



OVERALL CLIMATE CHANGE IMPACT ASSESSMENT FOR UKRAINE

УЗАГАЛЬНЕНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІНИ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ



Supported by:



on the basis of a decision
by the German Bundestag



The study was prepared by Dr. Svitlana Krakovska, climate adaptation expert, and Lidiia Kryshchuk, GIS Specialist, within Capacities for Climate Action Project implemented by Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH on behalf of the German Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK) under the International Climate Initiative (IKI) and co-financed by European Union.

Published by:

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Registered offices:

Bonn and Eschborn, Germany
Address
Postcode and town, country T +49 61 96 79-0
F +49 61 96 79-11 15
E info@giz.de
I www.giz.de/en

Legal address:

01004, Kyiv,
16B Antonovycha str., +38 044 594 07 60
+38 044 594 07 64 www.giz.de/ukraine-ua

ЗМІСТ

Вступ Introduction	3
Дані і методи Data and Methods	4
Історичний період Historical Period	5
Дані кліматичних моделей Climate Models' data	5
Сценарії зміни клімату Climate Change Scenarios	8
Адміністративно-географічний поділ України Administrative geographical subdivision of Ukraine	9
Чинники кліматичного впливу Climatic Impact Drivers	10
Типи загроз Types of Hazards	15
Спека і холод Heat and Cold	16
Підвищення середньої температури повітря Mean air temperature increase	16
Збільшення екстремальної спеки Extreme heat increase	20
Зволоження і посушливість Wet and Dry	23
Зменшення усереднених опадів Mean precipitation decrease	24
Збільшення екстремальних опадів Extreme precipitation increase	27
Збільшення посух Increase of Droughts	32
Збільшення пожежонебезпечної погоди Increase of Fire Danger Weather	35
Сніг Snow	39
Зменшення снігопадів та снігового покриву Snow cover & snowfall decrease	40
Збільшення помірних і сильних снігопадів Moderate and heavy snowfall increase	43
Вітер Wind	48
Підвищення середньої швидкості вітру Mean wind speed increase	48
Збільшення поривів вітру Wind gust increase	52
Прибережні Coastal	56
Підвищення відносного рівня моря Relative sea level rise increase	56
Збільшення висоти нагонних хвиль Extreme storm surge level increase	59
Максимальні загрози по регіонах Maximum Hazards by Regions	62
Захід West	63
Північ North	64
Центр Center	66
Схід East	68
Південь South	72
Прибережний Coastal	75
Кримські гори Crimean Mountains	77
Карпатські гори Carpathian Mountains	79
Рекомендації і наступні кроки Recommendations and further steps	81
Додаток Annex	83

Вступ | Introduction

Зміна клімату в світі розглядається як одна з найбільших загроз існуванню людства на планеті. Останні оцінки Міжурядової групи експертів зі зміни клімату при ООН та кількість і інтенсивність екстремальних гідрометеорологічних явищ в останнє десятиліття підтверджують цей невтішний висновок. Тому всі країни разом із зменшенням впливу на кліматичну систему шляхом зменшення викидів та відновлення природних поглиначів парникових газів вимушені також розробляти стратегії адаптації до нових кліматичних умов, в яких вони перебувають вже зараз, а також опиняться через подальшу зміну клімату в наступні десятиліття.

Зміна клімату в Україні відбувається так само, як і в інших частинах планети, прискорюючись в останні десятиліття. Для планування відновлення та розвитку України необхідні відповідні оцінки майбутніх кліматичних змін, а також пов'язані з ними ризики та вразливість екосистем, життєдіяльності людей і секторів економіки країни. Для цього розроблені і використовуються найновіші методи, а саме числове моделювання. Зокрема для аналізу майбутньої зміни клімату в Україні використані найдетальніші проєкції кліматичних характеристик до кінця XXI сторіччя з міжнародної ініціативи координованих експериментів регіональних кліматичних моделей (PKM) в Європі Euro-CORDEX. Змодельовані дані пройшли сучасні методи корекції відхилень (bias-correction) та застосування ансамблевого підходу.

У цьому документі представлена оцінка зміни клімату в Україні до кінця XXI сторіччя за двома сценаріями репрезентативних шляхів концентрацій

Climate change in the world is considered one of the greatest hazards to the existence of humanity on the planet. The latest assessments of the UN Intergovernmental Panel on Climate Change and the number and intensity of extreme hydrometeorological events in the last decade confirm this disappointing conclusion. Therefore, all countries, along with reducing their impact on the climate system by reducing emissions and restoring natural sinks of greenhouse gases, are also forced to develop strategies for adapting to the new climatic conditions in which they are already present, and will find themselves due to further climate change in the coming decades.

Climate change in Ukraine is occurring the same way as in other parts of the planet, and it has been accelerating in recent decades. Planning the restoration and development of Ukraine requires appropriate assessments of future climate change, as well as the associated risks and vulnerability of ecosystems, human activities and sectors of the country's economy. For this purpose, the latest methods have been developed and used, namely numerical modelling. In particular, for the analysis of future climate change in Ukraine, the most detailed projections of climate characteristics until the end of the 21st century from the international initiative of coordinated experiments of regional climate models in Europe Euro-CORDEX were used.

The simulated data underwent modern bias-correction methods and an ensemble approach has been used.

