-20,0 мм, на захід -20,0 мм ...-40,0 мм. Максимальні зменшення більше від -60 мм до -103,3 мм характерні для заходу та південного заходу (Вигодська, Спаська, Перегінська громади Калуського району; Поляницька громада Надвірнянського району; Зеленська громада Верховинського району). На сході ці зміни очікуються частково в регіоні Карпат на заході та південному заході. За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 на кінець сторіччя через значне потепління зменшення твердих опадів у вигляді снігу також буде значним. Найбільших змін зазнає гірський регіон Карпат, де значення зменшаться на -60,0 мм і більше. Максимальні зміни становитимуть -197,4 мм. Тоді як на рівнинній частині та Передкарпатті зміни будуть -44,5 мм ... -60,0 мм. Середнє по області -69,6 мм. У відносних показниках до кінця сторіччя у Івано-Франківській області зменшення кількості опадів у вигляді снігу очікується приблизно на 25% для сценарію RCP 4.5, тоді як для RCP 8.5 такі зміни сягатимуть до -50%. Таке зменшення кількості опадів у вигляді снігу на кінець сторіччя потенційно зумовить помірний вплив на сектори економіки за RCP 4.5 та високий і дуже високий за RCP 8.5.



У цілому зменшення річної суми опадів у вигляді снігу на території Івано-Франківської області призводитиме до переважно середнього ступеня впливу на середину сторіччя за обома RCP-сценаріями. Тоді як на кінець сторіччя за RCP 8.5 очікується, що цей вплив посилиться та стане високим і дуже високим (Карпати). За розрахунками виявлено, що високу чутливість до зменшення річної суми опадів за снігопади буде у гірськолижного туризму; середня чутливість виявлена для водних ресурсів, прісноводних екосистем. Зменшення кількості снігу матиме потенційно позитивний вплив на сектори здоров'я, управління ризиками стихійних лих, рекреацію та туризм, транспорт і будівлі, інфраструктуру енергетики через зменшення несприятливих та стихійних явищ погоди пов'язаних зі снігом.

3.2.3.2 КІЛЬКІСТЬ ДНІВ З ЧАСТКОЮ СНІГОВОГО ПОКРИВУ $\geq 30\%$

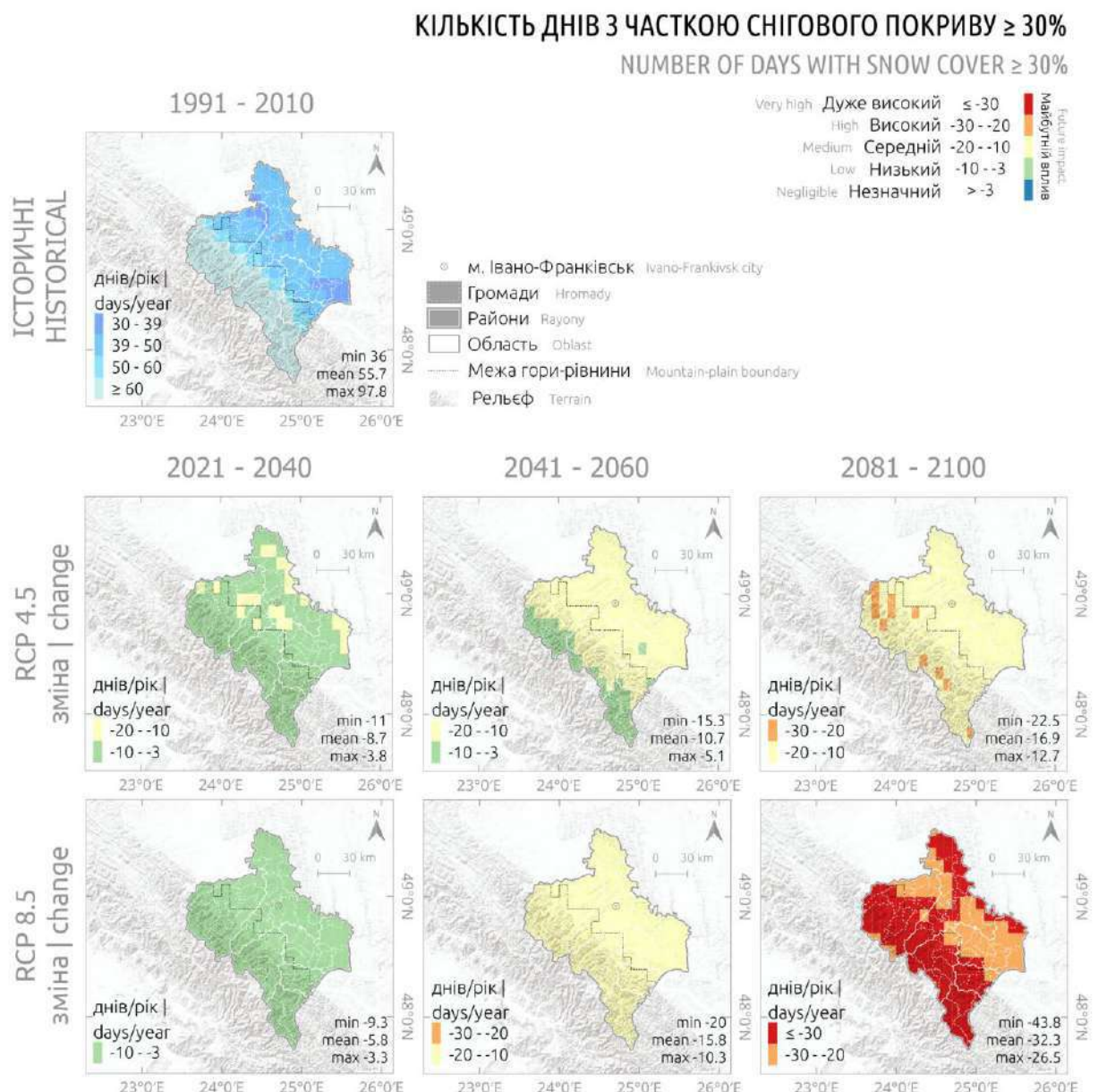


Рис. 3.2.29 Кількість днів з часткою снігового покриву $\geq 30\%$

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проект, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму



Сніговий покрив є важливим показником для низки галузей, зокрема, для сільського господарства, оскільки він є необхідним для забезпечення запасів продуктивної вологи в ґрунті для сільськогосподарських культур, а також ізолюючим покривом, що створює захист озимини від дії потенційно негативних температурних, вологісних та вітрових факторів. Водночас, за умови поєднання значної кількості снігу та незамерзлого ґрунту і з подальшими високими температурами це може спричинити негативний вплив на озимі культури [WMO. Guide to Agricultural Meteorological Practices, 2012; Польовий та ін., 2012; Настанова, 2007]. Дні зі сніговим покривом є також важливими для управління ризиками стихійних лих, оскільки Івано-Франківська область характеризується значними перепадами висот через наявність як гірської системи Карпат, яка може спричинити додаткові ризики, такі як сходження снігових лавин зі схилів, а також значних повеней, що можуть призвести до значних підтоплень територій, і, як наслідок, спричинити людські жертви та значні економічні збитки. Також слід зазначити, що дані про сніговий покрив є важливим показником для визначення запасів води для прогнозування річкового стоку [WMO. Guide to Instruments and Methods of Observation Volume II – Measurement of Cryospheric Variables, 2018], а також транспорту, зокрема для стану залізничного та дорожнього покриття, перебоїв у русі [Кліматичні ризики..., 2018; Економічна метеорологія, 2019].

Більш того, сніговий покрив має високу відбивну здатність сонячної енергії - 40-90% в залежності від стану снігу (свіжий чи старий), чим відіграє важливу роль у радіаційному балансі через процес перерозподілу потоків низхідної та висхідної короткохвильової радіації, таким чином сприяючи деякому охолодженню підстильної поверхні, і, як наслідок, зниженню приземної температури повітря. Тобто, потенційне зменшення наявності снігового покриву та кількості днів з ним внаслідок підвищення приземної температури через викиди (емісії) парникових газів призведе до більшого поглинання частки низхідної радіації, що спричинятиме ще більший прогрів підстильної поверхні [IPCC, 2014; IPCC, 2022; IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems. Summary for Policymakers, 2019].

Для території Івано-Франківської області з метою визначення кількості днів із сніговим покривом використано добові дані ансамблю наявних 11 регіональних кліматичних моделей (PKM) європейського проєкта Euro-CORDEX, які мають доволі деталізований горизонтальний просторовий крок сітки 0,1x0,1° або 12,5x12,5 км. Моделі обиралися відповідно до наявних 14 PKM з максимальної та мінімальної температури (представлені в таблиці) для забезпечення уніфікованого ансамблю. Аналогічно, як і для інших показників снігового покриву, для аналізу змін використано історичний базовий період 1991-2010 та майбутні три: 2021-2040 (найближчий), 2041-2060 (середина сторіччя), 2081-2100 (віддалений або кінець сторіччя) за двома RCP-сценаріями: RCP 4.5 та RCP 8.5. Розрахунок кількості днів проводився для тих випадків, коли частка снігового покриву у вузлі сітки складала 30% і вище за всіма моделями. Такі обчислення виконувалися з використанням bash-скриптів у CDO з застосуванням функції histcount, яка розраховує кількість днів для заданих меж певного показника обраного періоду. Для даного показника такі обчислення виконувалися за умови значень частки снігового покриву у вузлі сітки у межах від 30% до 100%. Спочатку обчислювалась загальна сума днів для всіх вищезазначених 20-річних періодів, яка потім ділилася на 20 для отримання усередненої кількості днів зі сніговим покривом за рік для кожного з періодів. Далі виконувалося знаходження різниць між значеннями майбутніх періодів 2021-2040, 2041-2060, 2081-2100 та базовим 1991-2010 з метою ідентифікацій змін показника днів зі сніговим покривом $\geq 30\%$.



Для визначення ступеня впливу на сектори економіки встановлено такі п'ять градацій зменшення кількості днів зі сніговим покривом $\geq 30\%$ (згідно з таблицею):

1. незначний (very low) до -3 днів;
2. низький (low) від -3 до -10 днів;
3. середній (moderate/medium) від -10 до -20 днів;
4. високий (high) від -20 до -30 днів;
5. дуже високий (very high) більше -30 днів.

Внаслідок підвищення як температури підстильної поверхні, так і приземної температури повітря, що зумовлені антропогенними змінами клімату, відмічатиметься зменшення кількості днів зі сніговим покривом на території Івано-Франківської області до кінця XXI сторіччя.

За базовий історичний період 1991-2010 (рис. 3.2.29) на території Івано-Франківської області характерне зростання кількості днів зі сніговим покривом зі сходу на захід та південний захід через зростання висоти рельєфу. На рівнинній частині області та Передкарпатті, кількість днів становила у межах 36,0-50,0 днів, на східних схилах Карпат - 50,0-60,0 днів, тоді як у Карпатах їх кількість вище за 60 днів з максимальним значенням 97,8 днів на рік. Середнє по області значення складало 55,7 днів.

У найближчому майбутньому 2021-2040 за сценарієм RCP 4.5 спостерігатиметься зменшення кількості днів зі сніговим покривом $\geq 30\%$ по всій території Івано-Франківської області відносно базового періоду 1991-2010. В цілому, такі максимальні зміни становитимуть -11,0 днів, які будуть відмічатися окремими осередками на сході та в центрі. Середні зміни по області становитимуть -8,7 днів, а мінімальні -3,8 днів. Тоді як за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 такі зміни будуть нижчими. Максимальне зменшення становитиме -9,3 днів, а мінімальне -3,3 днів. Середнє по області зменшення становить -5,8 днів. Отримані зменшення кількості днів із сніговим покривом за обома сценаріями відповідають низькому впливу зміни цього кліматичного чинника.

На середину сторіччя 2041-2060 за сценарієм RCP 4.5 по всій території Івано-Франківської області очікується інтенсифікація зменшення снігового покриву $\geq 30\%$ і на переважній частині ці зміни становитимуть -10,0 днів і більше. Найбільші зміни становитимуть -15,3 днів. Тоді як найменші зміни будуть характерні для заходу області, у високогір'ї Карпат (Вигодська, Перегінська громади Калуського району; Поляницька та Ворохтянська громади Ворохтянського району) з мінімальним значенням -5,1 днів. На противагу за RCP 8.5 зменшення буде більш інтенсивним. Максимальні зміни сягатимуть до -20,0 днів, мінімальні до -10,3 днів, тоді як середнє по області складає -15,8 днів. Такі зміни за RCP 4.5 та RCP 8.5 зумовлять помірний вплив на сектори економіки.

На кінець сторіччя 2081-2100 за сценарієм RCP 4.5 продовжуватиметься зменшення кількості днів зі сніговим покривом у порівнянні з базовим 1991-2010 та попередніми майбутніми періодами. Максимальні зміни становитимуть -22,5 днів, тоді як мінімальні -12,7 днів. Середнє по області становить -16,9 днів. За песимістичним сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 таке зменшення буде максимальним з-поміж усіх періодів та у порівнянні з RCP 4.5 ці зміни зростуть практично вдвічі. Найінтенсивніші зміни будуть відбуватися на сході та заході області (весь регіон Карпат), де вони становитимуть -30,0 днів і більше з максимальними змінами до -43,8 днів. Найменші, але значні зміни -26,5...-30,0 днів характерні для півночі (Брошнів-Осадська, Верхнянська, Калуська, Войнилівська громади Калуського району; Букачівська, Галицька, Тисменицька, Тлумацька, Обертинська громади Івано-Франківського району), сходу та частково центру (Коломийський

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом



район). Середнє по області становить -32,3 днів. Відносно базового періоду 1991-2010 до кінця XXI сторіччя кількість днів із сніговим покривом за RCP 4.5 може зменшитися максимально до -23%, а за RCP 8.5 до -45%. Тобто, за RCP 4.5 буде спостерігатися потенційно помірний вплив, тоді як за RCP 8.5 високий та дуже високий.

Можна зробити висновок, що отримані оцінки для Івано-Франківської області за двома RCP-сценаріями вказують на те, що зменшення кількості днів зі сніговим покривом $\geq 30\%$ найбільше вплине на гірськолижний туризм. Середню чутливість матимуть водні ресурси, рослинництво. Разом із тим, зменшуватиметься негативний вплив чинника для управління ризиками стихійних лих, рекреації та подорожей, інфраструктури енергетики, здоров'я, наземного та водного транспорту та будівель.