This document presents an assessment of climate change in Ukraine by the end of the 21st century under two scenarios of representative concentration of greenhouse

<p>парникових газів: помірним (RCP 4.5) та високим (RCP 8.5). Зміни оцінюються за п'ятьма географічними регіонами (Захід, Північ, Схід, Центр і Південь), кожен з яких об'єднує декілька областей України відповідно до кліматичного районування та подання прогнозів погоди, а також представлено окремо Карпатські та Кримські гори і прибережна територія. Всього проаналізовано 32 чинники кліматичного впливу, які розділені на п'ять категорій кліматичних загроз: спека і холод, зволоження і посушливість, режим снігу, вітровий режим та прибережні чинники. У кожній категорії розглядаються показники, які характеризують зміну середнього стану та екстремального відхилення в кліматичній системі, тобто в результаті отримано просторові розподіли для 10 основних загроз. Вони визначаються для трьох майбутніх 20-річних періодів: поточний (2021-2040), середина (2041-2060) та кінець сторіччя (2081-2100), порівняно з базовим періодом 1991-2010 років. Отримані загрози є першим кроком і базою для наступних кроків і оцінки вразливості та ризиків від зміни клімату для різних територій та економічних секторів України.</p>	<p>gas pathways: moderate (RCP 4.5) and high (RCP 8.5). Changes are assessed for five geographical regions (West, North, East, Center and South), which unite a few oblasts of Ukraine according to climatic zoning and reporting of weather forecasts, and the Carpathian and Crimean mountains and the coastal area are also presented separately. In total, 32 climatic impact drivers have been analyzed, which are divided into five categories of climate hazards: heat and cold, wet and dry, snow and wind regimes, and coastal factors. In each category, indicators characterizing the change in the average state and extreme deviation in the climate system are considered, i.e., spatial distributions for 10 main hazards are obtained. They are determined for three future 20-year periods: current (2021-2040), mid-century (2041-2060) and end-century (2081-2100), compared to the base period of 1991-2010. The hazards obtained are the first step and the basis for subsequent steps and assessments of vulnerability and risks from climate change for different territories and economic sectors in Ukraine.</p>
---	---

Дані і методи | Data and Methods

<p>В цьому підрозділі надано опис використаних даних моделей та методів їх обробки для отримання ступенів впливу, тобто, майбутніх загроз. Також наведені характеристики сценаріїв, визначення регіонів та градації ступенів впливу 32 кліматичних чинників.</p>	<p>This section describes the model data used and the methods for processing them to obtain impact levels, i.e. future hazards. It also provides scenario characteristics, regional definitions, and impact degrees for 32 climatic drivers.</p>
--	--

Історичний період | Historical Period

<p>Для історичного періоду 1991-2010 років використано дані європейської бази даних E-OBS v20.0e. Вона сформована на щоденних історичних інструментальних вимірах та спостереженнях метеорологічних станцій в усіх країнах Європи включно з Україною [https://www.ecad.eu/download/ensembles/download.php]. Для отримання кліматичних характеристик розробники цієї бази проводили стандартні процедури перевірки на помилки всіх отриманих даних станцій, а також гомогенізацію і перерахунок даних у вузли регулярної сітки 0,1 градуса. Потрібно зауважити, що в якості базового вибирався саме історичний період 1991-2010 через те, що з 2014 року у зв'язку з анексією Криму та східних територій України Російською Федерацією багато метеорологічних станцій не працювали або не передавали виміри до українських та міжнародних центрів збору даних. Відповідно, якість історичних даних в E-OBS з 2014 року для сходу України і АР Крим знизилася. Також саме для періоду 1991-2010 дослідниками Українського гідрометеорологічного інституту проводилася верифікація даних E-OBS про температуру та опади, яка підтвердила, що вони відповідають вимірам на метеорологічних станціях.</p>	<p>For the historical period 1991-2010, data from the European database E-OBS v20.0e were used. It is formed on daily historical instrumental measurements and observations of meteorological stations in all countries of Europe, including Ukraine [https://www.ecad.eu/download/ensemble/download.php]. To obtain climatic characteristics, the developers of this database carried out standard procedures of checking for errors in all received station data, as well as homogenization and recalculation of data into 0.1-degree regular grid nodes. It should be noted that the historical period 1991-2010 was chosen as the base period because since 2014, due to the annexation of Crimea and the eastern territories of Ukraine by the Russian Federation, many meteorological stations have not been working or have not transmitted measurements to Ukrainian and international data collection centres. Accordingly, the quality of historical data in E-OBS since 2014 for eastern Ukraine and the Autonomous Republic of Crimea has decreased. Also, for the period 1991-2010, researchers from the Ukrainian Hydrometeorological Institute conducted verification of E-OBS temperature and precipitation data, which confirmed that they correspond to measurements at meteorological stations.</p>
--	---

Дані кліматичних моделей | Climate Models' data

<p>Для отримання кількісних оцінок зміни клімату впродовж XXI ст. використовувалися дані розрахунків регіональних кліматичних моделей міжнародної ініціативи зкоординованого експерименту в Європі Euro-CORDEX</p>	<p>To obtain quantitative estimates of climate change during the 21st century, data from regional climate model calculations of the International Initiative of a Coordinated Downscaling Experiment (CORDEX) on the European Domain Euro-CORDEX</p>
--	--

[<https://www.euro-cordex.net/index.php.en>; Jacob et al, 2014], (англ. Coordinated Downscaling Experiment - European Domain (CORDEX)) в межах проєкту глобального моделювання CMIP5 під керівництвом Всесвітньої програми дослідження клімату [<https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip5>]. Отримані дані усіх регіональних ініціатив CORDEX використані в 5-ій (AR5) та 6-ій (AR6) оціночних доповідях МГЕЗК, зокрема і в Інтерактивному Атласі МГЕЗК [<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>]. Розрахункова горизонтальна сітка РКМ має досить високу просторову роздільну здатність для європейської області моделювання - приблизно $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$, що наближено дорівнює 10-12 км. Дані про добову кількість опадів, середню, максимальну та мінімальну добові температури повітря, сніговий покрив і кількість опадів у вигляді снігу, середню швидкість та пориви вітру були використані як основа для розрахунку усіх чинників кліматичного впливу за винятком прибережних. Перелік РКМ з їхніми характеристиками щодо початкових даних глобальних кліматичних моделей та методів корекції відхилень наведено в Додатку. Різниця в кількості використаних РКМ для різних метеорологічних параметрів обумовлена їхньою відсутністю в базах даних. Але було відібрано аналогічні набори даних для двох RCP сценаріїв, щоб розраховані характеристики можна було порівнювати між собою. 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/>

[<https://www.euro-cordex.net/index.php.en>; Jacob et al, 2014] were used within the framework of the CMIP5 global modelling project under the leadership of the World Climate Research Program [<https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip5>]. The obtained data from all regional CORDEX initiatives were used in the 5th (AR5) and 6th (AR6) assessment reports of the IPCC, including in the IPCC Interactive Atlas [<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>]. The calculated horizontal grid of the RCM has a sufficiently high spatial resolution for the European domain - around $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$, which is approximately equal to 10-12 km. Data on daily precipitation, average, maximum and minimum daily air temperatures, snow cover and precipitation in the form of snow, average wind speed and gusts were used as the basis for calculating all climatic impact drivers except coastal ones. A list of RCMs with their characteristics including driving Global Climate Models, realizations, and methods for bias-corrections is given in the Appendix. The difference in the number of RCMs used for different meteorological parameters is due to their absence in the databases. However, similar data sets were selected for the two RCP scenarios so that the calculated characteristics could be compared with each other. The simulated historical and projected daily data are obtained from the Earth System Grid Federation (ESGF) data bank, which houses the largest archive of simulated and historical climate data [<https://esgf-data.dkrz.de/projects/esgf-dkrz/>];
;
<https://esgf-data.dkrz.de/search/cordex-dkrz/>]. The volume of downloaded data for the territory of Ukraine reaches several terabytes. The bias-adjustment of the RCM errors was performed using the delta method by adding the differences for the climatic

1. Обсяг завантажених даних для території України сягає кількох терабайт. Корекція похибок РКМ («bias-adjustment») виконувалася дельта-методом шляхом додавання різниць для чинників кліматичного впливу, розрахованих за показниками температур, у майбутні періоди до значень базового періоду 1991-2010, розрахованих за даними бази E-OBS v20.0e. Для чинників, які розраховувалися на основі кількості опадів, історичні показники, розраховані за даними бази E-OBS, множилися на розраховані відношення значень за РКМ у майбутні періоди до базового 1991-2010. Таким чином розраховували багаторічні значення показників за кожною моделлю для чотирьох 20-річних періодів 1991-2010, 2021-2040, 2041-2060, 2081-2100 та для двох сценаріїв (RCP 4.5, RCP 8.5). Після зазначеної корекції, яка дозволяла позбутися систематичних похибок кожної моделі, усереднювали отримані значення чинників кліматичного впливу за ансамблем РКМ.

Для оцінки зміни рівня Чорного та Азовського морів на північному узбережжі використано дані базового періоду та майбутніх проєкцій з проєкту EU JRC LISCOAST "Large Scale Integrated Sea-level and Coastal Assessment Tool" ("Великомасштабний інтегрований інструмент оцінки рівня моря та прибережних територій").

Набори даних представляють собою змодельований розподіл загального рівня води вздовж узбережжя (англ. Total Water Level, TWL). TWL вираховується з динамічного моделювання головних гідродинамічних компонентів рівня моря (середній рівень моря, припливи, штормові нагони та хвилі), отриманих з ансамблю 6-ти кліматичних моделей для періоду від 01/12/1969 до 30/11/2004 (базовий період) та з ансамблю з 8-ми кліматичних моделей для періоду від

impact drivers calculated based on temperature indicators in future periods to the values of the base period 1991-2010 calculated using the database E-OBS v20.0e. For the drivers calculated based on precipitation, the historical indicators calculated using the E-OBS database were multiplied by the calculated ratios of the values of the RCM in future periods to the base period 1991-2010. In this way, multi-year values of the indicators were calculated for each model for four 20-year periods 1991-2010, 2021-2040, 2041-2060, 2081-2100 and for two scenarios (RCP 4.5, RCP 8.5). After the specified bias correction, which allowed us to get rid of the systematic errors of each model, the obtained values of climatic impact drivers were averaged over the RCM ensemble. To assess the change in the level of the Black and Azov Seas on the northern coast, baseline and future projection data from the EU JRC LISCOAST project "Large Scale Integrated Sea-level and Coastal Assessment Tool" were used. The datasets represent the simulated distribution of the total water level (TWL) along the coast. TWL is calculated from dynamic simulations of the main hydrodynamic components of sea level (mean sea level, tides, storm surges and waves) obtained from an ensemble of 6 climate models for the period from 01/12/1969 to 30/11/2004 (baseline period) and from an ensemble of 8 climate models for the period from 1/12/2009 to 30/11/2099 for the beginning (2021 - 2040), middle (2041 - 2060) and end (2081 - 2100) of the century for the RCP 4.5 (moderate level) and RCP 8.5 (high level) scenarios. To assess the extremes of coastal drivers, data on the maximum height of surge waves in 6 event recurrence periods were used: once every 20, 50, 100, 200, 500, 1000 years according to the Peak Over Threshold (POT) approach.

1/12/2009 до 30/11/2099 на початок (2021 - 2040), середину (2041 - 2060) та кінець (2081 - 2100) сторіччя для сценаріїв RCP 4.5 (помірний рівень) та RCP 8.5 (високий рівень). Для оцінки екстремальності прибережних чинників використовували дані про максимальну висоту нагонних хвиль у 6 періодів повторюваності події: раз на 20, 50, 100, 200, 500, 1000 років відповідно до підходу Пікового Перевищення Порогу (англ. Peak Over Threshold, POT).