3.2.3.3 КІЛЬКІСТЬ ДНІВ ЗІ СНІГОПАДОМ ≥ 10 ММ ЗА ДОБУ

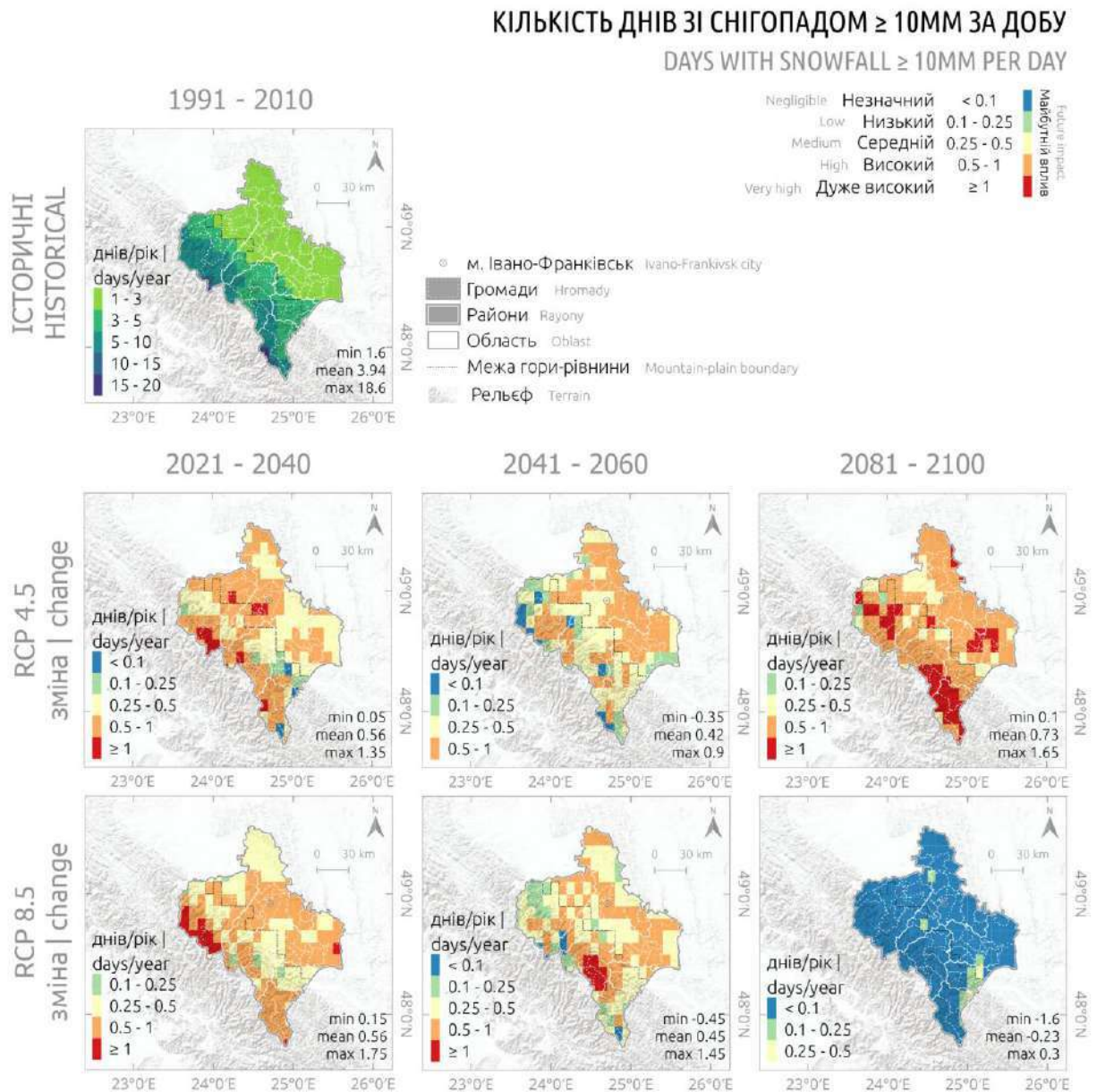


Рис. 3.2.30 Кількість днів зі снігопадом ≥ 10 мм за добу

Для оцінки ступеня впливу снігопадів на різні галузі економіки розраховувалася кількість днів з помірними та сильними снігопадами, коли сума твердих опадів була ≥ 10 мм за добу. Такий показник екстремальності є особливо важливим для території Івано-Франківської області через поєднання як рівнинних, так і гірських форм рельєфу, тому снігопади можуть значно ускладнювати функціонування секторів економіки.

Для розрахунку цього показника для території Івано-Франківської області використані дані 9 РКМ європейського проєкту Euro-CORDEX, які обрано на момент написання Стратегії за списком моделей щодо показників максимальної та мінімальної приземної температури повітря. Дані

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проект, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму



моделі мають доволі деталізований горизонтальний крок сітки 0,1x0,1° або 12,5x12,5 км. Початкові дані про добову кількість снігу було представлено в одиницях вимірювання $\text{кг}\cdot\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}$, тобто, для підготовчого розрахунку необхідно було перевести дані у прийнятну одиницю вимірювання - мм за добу. Кількість днів з кількістю опадів у вигляді снігу 10 мм і вище визначалася за допомогою функції histcount у CDO (Climate Data Operators) для кожної з моделей. Спочатку визначалися кількості днів за всі чотири періоди: базовий 1991-2010 та майбутні 2021-2040, 2041-2060, 2081-2100. Для отримання усередненої кількості днів за рік даний показник ділився на 20, кількість років у кожному з періодів. Оскільки цей показник характеризує екстремальні умови, то серед отриманих значень за ансамблем РКМ визначали максимальне за допомогою функції CDO ensmax. Для подальшої оцінки та аналізу кліматичних проєкцій кількісної зміни показника помірних і сильних снігопадів розраховували різниці між максимальними річними значеннями кількості днів за ансамблями моделей за кожен майбутній період та базовий історичний.

Чинник кліматичного впливу щодо кількості днів із помірними та сильними снігопадами матиме негативний вплив за умови збільшення на такі сектори економіки як управління ризиками стихійних лих в основному через підвищений ризик виникнення сніголавинних ситуацій, наземний транспорт через замети, перешкоджання руху і загроз для ефективного перевезення і безпеки руху; для критичної інфраструктури та будівель через, наприклад, налипання мокрого снігу, навантаження на інфраструктурні об'єкти, обриви дротів, порушення логістики; для сільського та лісового господарств через, наприклад, пошкодження озимих, дерев; а також для гірськолижного туризму, здоров'я і водних ресурсів [Кліматичні ризики..., 2018; Економічна метеорологія, 2019], тощо.

Для оцінки негативного впливу даного кліматичного показника на функціонування галузей економіки визначені такі межі збільшення кількості днів зі снігопадом ≥ 10 мм за добу :

1. незначний (very low) до 0,10 днів на рік (або 1 день на 10 років);
2. низький (low) від 0,10 до 0,25 днів (до 1 день на 4 роки);
3. середній (moderate/medium) від 0,25 до 0,50 днів (до 1 день на два роки);
4. високий (high) від 0,5 до 1,0 днів на рік;
5. дуже високий (very high) більше 1,0 днів на рік.

За історичний базовий період 1991-2010 Івано-Франківська область характеризується більш однорідним розподілом кількості днів зі снігопадом ≥ 10 мм за добу на рівнинній частині території та зростанням зі східного схилу Карпат до високогір'я. У цілому, значення в горах значно варіюють: від 3-5 днів у передгір'ї та східних схилах до 15 днів і більше у високогір'ї. Максимальна кількість днів складає 18,6 у Карпатах. На рівнині ця кількість днів залишається в межах до 3 днів на рік. Середня кількість днів із помірним снігопадом по території складає 3,94, а мінімальна кількість 1,6.

У найближчому майбутньому 2021-2040 за сценарієм RCP 4.5 очікується нерівномірне зростання кількості днів з снігопадами ≥ 10 мм за добу на території Івано-Франківської області відносно базового 1991-2010. Найбільші зміни ≥ 1 дня зустрічаються невеликими осередками на



заході та в центрі. Максимальне підвищення становитиме 1,35 дня. Тоді як на заході (Карпати) та в центрі (схід Калуського, захід Івано-Франківського районів) значення будуть переважно в межах 0,5-1,0 днів, а на сході ці значення будуть дещо нижчими (схід Івано-Франківського та Коломийського районів). Середнє значення зростання по області днів з помірним снігопадом складатиме 0,56 днів, тоді як мінімальне 0,05 та буде зустрічатися точково на південному сході та півдні. За RCP 8.5 максимальні значення підвищення 1,75 днів будуть характерні для заходу (частково Вигодська та Перегінська громади Калуського району). Тоді як на півдні (Верховинський район), центрі та сході (південь Івано-Франківського та схід Коломийського районів) кількість днів зростає до 0,5-1,0, на півночі та центрі значення будуть дещо нижчими. Середнє по області підвищення становить 0,56 днів, а мінімальне 0,15. Отримані значення підвищення кількості днів з помірними снігопадами свідчать про переважно високий негативний вплив на галузі економіки Івано-Франківської області.

На середину сторіччя 2041-2060 за сценарієм RCP 4.5 очікується переважно зростання кількості днів зі снігопадами ≥ 10 мм за добу відносно базового та водночас деяке зменшення у порівнянні з попереднім двадцятиріччям. Найвищі значення складатимуть до 0,9 днів та будуть характерні для сходу (схід Івано-Франківського та Коломийського районів) та частково заходу Івано-Франківської області. На іншій рівнинній частині та частково у Карпатах значення варіюватимуть у межах 0,25-0,5 дня. Середнє зростання по області становить 0,42 дня, тоді як мінімальне буде від'ємним -0,35 дня, що вказуватиме на деяке зменшення кількості днів з помірними снігопадами. За сценарієм RCP 8.5 також відмічатиметься здебільшого зростання кількості днів з помірними снігопадами у порівнянні з базовим та деяке зменшення відносно попереднього майбутнього періоду. Максимальні значення сягатимуть 1,45 днів (Поляницька та Ворохтянська громади Надвірнянського району). Тоді як на переважній частині території значення будуть 0,25-1 дні. Середнє значення становить 0,45 дня, а мінімальні -0,45 дня, що вказуватиме на зменшення кількості днів зі снігопадами. Таке зростання кількості днів з помірними снігопадами за обома RCP-сценаріями здебільшого відповідають градації помірного та високого негативного впливу на сфери економіки в Івано-Франківській області.

На кінець XXI сторіччя у період 2081-2100 за сценарієм RCP 4.5 відмічатиметься інтенсифікація підвищення кількості зі снігопадами ≥ 10 мм за добу по всій території Івано-Франківської області. Більші зростання ≥ 1 дня будуть характерні переважно для заходу та півдня (Ворохтянська громада Надвірнянського району; Верховинський район) з максимумом 1,65 днів. Тоді як на переважній частині території значення будуть у межах 0,5-1,0 дня. Середнє по області становитиме 0,73 дня, а мінімальне зростання 0,1 дня. За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 внаслідок значного підвищення температури кількість днів із помірними снігопадами стрімко зменшиться. Максимальні значення зростання складатимуть 0,3 дня, тоді як середнє по області набуде від'ємних значень -0,23 дня, а мінімальне зменшиться до -1,6 дня. Отже, за умови реалізації RCP 4.5 кількість днів з помірними снігопадами буде зростати та призводитиме до високого та дуже високого негативного впливу. Натомість за RCP 8.5 цей вплив значно зменшиться та буде незначним, вочевидь через значне потепління та зниження ймовірності опадів у вигляді снігу.

Такі галузі як управління ризиками стихійних лих, інфраструктура енергетики мають високу чутливість до зростання кількості днів зі снігопадами ≥ 10 мм за добу. Середню чутливість виявлено для рекреації та подорожей, гірськолижного туризму, лісового господарства, будівель. Цей



показник не матиме негативного впливу на сектор рибальства та аквакультури, пляжного туризму, здоров'я.

3.2.4 ШВИДКІСТЬ ПРИЗЕМНОГО ВІТРУ

Швидкість приземного вітру (англ. surface wind speed) визначається зазвичай на висоті флюгера, який на метеорологічних станціях розташовують на висоті 10 м над поверхнею землі. Швидкість вітру є надзвичайно динамічною характеристикою, яка залежить від чинників різного масштабу як в атмосфері, так і підстильної поверхні, і тому значно змінюється у просторі і часі. Для кліматичних досліджень зазвичай використовують екстремальні (максимальний порив вітру – wind gust) або усереднені значення за певні багаторічні кліматичні періоди від 10 до 30 років. Характеристика вітрового режиму у минулому періоді 1991-2010 наведена у підрозділі 2.1 цієї Стратегії. Далі представлені оцінки впливу зміни двох показників вітрового режиму: середньої швидкості приземного вітру і кількості днів із максимальним поривом приземного вітру, що перевищує 6 балів за шкалою Бофорта (10,8 м/с) за двома сценаріями до кінця XXI сторіччя для Івано-Франківської області.



3.2.4.1 СЕРЕДНЯ ШВИДКІСТЬ ВІТРУ

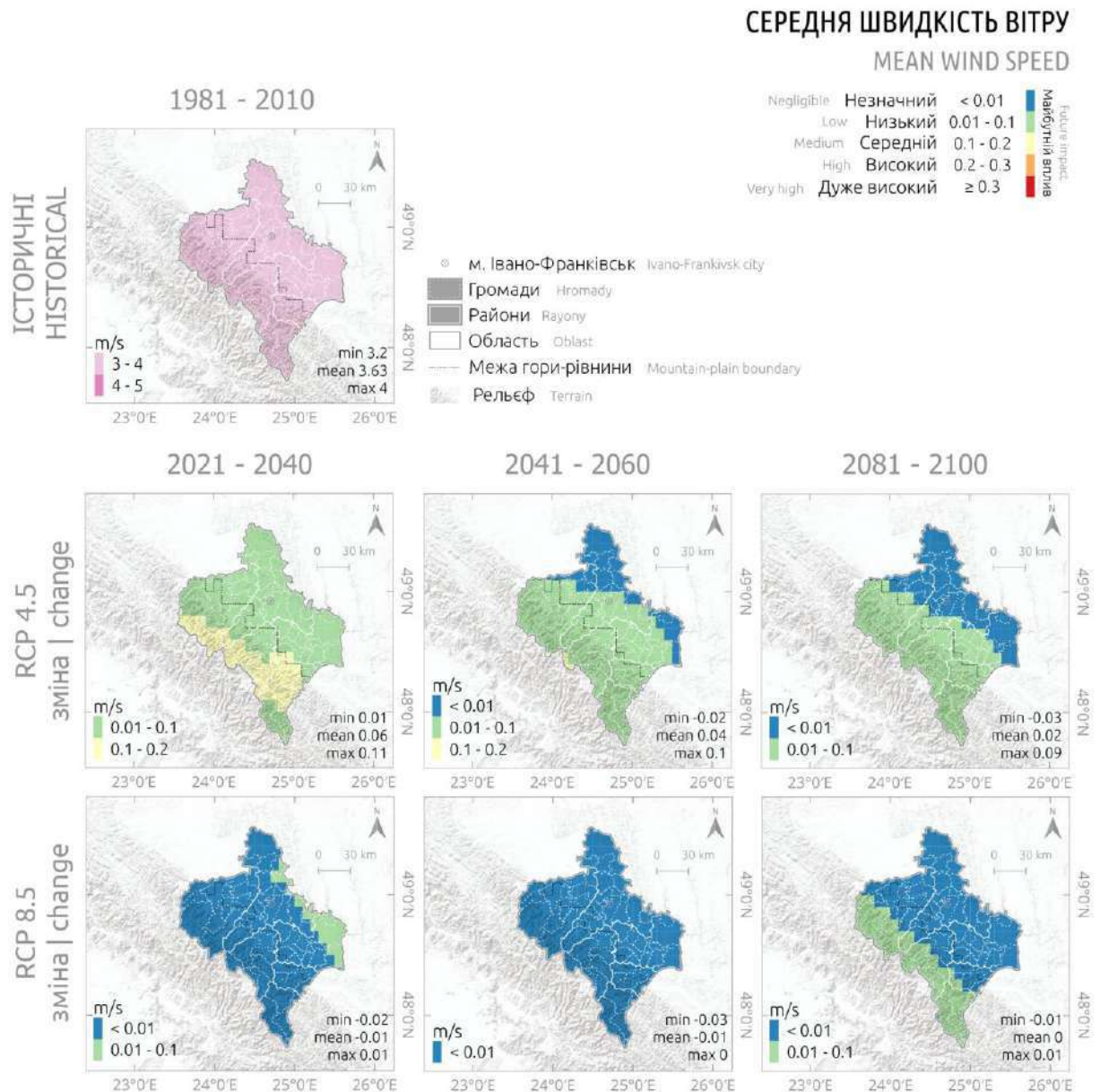


Рис. 3.2.31 Середня швидкість вітру

Для розрахунків показника середньої швидкості приземного вітру та його зміни в Івано-Франківській області, а також оцінки ступеня впливу даного кліматичного чинника використано дані Інтерактивного Атласу (ІА) Шостого звіту з оцінки фізичної основи зміни клімату першої робочої групи Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (WGI AR6 IPCC).

У даній Стратегії визначається, що цей чинник середньої швидкості приземного вітру має негативний вплив, якщо він зростатиме у майбутні кліматичні періоди. Збільшення швидкості вітру



негативно впливає на лісове господарство та екосистеми, транспорт, будівлі, також збільшує випаровування з поверхні землі та водойм і відповідно висушує ґрунт, сприяючи його ерозії та може спричиняти випаровування навіть малих водних об'єктів. Разом із тим, варто зазначити, що зростання середньої швидкості вітру сприятиме більшій генерації вітрової енергії, тобто може мати і позитивний вплив. Також збільшення швидкості вітру у спекотні дні зумовлюватиме зменшення теплового стресу як людей, так і екосистем, оскільки знижуватиме відчуття високих температур. Наявність і збільшення швидкості вітру покращує якість повітря на протигагу умовам, коли за відсутності або за малих швидкостей вітру накопичуються шкідливі домішки у приземному шарі атмосфери і відповідно погіршуються умови для здоров'я населення та екосистем.