Сценарії зміни клімату | Climate Change Scenarios

Оцінки впливу зміни клімату в Україні до кінця XXI ст. отримано за двома сценаріями шляхів репрезентативних концентрацій RCP 4.5 і RCP 8.5. Саме для цих сценаріїв для території України очікуються найбільші зміни і відповідно впливи кліматичних чинників. Кліматичні проєкції включають у себе деякі припущення щодо ймовірної зміни клімату у майбутньому залежно від обраної кліматичної політики щодо викидів парникових газів (ПГ), аерозолів та інших домішок в атмосферу і зміни в землекористуванні. RCP 4.5 має пік радіаційного впливу у $4,5 \text{ Вт}^*\text{м}^{-2}$ і з прогнозованим підвищенням аномалії глобальної приземної температури повітря на $2,4\text{--}2,8^\circ\text{C}$ до кінця XXI століття. RCP 8.5 передбачає т.з. сценарій «бізнес як зазвичай» з найбільш «песимістичним» розвитком або шляхом високих концентрацій з підвищенням радіаційного впливу до $8,5 \text{ Вт}^*\text{м}^{-2}$ і вище і з найбільшим глобальним потеплінням, коли прогнозована глобальна приземна температура повітря зростає на більш ніж 4°C до кінця сторіччя. [Riahi et al., 2007; Riahi et al., 2011; Christensen, 2013;

Assessment of the impact of climate change in Ukraine by the end of the 21st century was obtained under two scenarios of Representative Concentration Pathways RCP 4.5 and RCP 8.5. For these scenarios, the greatest changes and, accordingly, the effects of climatic drivers are expected for the territory of Ukraine. Climate projections include assumptions about the likely future climate change depending on the chosen climate policy regarding greenhouse gas (GHG) emissions, aerosols and other pollutants into the atmosphere and changes in land use. RCP 4.5 has a peak radiative forcing of $4.5 \text{ W}^*\text{m}^{-2}$ and a projected increase of the global surface air temperature by $2.4\text{--}2.8^\circ\text{C}$ by the end of the 21st century. RCP 8.5 predicts the so-called “business as usual” scenario with the most “pessimistic” development or high concentration pathway with an increase in radiative forcing to $8.5 \text{ W}^*\text{m}^{-2}$ and above and with the greatest global warming when the projected global surface air temperature increases by more than 4°C by the end of the century. [Riahi et al., 2007; Riahi et al., 2011; Christensen, 2013; Thomson et al., 2018;

Thomson et al., 2018;
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/01/SYRAR5-Glossary_en.pdf].

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/01/SYRAR5-Glossary_en.pdf].

Адміністративно-географічний поділ України | Administrative geographical subdivision of Ukraine

Для оцінок впливу зміни клімату територія України була поділена на 5 основних географічних регіонів із врахуванням адміністративного поділу, однотипності прояву кліматоутворювальних чинників та відповідно подібності кліматичних умов:

- в регіон **Захід** увійшли Рівненська, Волинська, Львівська, Закарпатська, Тернопільська, Хмельницька, Чернівецька та Івано-Франківська області;
- у **Північ** увійшли Житомирська, Київська, Чернігівська і Сумська області;
- в регіоні **Схід** Харківська, Луганська і Донецька області;
- в **Центрі** Полтавська, Дніпропетровська, Кіровоградська, Черкаська і Вінницька області;
- і у регіоні **Південь** – Запорізька, Миколаївська, Херсонська, Одеська області та АР Крим

Також на території України виділяються три специфічні географічні зони, а саме дві гірські території **Карпатських** і **Кримських** гір, які визначалися за висотою більше за 400 м над рівнем моря, а також **Прибережна** територія Чорного і Азовського морів як території вздовж узбережь та лиманів з буфером 0,1° берегової лінії.

Розташування зон із зазначеною кількістю вузлів сітки, за якою

To assess the impact of climate change, the territory of Ukraine was divided into 5 main geographical regions, taking into account the administrative division, the uniformity of the manifestation of climate-forming factors and, accordingly, the similarity of climatic conditions:

- the **West** region included Rivnenska, Volynska, Lvivska, Zakarpatska, Ternopilska, Khmelnytska, Chernivetsa and Ivano-Frankivska oblasts;
- the **North** included Zhytomyrska, Kyivska, Chernihivska and Sumska oblasts;
- the **East** region included Kharkivska, Luhanska and Donetska oblasts;
- the **Center** included Poltavska, Dnipropetrovska, Kirovohradska, Cherkaska and Vinnytska oblasts;
- and in the **South** region – Zaporizska, Mykolaivska, Khersonska, Odeska oblasts and the Autonomous Republic of Crimea

Also, three specific geographical zones are distinguished on the territory of Ukraine, namely two mountainous territories of the **Carpathian** and **Crimean** Mountains, which were determined by their height of more than 400 m above sea level, as well as the **Coastal** territory of the Black and Azov Seas as areas along coasts and estuaries with a buffer of 0.1° from the coastline.

The location of the zones with the specified number of grid nodes, which were used to determine the statistical characteristics of

визначалися статистичні характеристики регіонів, представлено на рис.1.

the regions, is presented in Fig. 1.