З метою визначення багаторічної середньої швидкості вітру застосовувалися ансамблі Регіональних Кліматичних Моделей (PKM) європейського проєкту Euro-CORDEX, які у даному випадку мали роздільну здатність $0,5 \times 0,5^\circ$. Отримані дані використано для таких часових проміжків: базовий історичний період 1981-2010 (48 PKM) та три майбутні 2021-2040, 2041-2060 і 2081-2100 для двох сценаріїв RCP 4.5 (20 PKM) і RCP 8.5 (48 PKM). Перелік моделей наведено у депозитарії ІА https://github.com/IPCC-WG1/Atlas/blob/main/data-sources/CORDEX/CORDEX-EUR_day.csv.

Ми використовували наступні градації ступеня впливу для території Івано-Франківської області для негативного впливу від зростання середньої приземної швидкості вітру у м/с:

1. незначний (negligible) ($-0,01 < 0,01$ м/с);
2. низький (low) ($0,01 < 0,1$ м/с);
3. середній (moderate/medium) ($0,1 < 0,2$ м/с);
4. високий (high) ($0,2 < 0,3$ м/с);
5. дуже високий (very high) ($> 0,3$ м/с).

За базовий історичний період 1981-2010 за RCP 4.5 на території Івано-Франківської області середня багаторічна швидкість вітру коливається у межах 3,2-4,0 м/с незважаючи на те, що вітер є дуже мінливою метеорологічною величиною у часі та просторі, особливо якщо характерні значні перепади висот через наявність як рівнинних, так і гірських видів рельєфу, тобто Карпатських гір у даному регіоні.

У найближчому майбутньому 2021-2040 за RCP 4.5 (рис. 3.2.31) по області відмічатимуться найбільші зростання середньої швидкості вітру у порівнянні з базовим історичним 1981-2010. Максимальні зміни до 0,1 м/с характерні для району Карпат. Тоді як за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 у порівнянні з RCP 4.5 такі зміни будуть меншими та на переважній частині території набуватимуть від'ємних значень, проте вони будуть дуже незначними. Такі зміни середньої швидкості вітру за RCP 4.5 відповідають середньому ступеню впливу в районі Карпат, тоді як на решті території він буде низьким. За RCP 8.5 негативний вплив зміни показника буде переважно незначним.

На середину сторіччя 2041-2060 за RCP 4.5 (рис. 3.2.31) в Івано-Франківській області зміни усередненої швидкості вітру будуть практично такими самими, як і у попередній період з максимальним значенням зміни 0,1 м/с (Поляницька громада Надвірнянського району). За RCP 8.5 зміни чинника будуть дуже незначними та набуватимуть від'ємних значень. Такі зміни середньої



швидкості вітру за RCP 4.5 відповідають в основному середньому та низькому ступеням впливу, за RCP 8.5 - незначному.

На кінець сторіччя 2081-2100 за умови реалізації сценарію RCP 4.5 зміни середньої швидкості вітру очікуються такими самими, як і у попередній період з максимальним значенням до 0,1 м/с. Тоді як за RCP 8.5 ці зміни практично відсутні. Отже, у віддаленому майбутньому зміна даного показника зумовить незначний та низький впливи за обома сценаріями.

Отже, зміни середньої приземної швидкості вітру в Івано-Франківській області лише у найближче майбутнє за сценарієм RCP 4.5 у горах можуть мати середній ступінь впливу, а в інші періоди за розглянутих сценаріїв RCP 4.5 та RCP 8.5 матимуть незначний та низький негативний впливи для тих секторів економіки, які визначені в цій Стратегії як уразливі до зростання чинника.

3.2.4.2 ПОРИВИ ВІТРУ ≥ 10.8 М/С (6 БОФОРТ)

ПОРИВИ ВІТРУ ≥ 10.8 М/С (6 БОФОРТ)

WIND GUST ≥ 10.8 M/S (6 BEAUFORT)

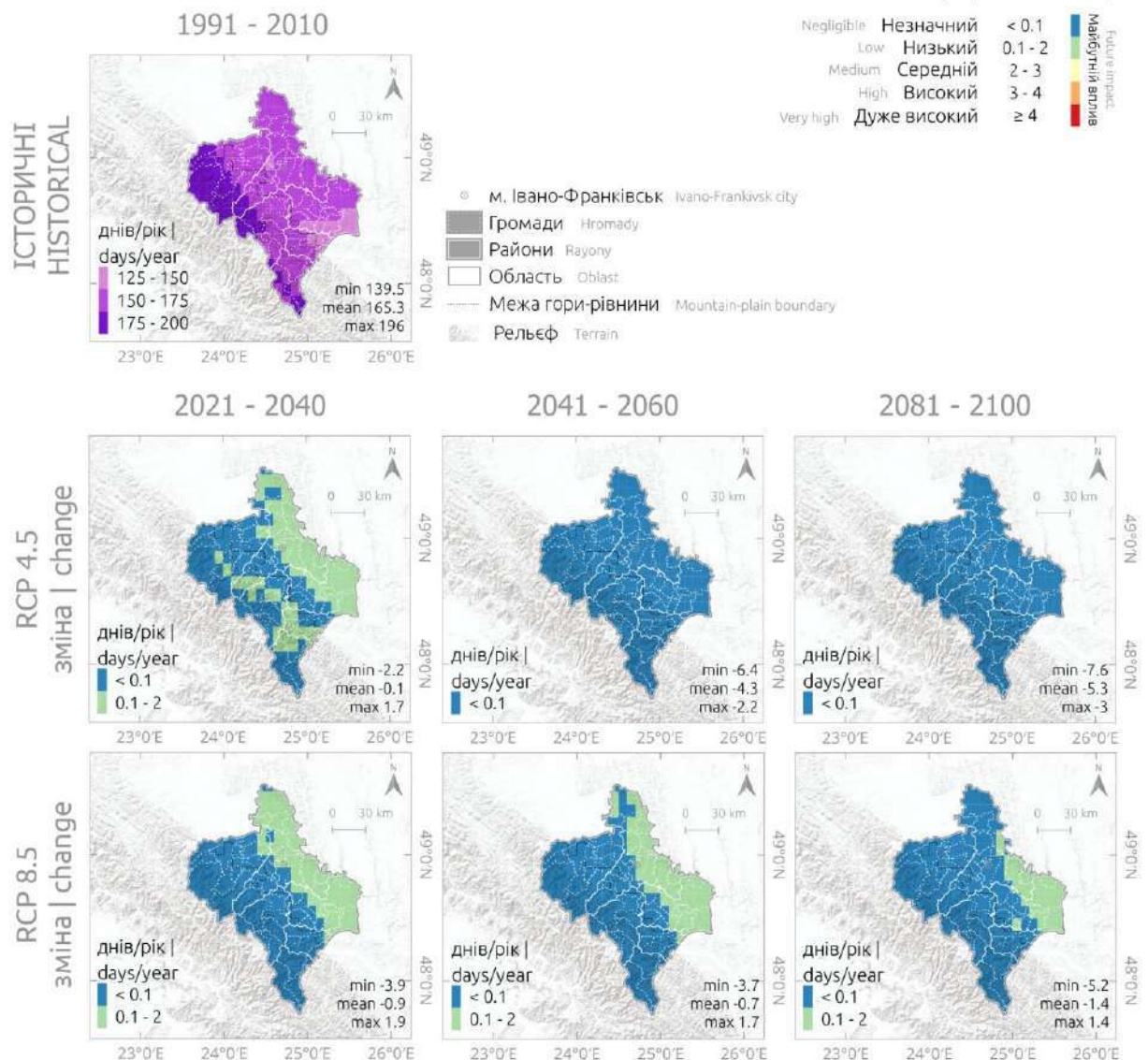


Рис. 3.2.32 Пориви вітру ≥ 10.8 м/с (6 Бофорт)

Оцінка та розрахунок ступеня впливу кліматичного чинника, що дозволяв би оцінити екстремальність вітру зокрема його поривів, проводилася через обчислення кількості днів на рік, коли максимальний порив приземного вітру за день перевищував 6 балів за шкалою Бофорта, тобто 10,8 м/с. Такий аналіз показника для Івано-Франківської області є надзвичайно важливим через те, що частина території є гірським масивом Карпат, а сильні вітри та зростання їх кількості належать до небезпечних та стихійних погодних явищ. Вони можуть спричинити значний негативний вплив на управління ризиками стихійних лих, енергетичну інфраструктуру, будівлі, культурну спадщину, лісове господарство та екосистеми, транспорт та інші сектори.



У даній Стратегії визначається, що цей чинник має негативний вплив, коли зростатиме у майбутні кліматичні періоди. Разом із тим, варто зауважити, що на відміну від позитивного впливу від збільшення середньої швидкості вітру для генерації вітрової енергії, якості повітря та здоров'я населення, про що зауважено у відповідному підрозділі, збільшення кількості днів із штормовими поривами вітру не матиме жодного позитивного впливу.

Для розрахунку кількості днів вітру зі швидкістю 10,8 м/с і вище використано добові дані про максимальний порив вітру (wsgsmax) європейського проєкта Euro-CORDEX ансамблів з 13 РКМ, які мають високу роздільну здатність (0,1x0,1°) для двох сценаріїв RCP 4.5 і RCP 8.5 в історичному базовому 1991-2010 та в трьох майбутніх періодах: 2021-2040, 2041-2060 і 2081-2100. Розрахунки здійснювалися для кожної з 13 моделей окремо для чотирьох 20-річний період за допомогою пакетного засобу CDO (Climate Data Operators) із використанням функції histcount,10.8 (порогове значення),50.0 (максимальне значення). Щоб здійснити перерахунок кількості днів на рік, отримана сума днів за кожен з періодів ділилася на 20 та усереднювалася за ансамблем 13 РКМ. Після чого визначали зміну показника для двох сценаріїв у майбутні періоди відносно історичного.

Для оцінки зміни кількості днів на рік із штормовим вітром на галузі економіки в Івано-Франківській області використано такі градації ступеня впливу:

1. незначний (negligible) до 0,1 дня;
2. низький (low) від 0,1 до 2,0 днів;
3. середній (moderate/medium) від 2,0 до 3,0 днів;
4. високий (high) від 3,0 до 4,0 днів;
5. дуже високий (very high) вище від 4,0 днів.

За базовий історичний період 1991-2010 кількість днів із поривами вітру, що перевищували 10,8 м/с по території Івано-Франківської області, варіює через поєднання рівнинного, передгірського та гірського рельєфу Карпат. На рівнинній частині кількість днів очікувано є меншою. Нижчі значення до 150 днів характерні для південного сходу (Матеївецька, Заболотівська, Снятинська громади Коломийського району; Рожнівська громада Косівського району). Мінімальні значення для цих територій становлять 139,5 днів. Тоді як на переважній частині території ця кількість днів становить 150,0-175,0. Максимальні значення характерні для заходу, де високогір'я Карпат (захід Калуського, Івано-Франківського, Надвірнянського районів) та становлять до 196,0 днів.

Для найближчого майбутнього 2021-2040 за RCP 4.5 (рис. 3.2.32) на частині території області відмічатиметься деяке зростання кількості днів з поривами вітру по відношенню до базового 1991-2010, більші зміни будуть характерні для сходу та частково гірського масиву Карпат, тоді як на решті території буде тенденція до зменшення. Максимальне зростання становитиме 1,7 дня, тоді як середнє по території зменшиться на 0,1 дня. Зменшення кількості днів складатиме 2,2 дні та буде характерно для центру та заходу області (практично весь Калуський район, захід Надвірнянського та південь Верховинського районів). За сценарієм RCP 8.5 на заході та в центрі області відмічатиметься зменшення кількості днів до 3,9 днів (Калуський район, захід Івано-Франківського, Надвірнянський та Верховинський райони). Тоді як середнє по області зменшення кількості днів до 0,9. На сході буде спостерігатися зростання, максимальні значення становитимуть 1,9 дні. Такі результати за RCP 4.5 та RCP 8.5 відповідають низькому негативному впливу через зростання кількості днів на сході області.



На середину сторіччя 2041-2060 за RCP 4.5 (рис. 3.2.32) очікується зменшення кількості днів по всій території області. Найінтенсивніше зменшення кількості днів з поривами вітру становитиме -6,4 днів, мінімальне -2,2 днів, а середнє по області -4,3 днів. Натомість за RCP 8.5 на сході зберігатиметься зростання кількості днів до 1,7, тоді як на решті території вони будуть зменшуватися до -3,7 днів. Середнє по області складає -0,7 дня. Отримані значення зростання кількості днів з поривами вітру за RCP 8.5 матимуть на сході низький вплив.

На кінець сторіччя 2081-2100 за умови реалізації RCP 4.5 (рис. 3.2.32) відбуватиметься подальше зменшення кількості днів до -7,6 днів. Усереднене зменшення становитиме -5,3 дні, тоді як найменше -3,0 дні. За сценарієм RCP 8.5 на переважній частині території відбуватиметься зменшення кількості днів до -5,2. Середнє по області характеризуватиметься зменшенням кількості днів до -1,4 днів. Лише на сході та південному сході відбуватиметься зростання кількості днів до 1,4 днів. Лише за RCP 8.5 на сході спостерігатиметься низький негативний вплив на сектори економіки через зростання кількості днів з поривами вітру.

Таким чином, зміни кількості днів із поривами вітру більше за 10,8 м/с (6 балів за шкалою Бофорта) в Івано-Франківській області на переважній частині території не чинитимуть негативного впливу за розглянутих сценаріїв для тих секторів економіки, які визначені в цій Стратегії як уразливі до збільшення чинника.



3.3 ЗВЕДЕНІ ТА МАКСИМАЛЬНІ СТУПЕНІ ВПЛИВУ ЧИННИКІВ ЗА КАТЕГОРІЯМИ

Для прийняття зважених рішень щодо адаптації секторів у такому великому регіоні як область потрібно враховувати неоднорідність зміни і відповідно впливу всіх кліматичних чинників за територією. З іншого боку для оцінки вразливості і ризиків для секторів та територій від зміни чинників кліматичного впливу розрахунки для усіх 32 показників є достатньо ресурсозатратними і не завжди доцільними, оскільки не всі показники і не однаково змінюються, деякі не чинять негативного впливу на сектор в умовах потепління (наприклад, подовження вегетаційного періоду чи зменшення градусоднів опалення), а деякі актуальні лише у специфічних умовах (наприклад, прибережні). Тим не менш є потреба об'єктивного порівняння впливу кліматичних чинників як у межах області, так і між областями. Тому вплив 32 чинників узагальнювався за основними категоріями, які представлені в Таблиці підрозділа 3.2 як "IPCC CIDS category", шляхом усереднення ступенів негативного впливу тих показників, які входять до категорій.

Оскільки при потеплінні впродовж XXI ст. не було виявлено негативного впливу через зменшення тривалості вегетаційного періоду (оскільки він тільки збільшувався), то в першій категорії розглядалися лише усереднені температури. Аналогічно не було виявлено негативного впливу від чинників, які входять до категорій хвиль холоду і морозів. Тому залишилося всього п'ять категорій, в яких більше одного показника і для яких було виконано нормування для ступенів негативного впливу від зміни чинників у категоріях:

- Підвищення середньої температури повітря - 5 показників (усереднені температури повітря за рік, січень, квітень, липень і жовтень);
- Збільшення екстремальної спеки - 5 показників (усереднена за літні місяці максимальна добова температура повітря, кількість днів з дуже сильною та екстремальною спекою, тропічних ночей, днів з індексом Гумідекс вище за 30, градусоднів кондиціювання повітря);
- Зменшення усереднених опадів - 5 показників (усереднені кількості опадів за рік, січень, квітень, липень і жовтень);
- Збільшення екстремальних опадів - 3 показники (щорічна кількість дуже сильних опадів, кількість опадів за одну і 5 діб);
- Зменшення снігового покриву і опадів у вигляді снігу - 2 названі показники.

Окрім усереднених значень негативного впливу по категоріях, очевидно, що для оцінки ризиків потрібно визначити також ті чинники, від зміни яких очікується найбільший ступінь негативного впливу. Тому у визначених категоріях у кожному вузлі розрахункової сітки знаходили і аналізували також і максимальний ступінь впливу в категорії.

3.3.1 Підвищення середньої температури повітря

Зростання нормованого показника негативного впливу від підвищення середньої приземної температури повітря, який складається із усереднених значень за рік і у центральні місяці сезонів, як описано вище, у найближчому майбутньому у період 2021-2040 за сценарієм RCP 4.5 на території Івано-Франківської області чинитиме здебільшого низький ступінь впливу (значення 25%) на галузі економіки. Виключення становить схід та осередок на заході, де максимальне значення 30%, що відповідатиме середньому впливу (Перегінська громада Калуського району; Більшівцівська,



Дубовецька, Єзупільська, Олешанська громади Івано-Франківського району; Чернелицька, Городенківська, Снятинська громада Коломийського району). За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 цей ступінь впливу буде однорідно середнім у межах 30-45%.