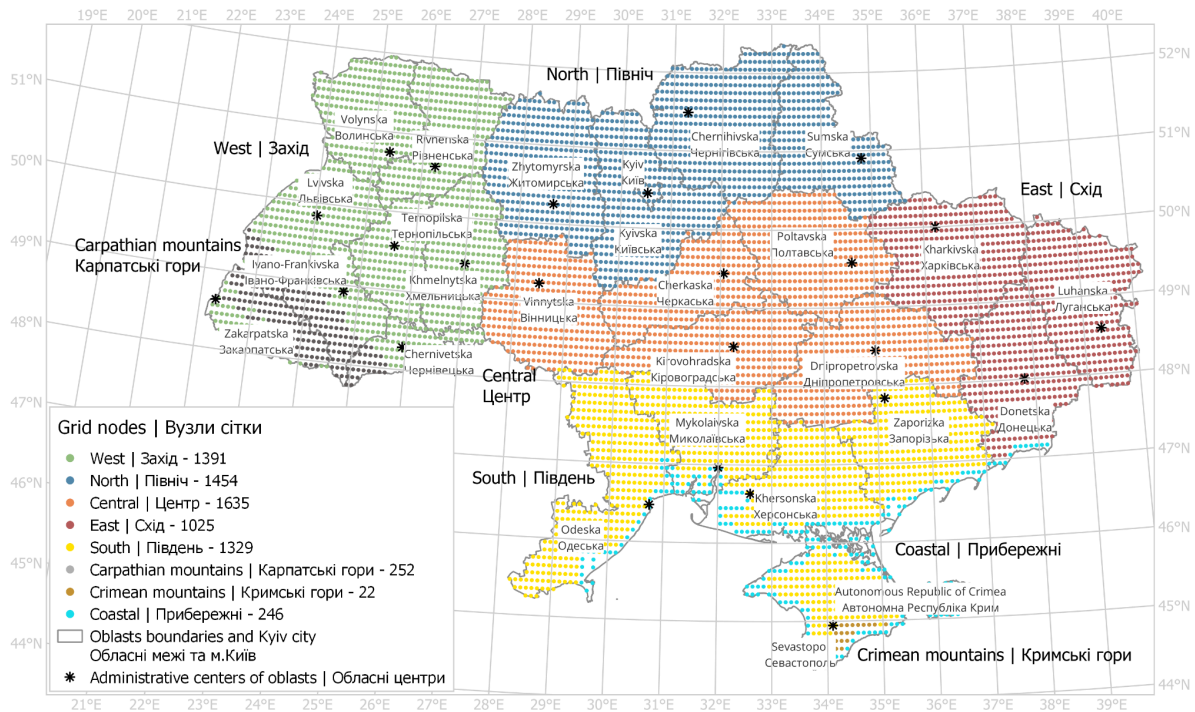


Рис.1. Регіони для оцінки ступенів впливу зміни клімату. Наведено кількість вузлів сітки РКМ для кожного регіону

Fig. 1. Regions for assessing the degree of climate change impact. The number of RCM grid nodes for each region is given.

Чинники кліматичного впливу | Climatic Impact Drivers

Термін «чинник кліматичного впливу» було введено в WGI AR6, і згідно з глосарієм МГЕЗК (авт. переклад) це «фізичні умови кліматичної системи (наприклад, усереднені показники, події, екстремуми), які впливають на елемент суспільства або екосистеми. Залежно від вразливості та стійкості системи, чинники та їхні зміни можуть бути шкідливими, корисними, нейтральними або сумішшю кожного з взаємодіючих системних елементів і регіонів».

The term “Climatic impact-driver” has been introduced in WGI AR6 and according to the IPCC Glossary, it is “Physical climate system conditions (e.g., means, events, extremes) that affect an element of society or ecosystems. Depending on system tolerance, CIDs and their changes can be detrimental, beneficial, neutral or a mixture of each across interacting system elements and regions.” In total, 32 CIDs were considered (see Table 1), which were divided into 5 types, from which 14 categories were selected

У цілому розглядалося 32 чинники (див. табл.1), що розподілялися на 5 типів, в яких було вибрано 14 категорій, які відповідають клімату України, згідно до класифікації МГЕЗК (Tabl.12.1 WGI AR6).

У першу чергу це такі типи:

- спека та холод (середні та екстремальні показники температурний режиму),
- зволоження та посушливість (середні та екстремальні чинники),
- сніг з сніговим покривом (середні показники та екстремальні снігопади),
- вітер (середня швидкість та пориви),
- прибережні (висота рівня моря і нагонних хвиль).

Тобто, кожен з типів включає категорії, які характеризують зміни як усереднених, так і екстремальних чинників кліматичного впливу.

Таким чином всього проаналізовано 32 показники, майже половина з яких 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 поточний період 2021-2040.

from the IPCC classification (Table 12.1 WGI AR6) that correspond to the climate of Ukraine.

First of all, these are the following types:

- heat and cold (average and extreme indicators of the temperature regime),
- wet and dry (average and extreme characteristics),
- snow with snow cover (average indicators and extreme snowfalls),
- wind (average speed and gusts),
- coastal (sea level and surge wave heights).

Thus, each of the types includes categories that characterize changes in both average and extreme states of the climate system.

Thus, a total of 32 indicators were analyzed, almost half of which characterize the temperature regime. Namely, five CIDs characterize the negative impact of an increase in average air temperature: annual and in the central months of all seasons (January, April, July and October), and there is also a negative impact from a decrease in the growing season length. Also, four CIDs that characterize the negative impact of an increase in heat indices are based on daily maximum and minimum air temperatures. To assess the negative impact of climate change, two out of 4 indicators were also selected, which relate to a possible increase in cold waves and, accordingly, an increase in the heating period length, and the number of frost and ice days, which cannot be excluded even with a general warming, especially in the coming next decade of the current period 2021-2040.

The category "wet and dry" also includes factors that are based on the average amount of precipitation per year and in the central months of the season, while a negative impact is expected from a decrease in these average indicators, while for factors that characterize the extremes of the precipitation regime, the negative

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, негативний вплив відповідає їхньому підвищенню. 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 значення 30 для індексу Fire Weather Index (FWI) .

В категорію чинників, які характеризують сніговий покрив, включено два, що базуються на усереднених показниках (річна сума опадів у вигляді снігу і кількість днів із 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 Боффорта (10,8 м/с).

Прибережні показники підняття рівня моря та висоти нагонних хвиль визначалися за даними глобальної моделі Joint Research Center (JRC) LISCOAST для всіх узбережь Світового океану. Негативний вплив відповідав збільшенню значень обох чинників.

impact corresponds to their increase. To assess the degree of impact of increased aridity, an index is used that characterizes the maximum duration of the dry period.

This category also includes an index of an increase in the number of days with fire-danger weather conditions, which was determined by days with existence of 30 for the Fire Weather Index (FWI).

The category of snow with snow cover includes two CIDs, which are based on average indicators (annual amount of precipitation in the form of snow and the number of days with snow cover over 30% of the territory), a decrease in which indicates a negative impact, and to assess changes in extremes, an increase in the number of days with snowfall over 10 mm per day is included.

The negative impact of changes in the wind regime was estimated by an increase in the average wind speed, as well as the number of days per year with wind gusts exceeding 6 balls on the Beaufort scale (10.8 m/s).

Coastal CIDs are sea level rise and surge wave heights determined using the Joint Research Center (JRC) LISCOAST global model for the entire ocean coast. The negative impact corresponded to the increasing value of both drivers.

Таблиця 1. Чинники кліматичного впливу за типами і категоріями МГЕЗК із визначеними напрямками (стрілки) і градаціями (колір і межі значень) негативного впливу

Table 1. Climatic impact drivers by the IPCC types and categories with defined directions (arrows) and gradations (colour and limits) of negative impact

IPCC CID	IPCC CID Category	CID Name	Unit	Незначний (Negligible)	Низький (Low)	Середній (Medium)	Високий (High)	Дуже високий (Very high)
				0%	25%	50%	75%	100%
СПЕКА ТА ХОЛОД (HEAT AND COLD)	↗ СЕРЕДНЯ ТЕМПЕРАТУРА ПОВІТРЯ (MEAN AIR TEMPERATURE)	↗ Середня температура повітря за рік (Annual near-surface air temperature)	°C	0,5	1,0	2,0	4,0	
		↗ Середня температура повітря за січень (January mean air temperature)	°C	0,5	1,0	2,0	4,0	
		↗ Середня температура повітря за квітень (April mean air temperature)	°C	0,5	1,0	2,0	4,0	
		↗ Середня температура повітря за липень (April mean air temperature)	°C	0,5	1,0	2,0	4,0	
		↗ Середня температура повітря за жовтень (October mean air temperature)	°C	0,5	1,0	2,0	4,0	
	↗ ЕКСТРЕМАЛЬНА СПЕКА (EXTREME HEAT)	↘ Тривалість вегетаційного періоду (Growing season length)	d/y	-2	-5	-10	-15	
		↗ Середня за літо максимальна добова температура повітря (Mean of maximum daily air temperature in summer)	°C	0,5	1,0	2,0	4,0	
		↗ Кількість днів з дуже сильною та екстремальною спекою (Days with very high and extreme heat)	d/y	5	10	20	30	
		↗ Тропічні ночі (Tropical nights)	d/y	10	20	30	50	
		↗ Індекс Гумідекс для середніх максимальних температур повітря влітку (Humidex index for the mean maximum air temperatures in summer)	index	25	30	35	40	
	↗ ХВИЛІ ХОЛОДУ (COLD SPELL)	↘ Температура дуже холодних днів у зимові місяці (The temperature of very cold days in the winter months)	°C	-0,5	-1,0	-2,0	-4,0	
		↗ Градусодні опалювального періоду (Heating degree days)	dd/y	50	100	200	300	
↗ МОРОЗИ (FROST)		↗ Дні з морозом (Frost days)	d/y	0	5	10	20	
	↗ Морозні дні (Ice Days)	d/y	5	10	20	30		
ЗВОЛОЖЕННЯ ТА ПОСУШЛИВІСТЬ (WET AND DRY)	↘ УСЕРЕДНЕНІ ОПАДИ (MEAN PRECIPITATION)	↘ Кількість опадів за рік (Annual precipitation)	%	-5	-10	-15	-20	
		↘ Кількість опадів за січень (January precipitation)	%	-5	-10	-15	-20	
		↘ Кількість опадів за квітень (April precipitation)	%	-5	-10	-15	-20	
		↘ Кількість опадів за липень (July precipitation)	%	-5	-10	-15	-20	
		↘ Кількість опадів за жовтень (October precipitation)	%	-5	-10	-15	-20	
	↗ ЗЛИВИ ТА ДОЩОВІ ПАВОДКИ (HEAVY PRECIPITATION AND PLUVIAL FLOOD)	↗ Максимальна кількість опадів за 5 днів (Maximum 5-day precipitation)	mm	5	10	15	20	
		↗ Максимальна кількість опадів за добу (Maximum 1-day precipitation)	mm	2,5	5,0	7,5	10,0	
↗ ПОСУХИ (DROUGHTS)	↗ Щорічна кількість дуже сильних опадів (Very heavy precipitation annual sums)	%	0	10	20	30		
	↗ Максимальна тривалість посухи за 20-річчя (Maximum duration of drought in 20 years)	d/y	30	40	50	60		
СНІГ (SNOW)	↘ СНІГОПАДИ ТА СНІГОВИЙ ПОКРИВ (SNOW COVER & SNOWFALL)	↘ Річна сума опадів у вигляді снігу (ANNUAL SNOWFALL)	mm	-3	-10	-20	-30	
		↘ Кількість днів з часткою снігового покриття ≥30% (NUMBER OF DAYS WITH SNOW COVER ≥ 30%)	d/y	0	-20	-40	-60	
	↗ Кількість днів зі снігопадом ≥ 10 мм за добу (DAYS WITH SNOWFALL ≥ 10 MM PER DAY)	d/y	0,1	0,3	0,5	1,0		
ВІТЕР (WIND)	↗ СЕРЕДНЯ ШВИДКІСТЬ ВІТРУ (MEAN WIND SPEED)	m/s	0,01	0,10	0,20	0,30		
	↗ ПОРИВИ ВІТРУ ≥ 10.8 М/С (6 БОФОРТ) (Wind gust ≥ 10.8 M/C (6 BEAUFORT))	d/y	0,1	2,0	3,0	4,0		
ПРИБЕРЕЖНІ (COASTAL)	↗ ВІДНОСНИЙ РІВЕНЬ ПІДНЯТТЯ МОРЯ (RELATIVE SEA LEVEL RISE)	m	0,05	0,15	0,30	0,45		
	↗ ЕКСТРЕМАЛЬНА ВИСОТА НАГОННИХ ХВИЛЬ (ПРИБЕРЕЖНЕ ПІДТОПЛЕННЯ) (EXTREME SURGE STORM LEVEL (COASTAL FLOOD))	m	2,0	2,5	3,0	3,5		