На середину сторіччя в період 2041-2060 за сценарієм RCP 4.5 зведений негативний вплив зростання середньої температури повітря буде посилюватися і вже зумовлюватиме середній ступінь впливу переважно 50% по всій території області. Виключення становить лише осередок на заході області (Перегінська громада Калуського району), де вплив буде високим з максимальними значеннями 55%. Тоді як за сценарієм RCP 8.5 ступінь впливу по всій території буде високим у межах 55-70%.

На кінець сторіччя в період 2081-2100 за сценарієм RCP 4.5 негативний вплив продовжуватиме зростати внаслідок підвищення загального температурного фону. По всій території Івано-Франківської області спостерігатиметься високий негативний вплив зі значеннями 55-70%. За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 внаслідок глобального потепління відбуватиметься значне зростання зведеного ступеня впливу до категорії дуже високого у межах 90-95%.

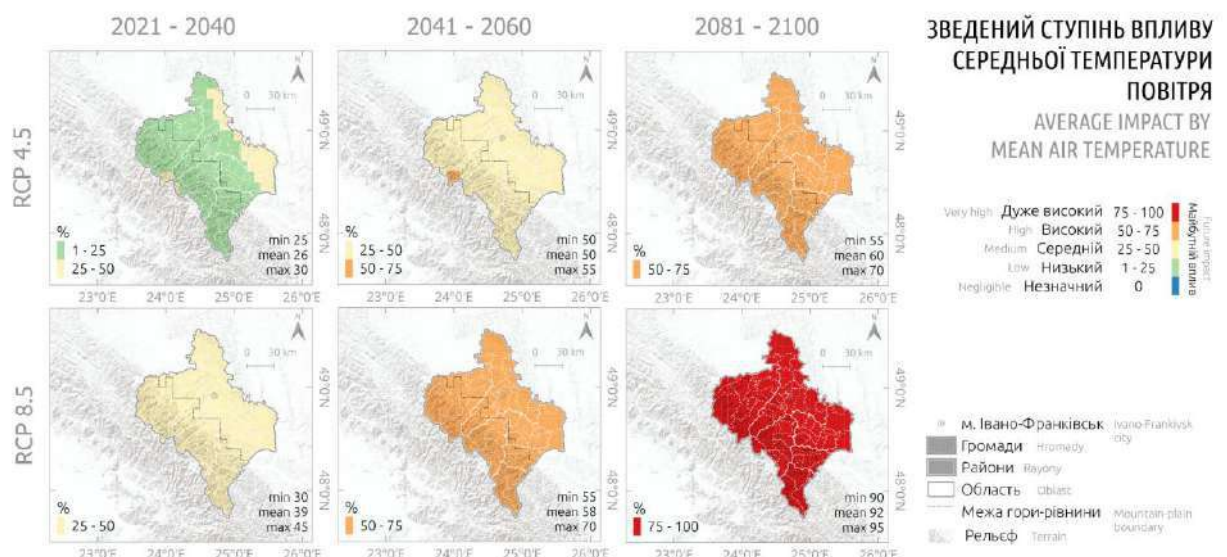


Рис. 3.3.1 Зведений ступінь впливу середньої температури повітря

Для оцінки потенційного найбільшого ступеня впливу обиралися максимальні значення з-поміж усіх шести показників у категорії підвищення середніх приземних температур повітря у кожному майбутній період за кожним із сценаріїв RCP 4.5 та RCP 8.5. Такі оцінки необхідні саме для визначення ризиків від зміни клімату і очевидно, що максимальний ступінь впливу буде здебільшого більшим за нормований показник.

Для найближчого майбутнього (2021-2040) за RCP 4.5 максимальне зростання температури повітря зумовить переважно низький ступінь впливу зі значеннями 25%, лише на сході та осередком на заході виділятимуться зони з середнім або помірним ступенем впливу, де розкид значень становить 26-50% (максимальні). Тоді як за сценарієм RCP 8.5 такий вплив є рівномірно середнім зі значеннями 50%.

На середину сторіччя (2041-2060) за сценарієм RCP 4.5 по всій території відмічатиметься середній ступінь впливу зі значеннями 50%, лише на заході виділятиметься осередок з високим



впливом 75% (Перегінська громада Калуського району). За сценарієм RCP 8.5 по всій території очікується високий ступінь впливу 75%.

На кінець сторіччя (2081-2100) за сценарієм RCP 4.5 вплив на всій території Івано-Франківської області підвищиться до високого зі значеннями 75%, а за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 він сягатиме максимальних значень 100% та відповідатиме дуже високому негативному впливу через значне зростання середньої приземної температури повітря.

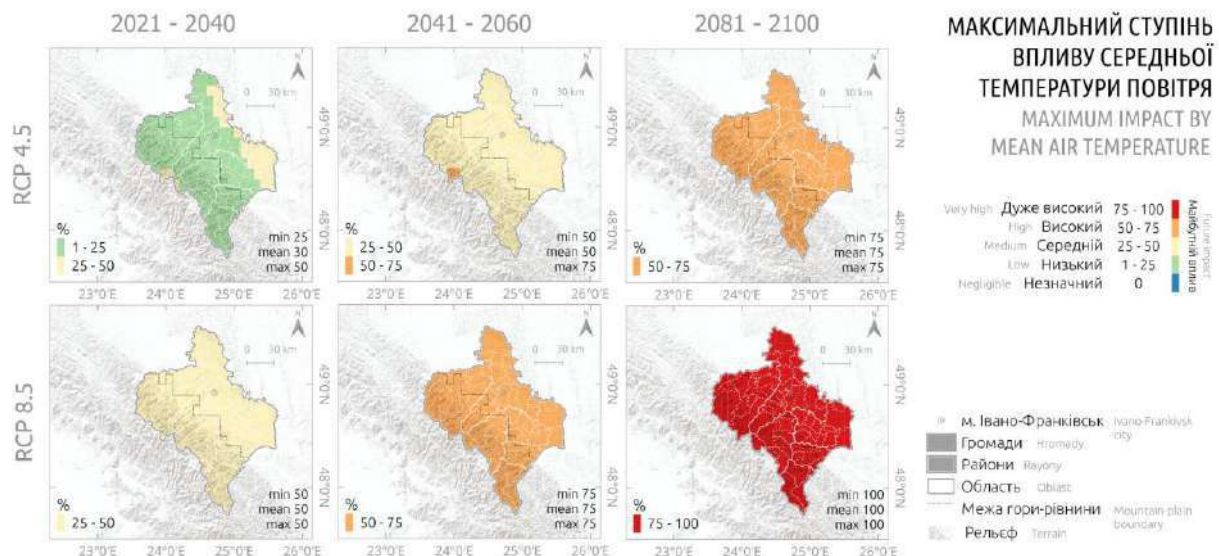


Рис. 3.3.2 Максимальний ступінь впливу середньої температури повітря

3.3.2 Збільшення екстремальної спеки

Зростання нормованого показника екстремальної спеки, куди включені показники на основі максимальної та мінімальної добових температур повітря, призведе до низького ступеня негативного впливу на території Івано-Франківської області для періоду найближчого майбутнього 2021-2040 за помірним сценарієм RCP 4.5 і значення по території коливатимуться в межах 20-25%. За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 вплив буде переважно низьким зі значеннями 20-25% за виключенням сходу та південного сходу, де значення сягатимуть максимально до 35% та відповідатимуть середньому ступеню впливу (Коломийська, Нижньовербізька, Матеївецька, Гвіздецька, Заболотівська, Снятинська громади Коломийського району).

На середину сторіччя 2041-2060 за сценарієм RCP 4.5 внаслідок потепління зведений ступінь негативного впливу зросте на рівнинній частині території Івано-Франківської області, де він становитиме 26-35% (схід Калуського, переважна частина Івано-Франківського та Коломийського районів), тоді як в гірському регіоні Карпат зберігатиметься низький вплив 25%. За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 відмічатиметься середній ступінь впливу в межах 30-40%.

На кінець сторіччя 2081-2100 за сценарієм RCP 4.5 територія Івано-Франківської області буде характеризуватися переважно середнім ступенем впливу 26-40%. Виняток становитимуть окремі осередки у передгірських районах на північному заході області (Болахівська громада Калуського району), де зберігатиметься низький вплив 25%. Тоді як за сценарієм RCP 8.5 інтенсивне потепління зумовить високий ступінь негативного впливу у межах 55-75%, а на сході та південному сході відмічатимуться осередки з дуже високим впливом максимально до 80% (Заболотівська, Снятинська громада Коломийського району).

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проект, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму

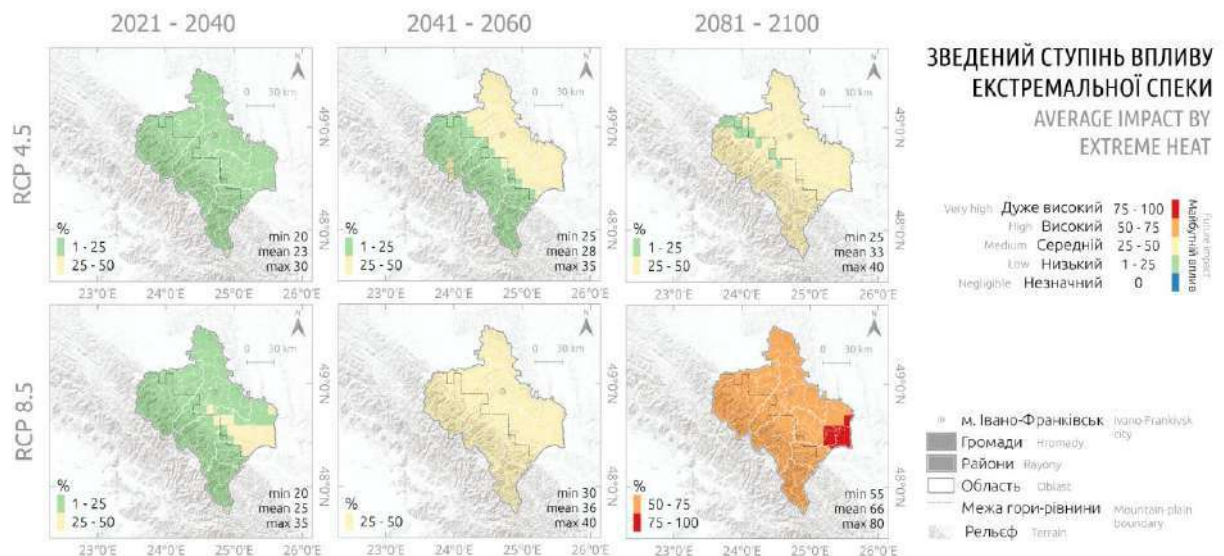


Рис. 3.3.3 Зведений ступінь впливу екстремальної спеки

Для встановлення максимально можливого ступеня впливу з-поміж показників екстремальної спеки обиралися найвищі значення в кожний з трьох майбутніх періодів для сценаріїв RCP 4.5 та RCP 8.5.

Для найближчого майбутнього 2021-2040 за обома сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5 очікується переважно середній ступінь негативного впливу зі значеннями 50%.

На середину сторіччя 2041-2060 за сценарієм RCP 4.5 на переважній частині Івано-Франківської області він залишиться переважно середнім 50%, лише на заході виділятиметься окремий осередок з високим впливом 75% (Перегінська громада Калуського району). Тоді як за сценарієм RCP 8.5 він буде переважно високим з максимумом 75%, лише на півночі такі значення відповідатимуть середньому ступеню впливу 50% (Верхнянська, Войнилівська, Калуська громади Калуського району; Рогатинська, Букачівська, Бурштинська, Більшівцівська, Галицька громади Івано-Франківського району).

У віддаленому майбутньому 2081-2100 за сценарієм RCP 4.5 буде спостерігатися помірний негативний вплив зі значеннями 50% на переважній частині рівнинної території Івано-Франківської області, а також частково передгірської. Тоді як в Карпатах, а також на південному сході рівнинної території ступінь впливу буде високим зі значеннями 51-75% (Матеївецька, Заболотівська, Снятинська громади Коломийського району). На противагу RCP 4.5, внаслідок зростання показників екстремальної спеки, за сценарієм RCP 8.5 максимальний негативний вплив буде дуже високим та становитиме 100%.

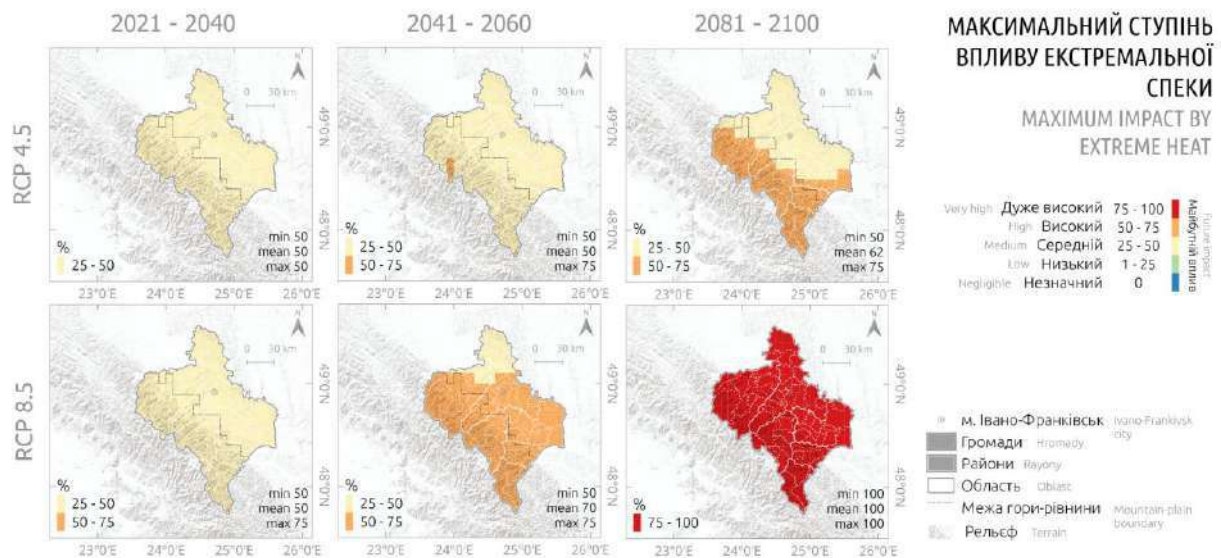


Рис. 3.3.4 Максимальний ступінь впливу екстремальної спеки

3.3.3 Зменшення усередненої кількості опадів

Нормований показник зменшення усередненої кількості опадів за рік і у центральні місяці сезонів року (січень, квітень, липень і жовтень) на території Івано-Франківської області у найближчому майбутньому 2021-2040, середину сторіччя 2041-2060 та віддаленому 2081-2100 за обома RCP-сценаріями зумовить переважно незначний ступінь негативного впливу зі значеннями 0% внаслідок того, що опади не зменшуватимуться впродовж року. Лише на кінець сторіччя за сценарієм RCP 8.5 отримано низький ступінь впливу з максимальними значеннями 5% в Карпатах (Болахівська, Витвицька, Вигодська, Перегінська громади Калуського району; Солотвинська громада Івано-Франківського району; Зеленська громада Верховинського району; Космацька громада Косівського району).