Типи загроз | Types of Hazards

Визначення загроз і ступеня впливу кліматичних чинників, добуток яких із чутливістю та перебуванням територій, секторів економіки чи населення в зоні дії загрози, дозволить визначити майбутні ризики та вразливість зазначених активів чи життєдіяльності людини до зміни клімату. Таким чином, першим кроком в оцінці ризиків і вразливості завжди є визначення загрози від зміни клімату. Для України загрози визначено на основі аналізу 32 чинників кліматичного впливу, які об'єднані за типами в декілька категорій. Так тип спека і холод об'єднує 4 категорії (середня температура, екстремальна спека, мороз і хвиля холоду), зволоження і посушливість також 4 категорії (середня кількість опадів, екстремальні опади, посухи і пожежонебезпечна погода), по 2 категорії, які характеризують усереднені та екстремальні показники, в інших трьох типах чинників: сніг, вітер і прибережні. Враховуючи, що із глобальним потеплінням, яке очікується за усіма сценаріями, не було знайдено негативного впливу від зміни чинників, які пов'язані із холодом, тобто ні зменшення температури взимку дуже холодних днів, ні збільшення градусоднів опалювального періоду і днів з морозом та морозних днів (див. Табл.1), то ці 2 категорії вилучені із аналізу за відсутністю майбутніх загроз. Також оскільки тривалість періоду вегетації не зменшуватиметься за сценаріями, то цей чинник також вилучено із визначення загроз.

Таким чином, загрози визначалися у наступних категоріях (Табл.1):

1. Середня температура повітря (5 показників: температури середніх місяців сезонів та за рік)

Determining the hazards and the degree of impact of climatic drivers, the multiplication of which by the sensitivity and exposure of territories, sectors of the economy or population in the zone of hazard, will allow determining future risks and vulnerability of the specified assets or human life to climate change. Thus, the first step in assessing risks and vulnerability is always to determine the hazard from climate change. For Ukraine, hazards are determined based on the analysis of 32 climatic impact-drivers, which are combined by type into several categories. Thus, the type of heat and cold combines 4 categories (average temperature, extreme heat, frost and cold waves), wet and dry also 4 categories (average precipitation, extreme precipitation, drought and fire-danger weather), 2 categories each, which characterize average and extreme indicators, in the other three types of factors: snow, wind and coastal. Given that with the global warming expected under all scenarios, no negative impact was found from changes in factors related to cold, i.e. neither a decrease in the temperature of very cold days in winter, nor an increase in the degree days of the heating period and days with frost and ice days (see Table 1), these 2 categories were excluded from the analysis due to the absence of future hazards. Also, since the growing season length will not decrease under the scenarios, this CID was also removed from the determination of hazards. Thus, the hazards were defined in the following categories (Table 1):

1. Mean air temperature (5 indicators: temperatures of middle months of seasons and per year)
2. Extreme heat (5 different indicators)
3. Mean precipitation (5 indicators:

<ol style="list-style-type: none"> 2. Екстремальна спека (5 різних показників) 3. Усереднені опади (5 показників: суми 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 і сильним снігопадами 9. Середня швидкість вітру 10. Пориви вітру 11. Підняття середнього рівня моря 12. Висота нагоних хвиль <p>Дві останні категорії вочевидь мають вплив лише на прибережні території. Далі будуть розглянуті загрози за п'ятьма МГЕЗК типами: спека і холод, зволоження та посушливість, сніг, вітер і прибережні.</p>	<ol style="list-style-type: none"> precipitation sums in middle months of seasons and per year) 4. Very heavy precipitation (3 indicators) 5. Droughts 6. Fire-danger weather 7. Annual precipitation amount for snowfall and days with snow cover (2 indicators) 8. Days with moderate and heavy snowfall 9. Mean wind speed 10. Wind gusts 11. Mean sea level rise 12. Height of surge waves <p>The last two categories obviously have an impact only on coastal areas. Next, the hazards will be considered according to the IPCC five types: heat and cold, wet and dry, snow, wind and coastal.</p>
---	--

Спека і холод | Heat and Cold

<p>Для типу загрози спека і холод, як було вже зазначено, чинники кліматичного впливу категорій морозів та хвиль холоду не становитимуть загрози, оскільки за сценаріями зміни клімату не очікується їхнє збільшення. Таким чином, залишаються чинники, які характеризують зміну загального фону температурного режиму і становлять загрозу через підвищення середньої температури повітря та екстремальних показників.</p>	<p>As already noted, the climatic impact drivers of the frost and cold spells categories will not pose a hazard in future, since their increase is not expected under climate change scenarios. Thus, for the heat and cold hazard type, the climatic impact drivers that characterise the change in the general background of the temperature regime and considered as a hazard due to an increase in the average air temperature and extreme indicators remain.</p>
---	---

Підвищення середньої температури повітря | Mean air temperature increase

Для визначення загрози підвищення середньої температури повітря розглянуто 5 чинників кліматичного впливу: усереднені температури повітря за рік, а також у середні місяці сезонів (січень, квітень, липень і жовтень) для врахування неоднорідності потепління впродовж року.

Для зміни кожного з чинників в кожному вузлі сітки території України визначено вплив відповідно до меж 5 ступенів як наведено в Табл.1, які трансформовано у відсотки за квантилями від 0 до 100%. Після цього обрано найбільше значення із отриманих впливів усіх 5 чинників для кожного з трьох періодів (2021-2040, 2041-2060 і 2081-2100) за двома сценаріями (RCP 4.5 і RCP 8.5). Тобто, таким чином отримано максимальний ступінь впливу, який і визначає загрозу в категорії підвищення середньої температури повітря, яка представлена на карті рис.2 у відсотках від максимальної, якій відповідає дуже високий вплив і загроза на кінець сторіччя за сценарієм RCP 8.5.