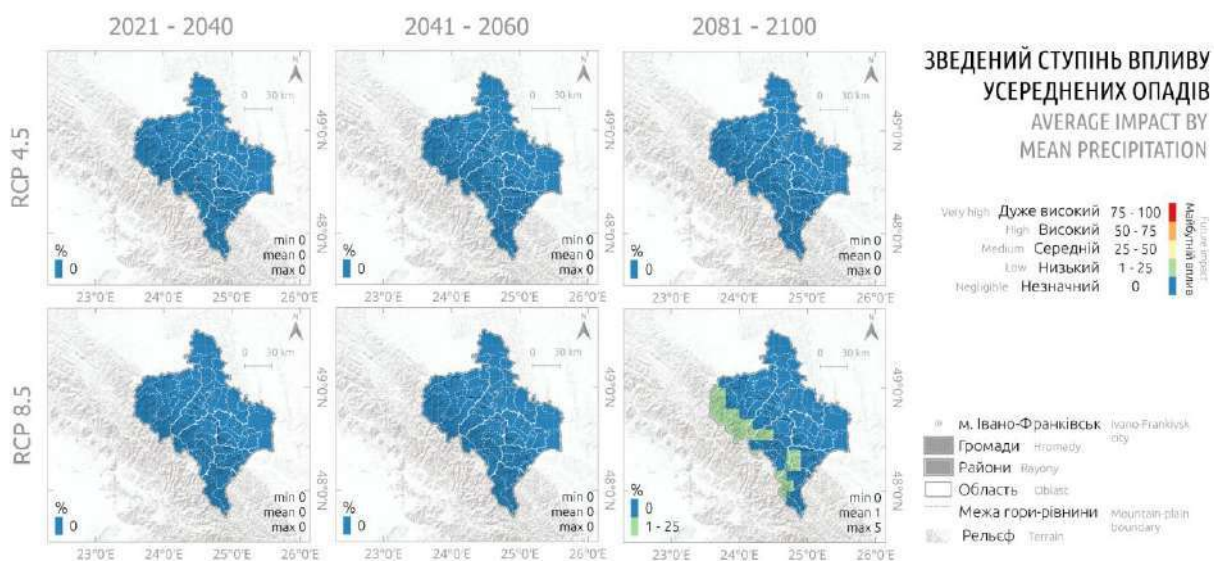


Рис. 3.3.5 Зведений ступінь впливу усереднених опадів

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проект, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму



Максимальний ступінь впливу визначено за максимальним значенням зменшення кількості опадів з поміж усереднених за рік і у центральні місяці року. Отриманий просторово-часовий розподіл максимального негативного впливу є практично ідентичним зі зведеним та становить 0% за обома сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5 для всіх трьох майбутніх періодів, що відповідає відсутності негативного впливу. Виняток становить лише віддалене майбутнє для сценарія RCP 8.5 для району Карпат, де він буде низьким, а максимальні значення сягатимуть 25% (Болехівська, Витвицька, Вигодська, Перегінська громади Калуського району; Солотвинська громада Івано-Франківського району; Зеленська громада Верховинського району; Космацька громада Косівського району).

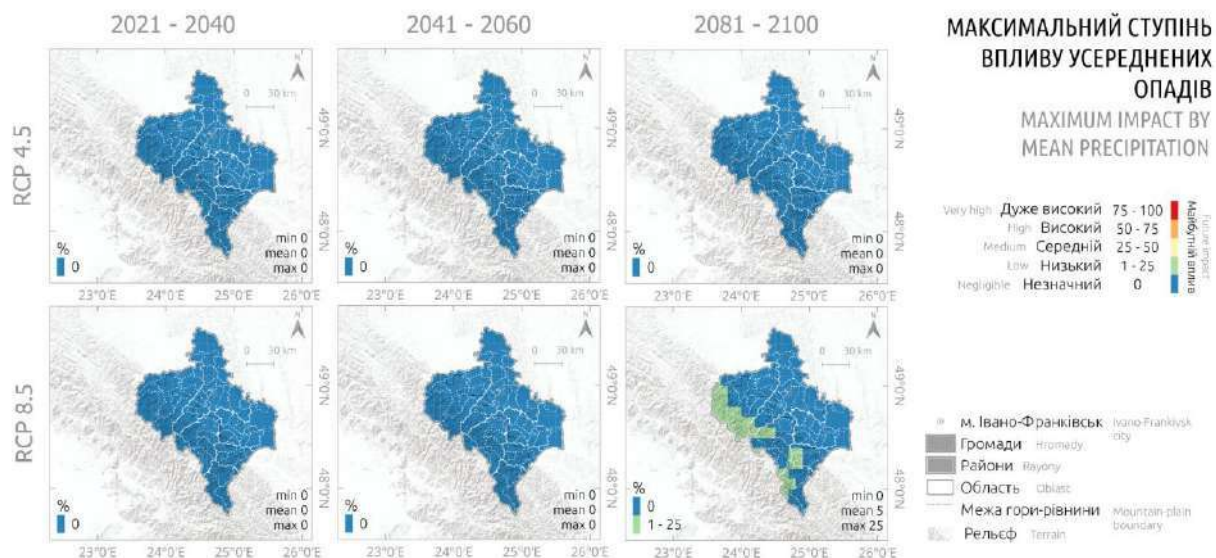


Рис. 3.3.6 Максимальний ступінь впливу усереднених опадів

3.3.4 Збільшення екстремальних опадів

Нормований показник негативного впливу від збільшення екстремальної кількості опадів характеризує збільшення злив, які можуть спричинити дощові паводки, і базується на збільшенні наступних чинників кліматичного впливу: максимальної кількості опадів за 5 днів, максимальної кількості опадів за 1 день, щорічної кількості дуже сильних опадів.

Для найближчого майбутнього 2021-2040 за сценарієм RCP 4.5 збільшення екстремальних опадів на переважній частині території Івано-Франківської області у середньому призведуть до середнього негативного впливу у межах 25-50%. Лише в центрі (Богородчанська громада Івано-Франківського району; Отинійська, Коршівська громади Коломийського району) та на заході, в Карпатах, (Перегінська громада Калуського району; Поляницька, Пасічянська громади Надвірнянського району) виділятимуться окремі осередки з низьким впливом до 25%. За сценарієм RCP 8.5 на північному заході, півночі та сході (переважна частина Калуського, Івано-Франківського, Коломийського районів) спостерігатиметься середній ступінь зведеного негативного впливу збільшення екстремальних опадів зі значеннями максимально до 50%. Тоді як переважно в Карпатах цей вплив буде низьким зі значеннями до 25%, а на півдні будуть осередки з незначним впливом 0% (Білоберізька громада Верховинського району).

На середину сторіччя 2041-2060 за сценарієм RCP 4.5 по території Івано-Франківської області буде відмічатися переважно середній негативний вплив зі значеннями у межах 25-50%. Лише в

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проект, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму



центрі та на заході виділятимуться осередки з низьким впливом до 25% (Отинійська, Коломийська, Печеніжинська громади Коломийського району; Перегінська громада Калуського району; Поляницька, Ворохтянська громади Надвірнянського району; Зеленська громада Верховинського району). Максимальне значення отримано на північному заході 58%, яке відповідає високому негативному впливові. За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 на переважній частині території отримано середній або помірний зведений негативний вплив збільшення екстремальних опадів у межах 25-50%. Високий ступінь впливу очікується на північному заході та південному сході з максимумом 58%, а низький ступінь впливу у межах 17-25% буде характерний частково для району Карпат (Витвицька, Перегінська, Спаська громади Калуського району; Солотвинська громада Івано-Франківського району; Поляницька, Пасічнянська громади Надвірнянського району).

На кінець сторіччя 2081-2100 за сценарієм RCP 4.5 північ та центр області зазнаватиме високого ступеня негативного впливу від збільшення екстремальних опадів у межах 50-67% (переважна частина Калуського, Івано-Франківського та Надвірнянського районів). Високий ступінь впливу також частково охопить територію Карпат, тоді як на решті території зберігатиметься середній вплив 25-50%. За сценарієм RCP 8.5 на рівнинній частині території Івано-Франківської області та частково в Карпатах відмічатиметься переважно високий негативний вплив максимально до 75%, тоді як в Карпатах ступінь впливу буде переважно середнім 42-50%.

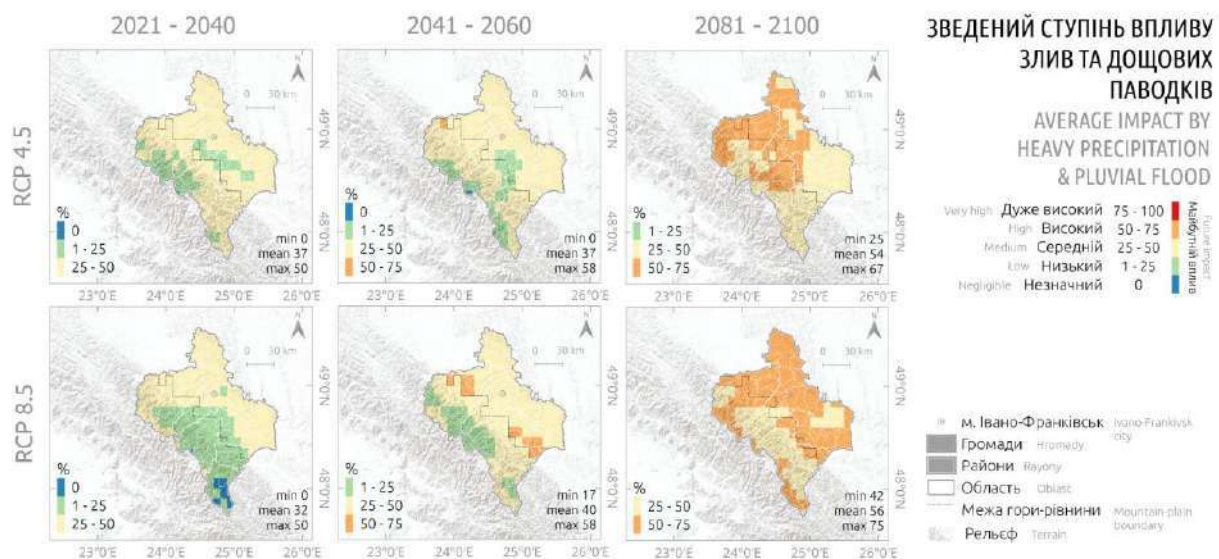


Рис. 3.3.7 Зведений ступінь впливу злив та дощових паводків

Максимальні значення ступеня впливу відповідають максимальним зростанням з-поміж аналізованих трьох індексів та відповідають здебільшого збільшенню щорічній кількості дуже сильних опадів із нерівномірним розподілом за ступенем впливу по території впродовж XXI сторіччя (рис. 3.3.7).

Для періоду найближчого майбутнього 2021-2040 за сценарієм RCP 4.5 відмічатиметься дещо нерівномірний вплив у передгірській та гірських регіонах Івано-Франківської області. Рівнинна частина території характеризуватиметься переважно дуже високим ступенем максимального впливу зміни екстремальних опадів у межах 75-100% (північ Калуського, переважна частина Івано-Франківського, Коломийського районів; весь Косівський район; Верховинська



громада Верховинського району; Делятинська, Яремчанська, Ворохтянська громади Надвірнянського району). Тоді як у просуванні зі сходу на захід до Карпатського хребта виділятимуться осередки з поступовим послабленням впливу від зміни екстремальних чинників. Низький вплив у межах 1-25% будуть притаманні Перегінській громаді Калуського району та Поляницькій громаді Надвірнянського району. Осереднене значення для цього періоду і сценарію 86% відповідає дуже сильному ступеню впливу. За сценарієм RCP 8.5 дуже високий вплив у межах 75-100% буде спостерігатися на півночі, північному заході та сході (схід Калуського, північ Івано-Франківського та схід Коломийського району). При просуванні на південь вплив зміни екстремальних опадів зменшується і переважно у гірській частині області отримано низький ступінь впливу у межах 1-25% (Пасічнянська, Делятинська, Яремчанська громади Надвірнянського району; Яблунівська, Космацька, Косівська Косівського району) та незначний вплив 0% (Білоберізька громада Верховинського району). У середньому по області отримане значення 74% менше за отримане в сценарії RCP 4.5 і відповідає високому впливу зміни показників збільшення екстремальності опадів.

Для періоду середини сторіччя 2041-2060 за сценарієм RCP 4.5 територія Івано-Франківської області буде мати менший усереднений вплив 76%, але він також відповідатиме градації дуже сильного і так само, як і у попередній період очікується неоднорідний ступінь впливу по території. На півночі (північ Івано-Франківського району), сході та південному сході (схід Коломийського, Косівський райони, Верховинська, Білоберізька громади Верховинського району) виділятимуться ділянки з дуже високим впливом у межах 75-100%. Тоді як на переважній частині території цей вплив буде високим 50-75% та помірним 25-50%, а на заході у високогір'ї будуть осередки з відсутністю і низьким впливом 25% (Перегінська громада Калуського району; Поляницька громада Надвірнянського району). За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 також зменшиться усереднене значення для області до 67%, яке так само відповідає градації високого впливу. Просторове охоплення дуже високим впливом у межах 75-100% значно зменшиться і очікується лише на рівнинній частині на сході та південному сході (Печеніжинська, Нижньовербізька, Матеївецька, Заболотівська, Снятинська, Городенківська, Чернелицька громади Коломийського району), тоді як переважно отримано високий вплив у межах 50-75% на рівнинній частині території області. В Карпатах вплив від зміни екстремальності опадів отримано середній (25-50%) та низький (1-25%) (Спаська, Перегінська громада Калуського району; Поляницька, Пасічнянська громади Надвірнянського району).

На кінець сторіччя у період 2081-2100 за сценарієм RCP 4.5 отримано найвищий усереднений вплив 88% від збільшення екстремальності опадів, який відповідає градації дуже сильного у межах 75-100%, який очікується на півночі, сході та півдні Івано-Франківської області (північ та схід Івано-Франківського району; весь Коломийський та Косівський райони; Верховинська громада Верховинського району; Делятинська, Яремчанська, Ворохтянська громади Надвірнянського району), тоді як на півночі та північному заході цей вплив буде високим 50-75% та помірним 25-50% (Перегінська, Спаська, Дубівська громади Калуського району). За сценарієм RCP 8.5 також отримано найвищий усереднений показник 80% на кінець сторіччя, який відповідає дуже високому впливу і очікується на заході переважно у гірській частині області в Карпатах (Болахівська, Вигодська, Долинська, Брошнів-Осадська, Рожнятівська громади Калуського району). Лише на сході виділятиметься ділянка з помірним впливом у межах 25-50% (Чернелицька, Городенківська громади Коломийського району).

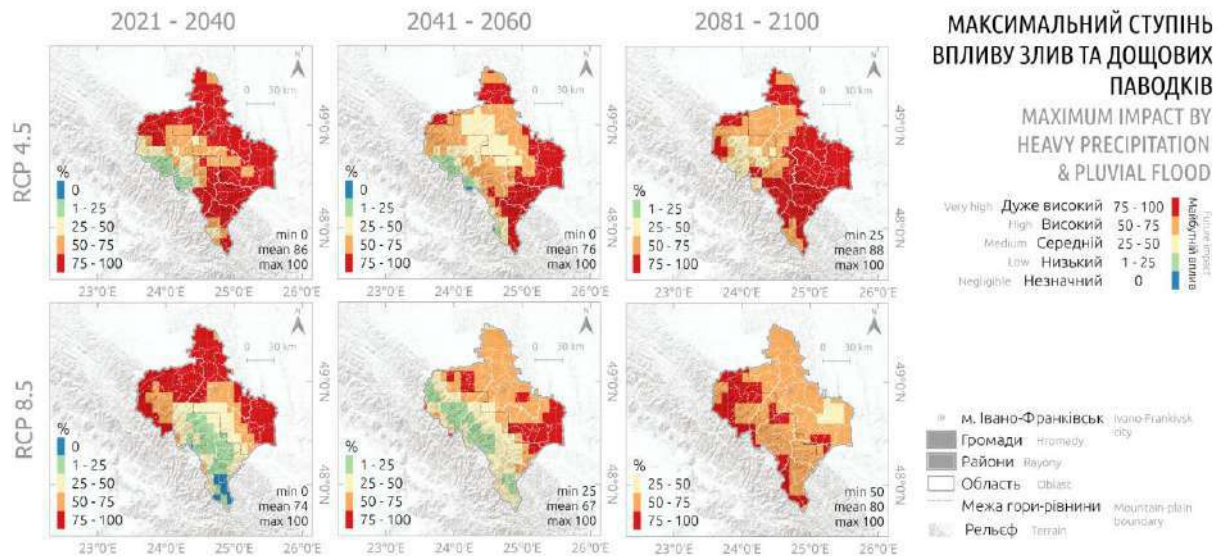


Рис. 3.3.8 Максимальний ступінь впливу злив та дощових паводків

3.3.5. Зменшення снігопадів та снігового покриву

Нормований ступінь впливу від зменшення кількості опадів у вигляді снігу та снігового покриву у найближчому майбутньому 2021-2040 за сценарієм RCP 4.5 у середньому по всій території Івано-Франківської області становить 29%, що відповідає градації середнього впливу. Тим не менш, на більшій частині території області отримано низький вплив у межах 1-25%, лише переважно у високогір'ї Карпат вплив досягатиме середнього з максимальним значенням 50%. За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 отриманий ступінь впливу від зменшення снігового покриву менший - 26%, лише у вузькій частині вздовж хребта Карпатських гір отримано середній ступінь впливу із максимумом 38%.

На середину сторіччя 2041-2060 за сценарієм RCP 4.5 по всій території Івано-Франківської області очікується середній ступінь впливу від зменшення снігового покриву у межах 25-50% із середнім значенням 45%. За сценарієм RCP 8.5 отримано середній ступінь впливу у 50% по всій рівнинній та переважно у гірській частинах області. Тоді як найбільші значення до 75%, які відповідають високому ступеню впливу, отримано на заході області у високогір'ї Карпат (Вигодська, Перегінська громади Калуського району; Поляницька та Ворохтянська громади Ворохтянського району).

На кінець сторіччя 2081-2100 за сценарієм RCP 4.5 продовжуватиметься збільшення ступеня впливу від зменшення снігового покриву, який буде схожим на отриманий у попередньому періоді для сценарію RCP 8.5 з дещо більшою територією з високим ступенем впливу у гірській частині області. За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 вплив від зменшення снігового покриву набуде максимальних значень у 100%, при цьому мінімальне отримане 75% відповідає верхній межі високого впливу, який переважно очікується на рівнинній частині області, тоді як по всій гірській частині отримано дуже високий вплив. Усереднене значення за територією усієї області склало 89%, що відповідає дуже високому впливу.

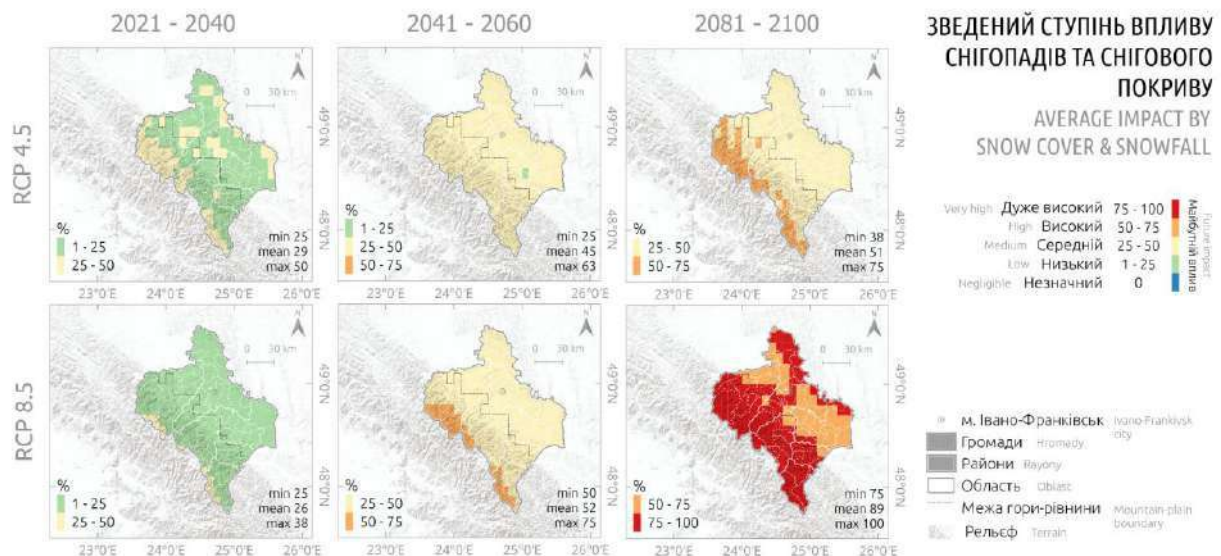


Рис. 3.3.9 Зведений ступінь впливу снігопадів та снігового покриву

Для встановлення максимально можливого ступеня впливу з-поміж двох показників, що вказують на зменшення снігового покриву, обиралися найвищі значення в кожний з трьох майбутніх періодів для сценаріїв RCP 4.5 та RCP 8.5.

Максимальний ступінь впливу від зменшення кількості опадів у вигляді снігу та снігового покриву у найближчому майбутньому 2021-2040 за сценарієм RCP 4.5 у середньому по всій території Івано-Франківської області становить 33%, що відповідає градації середнього впливу, але на більшій частині території області отримано низький вплив із значенням 25%, лише переважно у високогір'ї Карпат вплив досягатиме середнього у межах 25-50% із максимальним значенням 75% в одному вузлі у високогір'ї. За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 отриманий максимальний ступінь впливу схожий до зведеного із мінімальними значеннями на переважній частині області 25% і усередненим 27%, лише у вузькій частині вздовж хребта Карпатських гір отримано середній ступінь впливу із максимумом 50%.

На середину сторіччя у період 2041-2060 за сценарієм RCP 4.5 максимальний ступінь впливу по області очікується середнім із значеннями у межах 25-50%, але усереднене за територію 51% вже відповідає високому ступеню впливу, а максимальні значення в області у межах 50-75% і до максимальних 100%, які відповідають високому і дуже високому впливу, отримано осередково у високогір'ї Карпат. За сценарієм RCP 8.5 усереднений за територію максимальний отриманий вплив 54% не значно перевищує сценарій RCP 4.5, але мінімальне отримане значення 50% відповідає верхній межі середнього впливу, а високий і дуже високий вплив від зменшення снігового покриву отримано знову у високогір'ї Карпат на заході (частково Вигодська, Перегінська громади Калуського району; Полянницька громада Надвірнянського району) та південному заході (Зеленська громада Верховинського району).

На кінець сторіччя у період 2081-2100 за сценарієм RCP 4.5 в отриманому просторовому розподілі максимального впливу від зменшення снігового покриву переважає середній ступінь впливу із максимальним значенням цієї градації 50%. Лише у гірській частині області на заході та південному заході отримано високий і дуже високий ступінь впливу до 100%. За сценарієм RCP 8.5



практично на всій гірській частині області отримано дуже високий ступінь впливу від зменшення снігового покриву у межах 75-100%, середнє по області становить 89%, а найменші значення 75%, які відповідають верхній межі високого ступеня впливу, отримано на півночі (Брошнів-Осадська, Верхнянська, Калуська, Войнилівська громади Калуського району; Букачівська, Галицька, Тисменицька, Тлумацька, Обертинська громади Івано-Франківського району), сході та частково у центрі (Коломийський район).

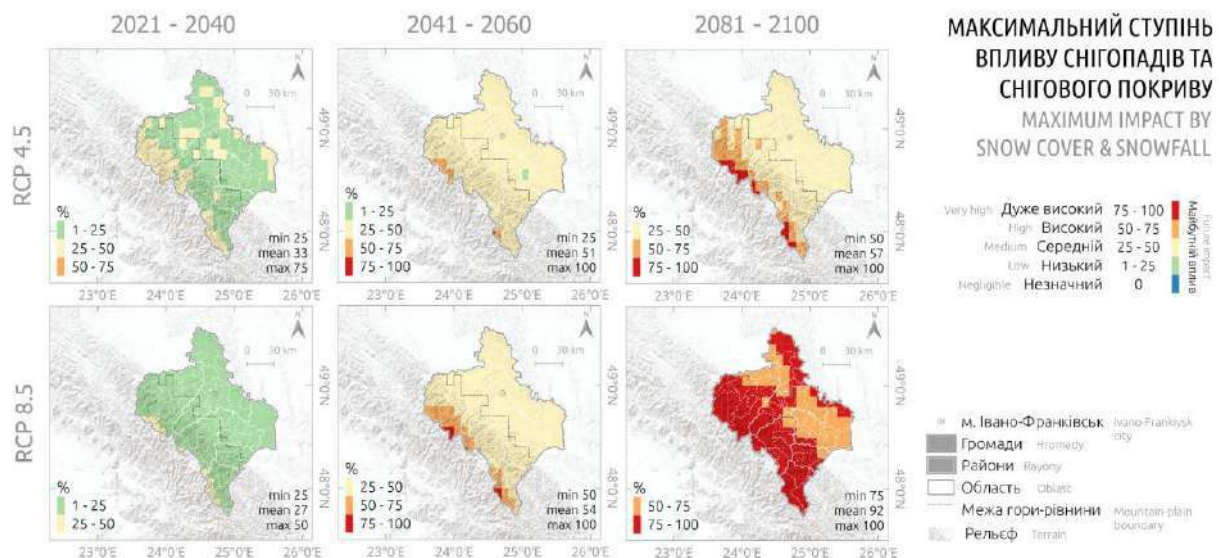


Рис. 3.3.10 Максимальний ступінь впливу снігопадів та снігового покриву

3.3.6. Зростання посухи

У найближчому майбутньому 2021-2040 за RCP 4.5 (рис. 3.3.11) на переважній рівнинній, а частині Івано-Франківської області буде низький зведений ступінь впливу посух, що становитиме 1-25%. Незначний вплив 0% буде характерним для району Карпат (Болехівська, Вигодська, частково Спаська та Перегінська громади Калуського району; Солотвинська громада Івано-Франківського району; Пасічнянська, Яремчанська, Ворохтянська громади Надвірнянського району; частково Верховинська, Зеленська громади Верховинського району; частково Яблунівська, Космацька громади Косівського району). Тоді як помірний ступінь впливу 25-50% буде характерний точково (частково Івано-Франківської та Тисменицької громад Івано-Франківського району). Тоді як за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 на переважній частині території буде відмічатися низький вплив 25% за виключенням сходу області, де значення будуть помірними 25-50% (Тлумацька, Олешанська, Обертинська громади Івано-Франківського району; Чернелицька, Городенківська, Снятинська громади Коломийського району). А незначний 0% відмічатиметься частково у високогір'ї Карпат (частково Спаська, Перегінська громади Калуського району, а також Солотвинська Івано-Франківського району).

На середину сторіччя 2041-2060 за сценарієм RCP 4.5 (рис. 3.3.11) буде переважати низький вплив 1-25% та зникне осередок із помірним впливом у порівнянні з попереднім періодом. Також зменшиться територія, що охоплена незначним ступенем впливу (Болехівська, Витвицька, частково Вигодська, Перегінська громади Калуського району; Солотвинська громада



Івано-Франківського району; частково Пасічнянська, Ворохтянська, Яремчанська громади Надвірнянського району; частково Верховинська, Зеленська громади Верховинського району). За сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 низький ступінь впливу посух 1-25%, тоді як на сході цей вплив буде помірним 25-50% (частково Городенківська, вся Заболотівська, Снятинська громади Коломийського району). Також дещо зростуть осередки під незначним впливом 0% (частково Вигодська, Спаська, Перегінська громада Калуського району; частково Пасічнянська, Ворохтянська громади Надвірнянського району; частково Верховинська, Зеленська громади Верховинського району).

У віддаленому майбутньому 2081-2100 за помірним сценарієм RCP 4.5 (рис. 3.3.11) буде переважати також низький ступінь впливу посух на сектори економіки Івано-Франківської області, що становитиме до 25%. Тоді як на сході цей ступінь впливу зростає до помірного 25-50% (Нижньовербізька, Матеївецька, Підгайчиківська, Гвіздецька, Заболотівська, Снятинська громади Коломийського району). Незначний ступінь впливу 0% буде спостерігатися частково в Карпатах (частково Болехівська, Витвицька, Спаська, Перегінська громади Калуського району). За RCP 8.5 територія Івано-Франківської області також переважатиме низький вплив 25%. Середній ступінь впливу 25-50% залишиться в окремих осередках на сході області (частково Городенківська, Снятинська громади Коломийського району). Незначний вплив 0% буде спостерігатися частково в Карпатах (частково Спаська, Перегінська громади Калуського району; частково Ворохтянська громада Надвірнянського району; частково Верховинська, Зеленська громади Верховинського району).

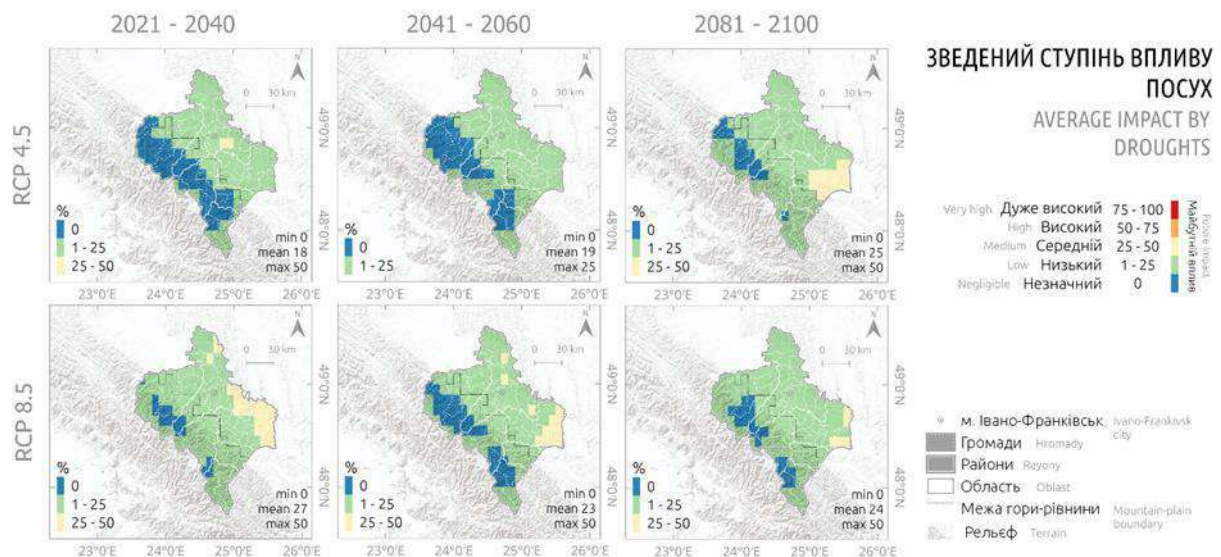


Рис. 3.3.11 Зведений ступінь впливу посух

Максимальний ступінь впливу є аналогічним до зведеного впливу (рис. 3.3.12).

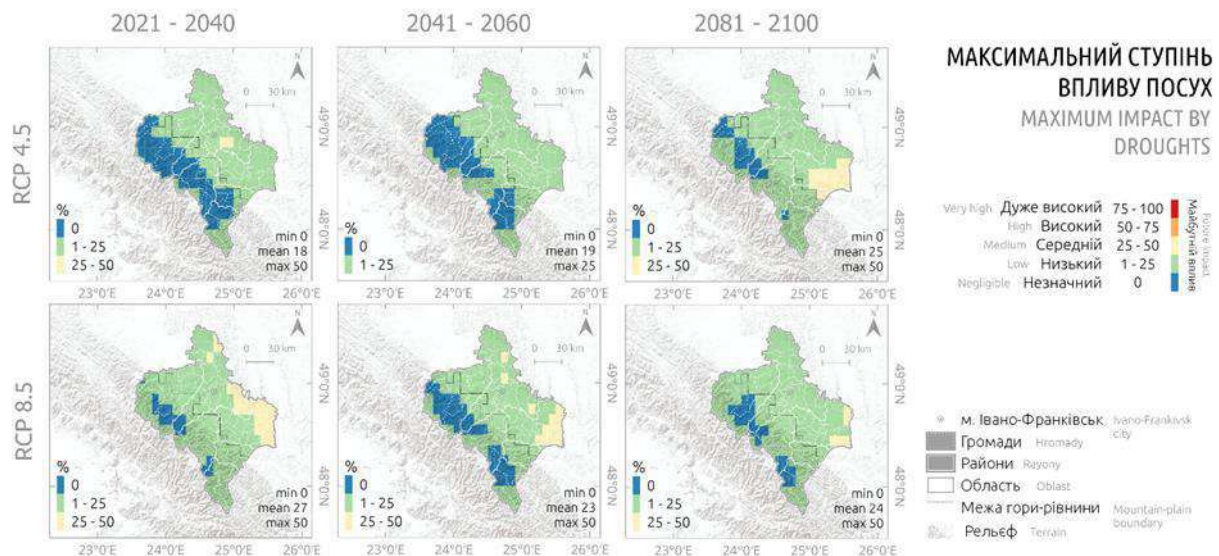


Рис. 3.3.12 Максимальний ступінь впливу посух

3.3.7 Максимальний в області ступінь впливу кліматичних

Для визначення, аналізу і порівняння максимальної вразливості і ризиків від зміни клімату для території Івано-Франківської області з іншими регіонами можна узагальнити отримані ступені впливу за категоріями чинників. Так 32 проаналізовані вище чинники кліматичного впливу були згруповані у 10 підкатегорій, які складаються з показників усередненого стану та екстремальності 4 категорій: спека та холод, зволоження та посушливість, снігопади та сніговий покрив і приземний вітер. В кожній підкатегорії визначався максимальний ступінь впливу від відповідних кліматичних чинників, які входили до даної підкатегорії і були об'єднані наступним чином:

1. Середня температура повітря (5 температур середніх місяців сезонів та за рік)
2. Екстремальна спека (3 показники)
3. Усереднені опади (5 сум опадів у середні місяці сезонів та за рік)
4. Дуже сильні опади (3 показники)
5. Посухи
6. Пожежонебезпечна погода
7. Річна сума опадів за снігопади та дні зі сніговим покривом (2 показники)
8. Дні з помірним снігопадом
9. Середня швидкість вітру
10. Пориви вітру

Таким чином, найбільше значення для підкатегорії чинника – 10%, коли його ступінь впливу сягає дуже високого. Якщо максимальний ступінь впливу чинника в підкатегорії виявлено як низький, середній чи високий, то, відповідно, внесок оцінено у 2,5%, 5% чи 7,5%. Очевидно, що разом всі 10 підкатегорій можуть скласти максимальний негативний вплив від зміни клімату у 100%, якщо в кожній підкатегорії якийсь з чинників досягатиме дуже високого ступеня впливу.

Узагальнені максимальні ступені впливу для Івано-Франківської області розраховувалися і аналізувалися окремо для гірської зони області, яка вища за 400 м над рівнем моря, та для всієї



іншої території, яка переважно рівнинна, так, як і в представлені окремих чинників кліматичного впливу.

Аналіз двох отриманих гістограм для Івано-Франківської області чітко демонструє спільне та відмінне в очікуваному негативному впливі від зміни клімату на цих різних територіях та впродовж XXI сторіччя за двома сценаріями RCP 4.5 і RCP 8.5.

Спільним є те, що максимальний вплив від збільшення дуже сильних опадів набуває максимального значення 10% на усій території області в усі періоди і за обома сценаріями. При цьому негативний вплив від зменшення кількості опадів у 2,5% отримано лише на кінець сторіччя для сценарію RCP 8.5 у Карпатах вочевидь через ймовірність зменшення кількості опадів у липні.

Також у Карпатах максимальний внесок 10% у загальний показник вносять зменшення снігового покриву за виключенням найближчого періоду 2021-2040, коли за сценарієм RCP 4.5 отримано 7,5%, за сценарієм RCP 8.5 половину від максимального - 5%, а також збільшення помірних снігопадів, яке не досягає максимальних 10% лише на середину сторіччя за RCP4.5 (7,5%) і на кінець сторіччя за RCP 8.5 (5%). На рівнинній частині області внесок від зміни снігового режиму менший від 12,5% на середину сторіччя за обома сценаріями і у 2021-2040 за RCP8.5 до 15% у всі інші періоди для обох сценаріїв.

Очікувано те, що на кінець сторіччя за сценарієм RCP 8.5 отримано максимальні внески сумарно 20% від підвищення середньої температури і екстремальної спеки по всій території області. У попередні періоди ці внески становили мінімально по 5%, але зростали швидше для Карпат і саме для екстремальної спеки, для якої отримано внесок у 7,5% в 4 з 6 представлених комбінацій сценаріїв та періодів на відміну від рівнинної території, де внески від зміни температурного режиму менші, особливо на середину сторіччя за сценарієм RCP 4.5.

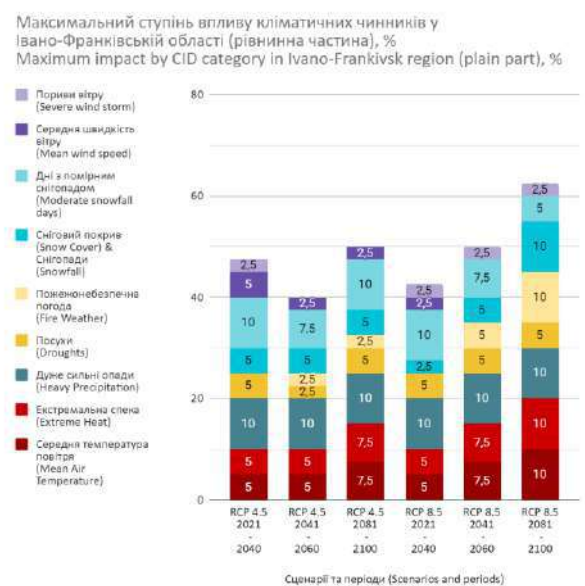
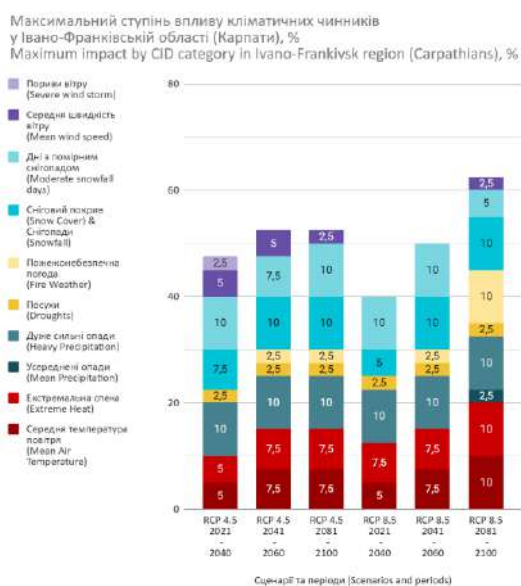


Рис. 3.3.13 Максимальний ступінь впливу кліматичних чинників у Івано-Франківській області (Карпати) (а) та рівнинна частина (б), %



Збільшення посух матиме однаковий максимальний вплив у 2,5% для всіх періодів і обох сценаріїв для Карпат, але удвічі більший вплив у 5% отримано для рівнинної території за виключенням середини сторіччя за сценарієм RCP 4.5. Внесок у 2,5% отримано для пожежонебезпечної погоди на середину і кінець сторіччя по всій території області за сценарієм RCP 4.5, тоді як за сценарієм RCP 8.5 на кінець сторіччя також по всій території області внесок цього чинника у загальний негативний вплив досягає максимуму у 10%.

Зміни у режимі вітру матимуть негативний вплив у всі періоди і для обох сценаріїв на рівнинній частині області, при цьому більшою мірою від збільшення днів з поривами вітру для сценарія RCP 8.5 і від збільшення середньої швидкості вітру за помірним сценарієм RCP 4.5 до 5% у найближчий період 2021-2040, коли сумарно із збільшенням днів з поривами вітру отримано максимальний внесок у 7,5% по всій території області. У Карпатах за сценарієм RCP 4.5 у всі періоди отримано внески від збільшення середньої швидкості вітру до 5% і лише 2,5% у період 2081-2100 за обома сценаріями.

У цілому у найближчий період 2021-2040 найбільший сумарний вплив від усіх категорій чинників кліматичного впливу виявлено за сценарієм RCP 4.5 (47,5% по всій області) на протизагальненні RCP 8.5 (40% у Карпатах і 42,5% на рівнинній частині). На середину сторіччя 2041-2060 значно зменшується негативний вплив на рівнинній частині за сценарієм RCP 4.5 до 40%, у той час як він значно підвищується у Карпатах до 52,5%. У цей період узагальнений максимальний негативний вплив за сценарієм RCP 8.5 для всієї території області становить 50%, які складаються із різних внесків на рівнинній частині (більше посушливість, пожежонебезпечна погода і пориви вітру) і у Карпатах, де отримано максимальні внески у 20% від зміни снігового режиму. Так само на кінець сторіччя у 2081-2100 за сценарієм RCP 8.5 отримано максимальний негативний вплив у 62,5% по всій області, але з невеликими відмінностями у внесках від посушливості і чинниках збільшення вітру. За сценарієм RCP 4.5 на кінець сторіччя негативний вплив значно менший (50% на рівнинній частині і 52,5% у Карпатах) переважно за рахунок менший внесків від зміни температурного режиму і пожежонебезпечної погоди (2,5% проти 10% за сценарієм RCP 8.5).



Посилання

1. Barsugli, J. J., Anderson, C., Smith, J. B., and Vogel, J. M. (2009). "Options for improving climate modeling to assist water utility planning for climate change." Final Report, Water Utility Climate Alliance, San Francisco, (http://www.wucaonline.org/assets/pdf/actions_whitepaper_120909.pdf) (Aug. 28, 2010)
2. Baum S., Horton S., Low Choy D., Gleeson B. *Climate change, health impacts and urban adaptability: Case study of Gold Coast City*. Urban Research Program Research. Monograph. 2009. 77p.
3. Beck, H., Zimmermann, N., McVicar, T., Vergopolan N., Berg A., Wood E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. Scientific Data. Vol. 5. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
4. Canadian Centre for Occupational Health and Safety. What is humidex? URL: https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/humidex.html
5. Christensen, J. H. Regional climate science: Findings of IPCC AR5 WG1. (2013). International Conference on Regional Climate – CORDEX 2013. Brussels, 4-7 November, 2013. URL: http://wcrp.ipsl.jussieu.fr/cordex2013_documents/ICRC2013_draft_agenda.pdf
6. Clarke L., Edmonds J., Jacoby H., Pitcher H., Reilly J., Richels R. (2007) CCSP synthesis and assessment product 2.1, Part A: scenarios of greenhouse gas emissions and atmospheric concentrations. U.S. Government Printing Office, Washington, DC. 212p.
7. Climate Change Indices Definitions of the 27 core indices. URL: http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml
8. Climate and Ocean - Variability, Predictability, and Change (CLIVAR). URL: <https://www.clivar.org/organization/etccdi/etccdi.php>
9. EURO-CORDEX - Coordinated Downscaling Experiment - European Domain. URL: <https://www.euro-cordex.net/index.php.en>
10. IPCC-WG1/ Atlas. CORDEX-EUR_day.csv. URL: https://github.com/IPCC-WG1/Atlas/blob/main/data-sources/CORDEX/CORDEX-EUR_day.csv
11. IPCC WGI Interactive Atlas. URL: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>
12. IPCC, 2014. The Fifth Assessment Report. URL: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>
13. IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems. Summary for Policymakers. (2019). URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/4.-SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf
14. IPCC, 2022. The Sixth Assessment Report. URL: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>
15. Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O.B., Bouwer, L.M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., van Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J.-F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., Yiou, P. EURO-CORDEX: New high-resolution climate change projections for European impact research (2014) Regional Environmental Change, 14 (2), pp. 563-578 <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
16. Karl, T.R., N. Nicholls, and A. Ghazi (1999). CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. Climatic Change. Vol.42p. 3-7.



17. Masterton, J., & Richardson, F. A. (1979). Humidex, a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity. Toronto, Canada: Environment Canada, Atmospheric Environment
18. Mekis É., Vincent L. A., Shephard M. W., Zhang X. Observed Trends in Severe Weather Conditions Based on Humidex, Wind Chill, and Heavy Rainfall Events in Canada for 1953–2012. *Atmosphere-Ocean*. 2015. Vol.53 (4). p.383–397 <http://dx.doi.org/10.1080/07055900.2015.1086970>
19. Peterson, T.C., and Co-authors: Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001. WMO, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneva, Switzerland, 143pp.
20. Peterson, T.C. (2005). Climate Change Indices. WMO Bulletin. Vol. 54 (2).p.83-86.
21. Riahi K., Gruebler A., Nakicenovic N. (2007) Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. *Technological Forecasting and Social Change*. Vol.74(7) p.887–935
22. Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho Ch., Chirkov V., Fischer G., Kindermann G., Nakicenovic N., Rafaj P. (2011) RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*. Vol. 109, 33 . <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0149-y>
23. Stainforth, D., Aina, T., Christensen, C. et al. (2005) Uncertainty in predictions of the climate response to rising levels of greenhouse gases. *Nature*. Vol. 433. pp. 403–406 . <https://doi.org/10.1038/nature03301>
24. Tegegne G, Melesse AM, Worqlul AW. Development of multi-model ensemble approach for enhanced assessment of impacts of climate change on climate extremes. *Sci Total Environ*. 2020 Vol. 704 doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135357
25. Thomson, A.M., Calvin, K.V., Smith, S.J., Kyle G. P., Volke A., Patel P., Delgado-Arias S., Bond-Lamberty B., Wise M. A., Clarke L. E., Edmonds J. A.(2011). RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. *Climatic Change* Vol. 109, 77 . <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0151-4>
26. The Earth System Grid Federation (ESGF). URL: <https://esgf-data.dkrz.de/projects/esgf-dkrz/>
27. The Earth System Grid Federation (ESGF). CORDEX dataset. URL: <https://esgf-data.dkrz.de/search/cordex-dkrz/>
28. What is the Humidex formula used to find subjective temperature as a function of both measured temperature and relative humidity? URL: <https://www.physlink.com/education/askexperts/ae287.cfm>
29. WMO. Guide to Agricultural Meteorological Practices. (2012) URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3996
30. WMO. Guide to Instruments and Methods of Observation Volume II – Measurement of Cryospheric Variables. (2018). URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9870
31. WGIIAR5-AnnexII.Glossary.URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-AnnexII_FINAL.pdf
32. WRCP. CORDEX. URL: <https://cordex.org/>
33. Економічна метеорологія. Шевченко О.Г., Сніжко С.І., Вітренко А.О. К.: Майстер книг, 2019. 352 с.
34. Economic meteorology. (2019))Shevchenko O.G., Snizhko S.I., Vitrenko A.O. K.: Maister Knyg. 352 p.



35. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату : Монографія. Степаненко, С. М., Польовий, А. М.,. Одеський державний екологічний університет. Одеса "ТЕС", 2018. 547с.
36. Klimatychni ryzyky funktsionuvannia haluzei ekonomiky Ukrainy v umovakh zminy klimatu. (2018) Monohrafiia. Stepanenko, S.M., Polovyi, A.M. Odesa State Environmental University. Odesa:"TES". 547 p.
37. Клімат України. Ред. В. Ліпінський, В. Дячук, В. Бабіченко. Київ: Вид-во Раєвського, 2003, 343 с.
38. Lipinsky, V., Dyachuk, V., & Babichenko, V. (Eds.). (2003). Climate of Ukraine. Kyiv: Rayevsky Publishing, 343 p. (in Ukrainian).
39. Краковська С.В., Паламарчук Л.В., Гнатюк Н.В., Шпиталь Т.М., Шедеменко І.П. Зміни поля опадів в Україні у XXI ст. за даними ансамблю регіональних кліматичних моделей. Геоінформатика. 2017. No 4 (64). С. 62—74
40. Krakovska, S.V., Palamarchuk, L.V., Gnatiuk, N.V., Shpytal, T.M. & Shedemenko, I.P. (2017). Changes in precipitation distribution in Ukraine for the 21st century based on data of regional climate model ensemble. Geoinformatika, (4), 62—74 (in Ukrainian)
41. Краковська С.В., Л.В. Паламарчук, Н.В. Гнатюк, Т.М. Шпиталь. Проекції приземної температури та відносної вологості повітря в областях України до середини XXI ст. за даними ансамблів регіональних кліматичних моделей. Геоінформатика. 2018. №3(67). С.62-77. Krakovska,S.V.,Palamarchuk,L.V., Gnatiuk,N.V., Shpytal,T.M. (2018) Projections of air temperature and relative humidity in Ukraine regions to the middle of the 21st century based on regional climate model ensembles. Geoinformatika. Vol.3 (67), 62-77.
42. Краковська С.В., ГнатюкН.В., ШпитальТ.М., ПаламарчукЛ.В. Проекції змін приземної температури повітря за даними ансамблю регіональних кліматичних моделей у регіонах України в XXI столітті. наук. праці УкрНДГМІ. 2016. Вип.268. С.33—44
43. Krakovska,S.V., Gnatiuk,N.V., Shpytal,T.M., & Palamarchuk,L.V. (2016). Projections of sur-face air temperature changes based on data of regional climate models' ensemble in the regions of Ukraine in the 21st century. Naukovi pratsi UkrNDHMI, (268), 33—44 (in Ukranian).
44. Краковська С.В., Паламарчук Л.В., Шпиталь Т.М. Електронні бази метеорологічних даних та результати чисельних кліматичних моделей у визначенні спеціалізованих кліматичних показників. Період. наук. зб.«Гідрологія, гідрохімія та гідроекологія» КНУ ім. Тараса Шевченка. Том 3 (42). 2016. С.95-105.
45. Krakovska S.V., Palamarchuk, L.V., Shpytal T.M. (2016) . Electronic databases and results of numerical simulations in defining specialized climate indices. Hydrology, hydrochemistry and hydroecology. Vol.3, 95-105 (In UKr.)
46. Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Агрометеорологічні спостереження. Київ, 2007. 362 с.
47. Nastanova hidrometeorologichnym stantsiiam i postam. Ahrometeorologichni sposterezhennia. (2007).Kyiv.362 p.
48. Паламарчук, Л.В., Краковська, С.В. Регіональні зміни клімату України: Методичні вказівки до навчального курсу для студентів географічного факультету спеціальності «Метеорологія та кліматологія». Київ, Прінт-Сервіс, 2018. 90с.
49. Palamarchuk, L.V. & Krakovska, S.V. (2018). Rehionalnizminy klimatu Ukrainy: Metodychni vkazivky donavchalnoho kursu dlia studentiv heohrafichnoho fakultetu/spetsialnosti



- «Meteorolohiia ta Klimatolohiia» [Regional climate change in Ukraine: training manual]. Kyiv: Print-Servis. (In Ukr.)
50. Польовий А.М., Божко Л.Ю., Вольвач О.В.. Основи агрометеорології. Одеський державний екологічний університет. Одеса: Видавництво ТЕС. 2012. 250с.
51. Polovyi, A.M., Bozhko L. Yu., Volvach O.V. (2012) Osnovy ahrometeorolohii. Odesa State Environmental University. Odesa: "TES". 250 p.
52. Розроблення оновлених сценаріїв зміни характеристик регіонального клімату України до кінця ХХІ ст. Звіт про НДР (заключний). К.: УГМІ. 2021. 255 с. № ДР 0119U001123.(остаточний)
53. Development of updated scenarios for changing of the regional climate characteristics in Ukraine by the end of the 21st century. Report on Rerearch project (final). К.:УНМІ. 255 p. №0119U001123
54. Шедеменко І.П., Краковська С.В., Гнатюк Н.В. Верифікація даних Європейської бази E-OBS щодо приземної температури та кількості опадів у адміністративних областях України. Наук. пр. УкрНДГМІ. 2012. № 262. С. 71-90.
55. Shedemenko I.P., Krakovska S.V., Gnatiuk N.V. (2012) Verification of surface temperature and precipitation from European gridded data set E-OBS for administrative regions in Ukraine. Naukovi pratsi UkrNDHMI, (262), 71-90 (in Ukrainian).
56. Швиденко А.З., Букша І.Ф., Краковська С.В. Уразливість лісів України до зміни клімату. Київ: Ніка-Центр, 2018. 184с.
57. Shvidenko, A.Z., Buksha, I.F., & Krakovska, S.V. (2018). Vulnerability of Ukraine's forests to climate change. Kyiv: Nika-Centre, 184 p. (in Ukrainian).

Additional information about models presented in (Chapter 3 about RCMs)

- 1) References for the detailed information about adjustments of RCMs for European region:
- 2) CLMcom (2016). CLMcom CORDEX data for Europe (EUR-11) based on CCLM4-8-17 model simulations. World Data Center for Climate (WDCC) at DKRZ. <http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=CXEU11CLCL>
hdl:21.14106/65c6e1e7d10dae63cfaf35b7d456c0973348be6f
- 3) SMHI (2017). cordex EUR-11 SMHI RCA4. World Data Center for Climate (WDCC) at DKRZ. <http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=CXEU11SMRCA4>
hdl:21.14106/5b6f4dfdf6e61d8ac8ea85dc968ff0921b17b8fc
- 4) KNMI (2017). cordex EUR-11 KNMI RACMO22E. World Data Center for Climate (WDCC) at DKRZ. <http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=CXEU11KNRA>
hdl:21.14106/3da82a0eabc05fbf334d180445f312d431b8b4b9
- 5) DMI (2017). cordex EUR-11 DMI HIRHAM5. World Data Center for Climate (WDCC) at DKRZ. <http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=CXEU11DMIH5>
hdl:21.14106/73f8fff0d315c72dbcb120e007414c687fbd3a98
- 6) IPSL-INERIS (2017). cordex EUR-11 IPSL-INERIS WRF331F. World Data Center for Climate (WDCC) at DKRZ. <http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=CXEU11IPWF>
hdl:21.14106/18e69890450ec5ddcf9fe7c25ec887625ce25623
- 7) GERICS (2017). cordex EUR-11 MPI-CSC REMO2009. World Data Center for Climate (WDCC) at DKRZ. <http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=CXEU11MCR1>
hdl:21.14106/64bf48fa23cae9263da6c76ece1872870bb14180



ДОДАТКИ

Додаток 1 – Загальна інформація про кліматичні моделі та отримані щоденні дані, включені до складу ансамблю сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 для території України

CORDEX-Adjust output					RCP4.5 & RCP8.5							
Id	GCM	Realisation	RCM	Adjustment (bias-correction)	tas	tmax	tmin	pr	prsn	snc	hurs	wsgs max
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	CNRM-CM5	r1i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17	v1-SMHI-DBS45-MESAN-1989-2010								
2	CNRM-CM5	r1i1p1	CNRM-ARPEGE51	v1-IPSL-CDFT21-WFDEI-1979-2005								
3	CNRM-CM5	r1i1p1	CNRM-ARPEGE51	v1-IPSL-CDFT22-WFDEI-1979-2005								
4	CNRM-CM5	r1i1p1	SMHI-RCA4	v1-IPSL-CDFT21-WFDEI-1979-2005								
5	CNRM-CM5	r1i1p1	SMHI-RCA4	v1-IPSL-CDFT22-WFDEI-1979-2005								
6	CNRM-CM5	r1i1p1	SMHI-RCA4	v1-SMHI-DBS45-MESAN-1989-2010								
7	EC-EARTH	r1i1p1	KNMI-RACMO22E	v1-IPSL-CDFT21-WFDEI-1979-2005								
8	EC-EARTH	r1i1p1	KNMI-RACMO22E	v1-IPSL-CDFT22-WFDEI-1979-2005								
9	EC-EARTH	r1i1p1	KNMI-RACMO22E	v1-SMHI-DBS45-MESAN-1989-2010								
10	EC-EARTH	r3i1p1	DMI-HIRHAM5	v1-IPSL-CDFT21-WFDEI-1979-2005								
11	EC-EARTH	r3i1p1	DMI-HIRHAM5	v1-IPSL-CDFT22-WFDEI-1979-2005								
12	EC-EARTH	r3i1p1	DMI-HIRHAM5	v1-SMHI-DBS45-MESAN-1989-2010								
13	EC-EARTH	r12i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17	v1-SMHI-DBS45-MESAN-1989-2010								
14	EC-EARTH	r12i1p1	SMHI-RCA4	v1-IPSL-CDFT21-WFDEI-1979-2005								
15	EC-EARTH	r12i1p1	SMHI-RCA4	v1-IPSL-CDFT22-WFDEI-1979-2005								
16	EC-EARTH	r12i1p1	SMHI-RCA4	v1-SMHI-DBS45-MESAN-1989-2010								
17	IPSL-CM5A-MR	r1i1p1	IPSL-INERIS-WRF331F	v1-IPSL-CDFT21-WFDEI-1979-2005								
18	IPSL-CM5A-MR	r1i1p1	IPSL-INERIS-WRF331F	v1-IPSL-CDFT22-WFDEI-1979-2005								
19	IPSL-CM5A-MR	r1i1p1	SMHI-RCA4	v1-IPSL-CDFT21-WFDEI-1979-2005								
20	IPSL-CM5A-MR	r1i1p1	SMHI-RCA4	v1-IPSL-CDFT22-WFDEI-1979-2005								
21	IPSL-CM5A-MR	r1i1p1	SMHI-RCA4	v1-METNO-QMAP-MESAN-1989-2010								
22	HadGEM2-ES	r1i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17	v1-SMHI-DBS45-MESAN-1989-2010								
23	HadGEM2-ES	r1i1p1	KNMI-RACMO22E	v2-SMHI-DBS45-MESAN-1989-2010								
24	HadGEM2-ES	r1i1p1	SMHI-RCA4	v1-SMHI-DBS45-MESAN-1989-2010								
25	HadGEM2-ES	r1i1p1	SMHI-RCA4	v1-IPSL-CDFT22-WFDEI-1979-2005								
26	MPI-ESM-LR	r1i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17	v1-METNO-QMAP-MESAN-1989-2010								
27	MPI-ESM-LR	r1i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17	v1-SMHI-DBS45-MESAN-1989-2010								
28	MPI-ESM-LR	r1i1p1	MPI-CSC-REMO2009	v1-IPSL-CDFT21-WFDEI-1979-2005								
29	MPI-ESM-LR	r1i1p1	MPI-CSC-REMO2009	v1-IPSL-CDFT22-WFDEI-1979-2005								
30	MPI-ESM-LR	r1i1p1	MPI-CSC-REMO2009	v1-SMHI-DBS45-MESAN-1989-2010								
31	MPI-ESM-LR	r1i1p1	SMHI-RCA4	v1a-SMHI-DBS45-MESAN-1989-2010								

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проєкт, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму





«Посилення спроможності регіональних та місцевих адміністрацій
щодо імплементації та виконання законодавства ЄС щодо охорони
навколишнього середовища та зміни клімату та розвитку
інфраструктурних проєктів - EuropeAid/140209/DH/SER/UA»



CORDEX-Adjust output					RCP4.5 & RCP8.5							
33	MPI-ESM-LR	r1i1p1	SMHI-RCA4	v1-IPSL-CDFT22-WFDEI-1979-2005								
34	MPI-ESM-LR	r2i1p1	MPI-CSC-REMO2009	v1-SMHI-DBS45-MESAN-1989-2010								
Data availability for different characteristics, marked with specific colours:												
	tas – daily mean air temperature, initial data given in K											
	tmax – daily maximum air temperature; tmin – daily minimum air temperature, initial data given in K											
	pr – daily precipitation flux, initial data given in kg/m ² /s											
	prsn – daily snowfall flux, initial data given in kg/m ² /s											
	hurs – relative humidity, initial data given in %											
	snc – daily surface snow area fraction, initial data given in %											
	wsgsmax – daily maximum near-surface wind speed of gust, initial data given in m/s											



«Посилення спроможності регіональних та місцевих адміністрацій
щодо імплементації та виконання законодавства ЄС щодо охорони
навколишнього середовища та зміни клімату та розвитку
інфраструктурних проєктів - EuropeAid/140209/DH/SER/UA»



Додаток 2 – Ступені впливу кліматичних чинників за категоріями IPCC

			IPCC Asset	Crop systems	Livestock and pasture system	Forestry	Grasslands and savanna + Temperate and boreal forests	Lakes, rivers and wetlands	Water quality Aquifers and groundwater Streamflow	Disaster management	Fisheries and aquaculture systems	Coastal land and intertidal zones	Recreation and tourism + Indigenous traditions & Built environment	Recreation and tourism + Mountains	Recreation and tourism + Coastal land and intertidal zones	Land and water transportation	Energy infrastructure	Morbidity	Built environment	Indigenous traditions & Built environment
CID (IPCC)	CID Category (IPCC)	Climatic Impact-Driver Name	Unit	Agriculture		Forestry	Biodiversity and ecosystems		Water management	Disaster management	Fisheries and aquaculture systems	Coastal areas	Tourism			Critical infrastructure		Health	Built environment	Cultural heritage
				Crop farming	Animal husbandry		Terrestrial ecosystems	Freshwater ecosystems	Water resources				Recreation and travel	Ski Tourism	Beach tourism	Land and water transport	Energy infrastructure			
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Heat and cold	Mean Air Temperature	↗ Annual Near-Surface Air Temperature change	°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
		↗ Winter Near-Surface Air Temperature change	°C	0,1	0,2	0,2	0,4	0,4	0,2	0,1	0,5	0,2	0,2	0,4	0,0	0,3	0,5	0,4	0,6	0,6
		↗ Spring Near-Surface Air Temperature change	°C	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,2	0,1	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,5	0,2	0,6	0,7	
		↗ Summer Near-Surface Air Temperature change	°C	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,2	0,5	0,4	0,5	0,2	0,8	0,3	0,6	0,4	0,6	
		↗ Autumn Near-Surface Air Temperature change	°C	0,1	0,2	0,4	0,4	0,4	0,3	0,1	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,5	0,1	0,6	0,6
		↘ Growing season change (5 degrees)	d/y	0,3	0,5	0,3	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		Extreme Heat	↗ Summer daily maximum mean air temperature change	°C	0,6	0,6	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,6	0,4	0,4	0,6	0,5
	↗ Days with maximum daily temprature (95th prcentile)		d/y	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,9	0,5	0,5	0,6	0,4	0,6	0,4	0,4	1,4	0,6	0,4
	↗ Tropical nights change		d/y	0,4	0,6	0,3	0,4	0,3	0,2	0,0	0,4	0,2	0,5	0,3	0,6	0,3	0,3	1,1	0,2	0,1
	↗ Humidex index		index	0,1	0,5	0,2	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,4	0,3	0,8	0,3	0,3	0,7	0,0	0,5
	Cold Spell	↗ Cooling Degree Days (CDD) change	dd/y	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,5	0,2	0,3	0,2	0,4	0,1
		↘ 5th prc_tasmin	°C	0,3	0,6	0,3	0,2	0,2	0,0	0,4	0,2	0,1	0,2	0,4	0,2	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2
	Frost	↗ Heating degree days	dd/y	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,3	0,2
		↗ Night frost change	d/y	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,5	0,3	0,2	0,5	0,0	0,4	0,1	0,1	0,2	0,2
			↗ Total frost (ice days) change	d/y	0,4	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	1,0	0,2	0,3	0,6	0,0	0,4	0,1	0,4	0,1
Wet and dry	Mean Precipitation	↗ Consecutive dry days – max dry spell (pr < 1 mm)	d/y	1,3	1,1	1,0	0,9	1,0	1,1	0,9	0,5	0,5	0,5	0,3	0,4	0,8	0,5	0,5	0,3	0,3
		↘ Annual Precipitation	%	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
		↘ Winter Precipitation	%	0,2	0,2	0,4	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,1	0,1	0,6	0,0	0,1	0,2	0,5	0,1	0,1
		↘ Spring Precipitation	%	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,2	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
		↘ Summer Precipitation	%	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,2	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,1	0,2	0,5	0,1	0,1
		↘ Autumn Precipitation	%	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,1	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Heavy Precipitation and Pluvial Flood	↗ Maximum 5-day precipitation change	mm	0,4	0,5	0,1	0,2	0,3	0,5	0,9	0,3	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,2	0,3	0,5	0,6
		↗ Maximum 1-day precipitation change	mm	0,5	0,3	0,1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	0,6	0,7	0,3	0,1	0,4	0,5
	Fire Weather	↘ Extreme pr99p	%	0,6	0,3	0,2	0,2	0,5	0,6	0,9	0,4	0,5	0,8	0,6	0,8	1,0	0,5	0,1	1,1	0,6
		↗ Fire Weather Index (FWI) > 30 (high and very high risk of forest fire) change	d/y	0,3	0,3	1,0	0,8	0,8	0,1	0,9	0,0	0,3	1,0	0,1	1,0	0,4	0,4	0,5	0,4	0,6
Snowfall and Snow cover	Snowfall	↘ days of snow cover > 30% decrease	d/y	0,4	0,1	0,2	0,4	0,3	0,5	0	0,2	0,1	0	1	0	0,0	0	0,0	0	0,2
		↗ moderate snowfall increase (ensmax > 10 mm/d)	d/y	0,1	0,1	0,4	0,3	0,1	0,1	0,6	0	0,1	0,5	0,5	0	0,6	0,7	0,0	0,4	0,2
		↘ Annual snowfall decrease	mm	0,2	0,1	0,3	0,3	0,5	0,5	0	0,1	0,3	0	0,7	0	0,0	0	0,0	0	0,3
Surface wind speed	Severe wind storm	↗ mean wind speed	m/s	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,6	0	0,1	0	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2
		↗ maximum wind speed	d/y	0,4	0,2	0,7	0,3	0,1	0	0,8	0,5	0,7	0,5	0,3	0,4	0,5	1	0,2	0,7	0,5
Coastal CID's	Extreme storm surge level (coastal flood)	↗ Sea Level Rise	m	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,5	0,1	0,3	1,0	0,1	0	0,2	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2
		↗ Extreme Storm Surge level	m	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4	0,3	0,8	0,8	1,3	0,3	0	0,4	0,7	0,6	0,3	0,4	0,6
Sum				10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00

Цей проєкт фінансується Європейським Союзом

Проект, реалізований ENVIROPLAN & EGIS та їхніми партнерами по консорціуму