Загроза на середину сторіччя за сценарієм найбільших концентрацій очікується на рівні високої так само, як і на кінець сторіччя за сценарієм помірних концентрацій RCP 4.5. Загроза підвищення температури за сценарієм високих концентрацій у період 2021-2040 по всій країні середня, а за сценарієм помірним концентрацій очікується також переважно середня загроза майже для всієї території України як у поточний період, так і на середину сторіччя. У поточний період за сценарієм RCP 4.5 низька загроза впливу цього чинника отримана у Карпатах, у майже всій Львівській, гірській частині Івано-Франківської, на крайньому заході Закарпатської і частково у Донецькій областях, а на середину сторіччя - на півдні Луганської і Донецької, а також

To determine the hazard of an increase in average air temperature, 5 climatic impact drivers were considered: average air temperatures for the year, as well as in the middle months of the seasons (January, April, July and October) to take into account the heterogeneity of warming throughout the year.

For each change in every driver in every grid node of the territory of Ukraine, the impact was determined according to the limits of 5 degrees as given in Table 1, which were transformed into percentages by quartiles from 0 to 100%. After that, the maximum value was selected from the obtained impacts of all 5 drivers for each of the three periods (2021-2040, 2041-2060 and 2081-2100) under two scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5). That is, in this way, the maximum degree of impact was obtained, which determines the hazard in the category of increasing average air temperature, which is presented on the map in Fig. 2 as a percentage of the maximum, which corresponds to a very high impact and corresponding hazard at the end of the century under the RCP 8.5 scenario. The hazard at mid-century under the highest concentrations scenario is expected to be at a high level, as well as at the end of the century under the moderate concentrations scenario RCP 4.5. The hazard of increasing mean air temperature under the high concentrations scenario in the period 2021-2040 across the country is medium, and under the moderate concentrations scenario, a predominantly medium hazard is also expected for almost the entire territory of Ukraine both in the current period and by mid-century. In the current period, under the RCP 4.5 scenario, a low impact of this CID is obtained in the Carpathians, in almost the entire Lviv, mountainous part of Ivano-Frankivsk, in the far west of Zakarpattia and partly in Donetsk regions, and by the middle of the century - in the south of Luhansk and

декількох прибережних ділянках навколо Азовського моря і у високогір'ї Карпат.

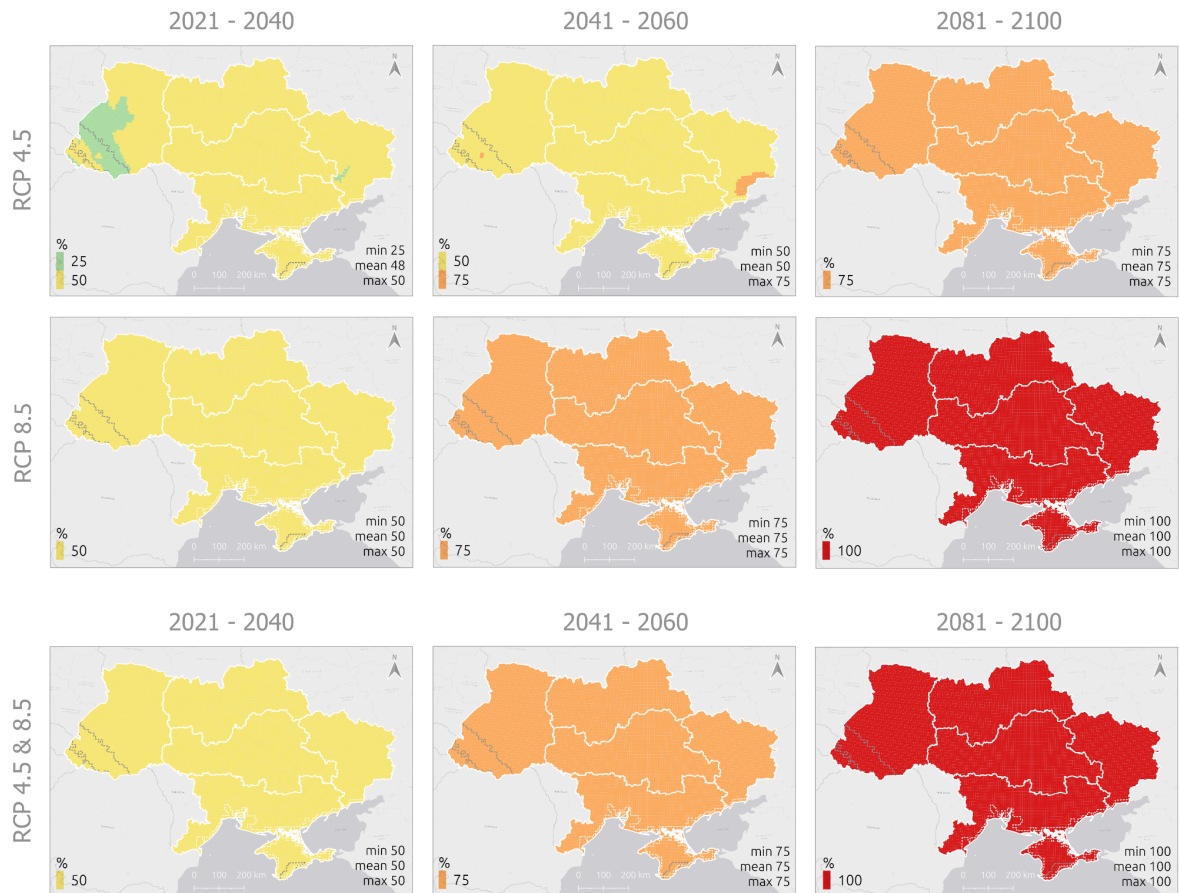
Для об'єднаного сценарію RCP 4.5 & 8.5 був знайдений максимум у кожному вузлі сітки із обох сценаріїв у кожному періоді, який для цієї загрози по всій території України відповідає сценарію RCP 8.5 (рис. 2).

Статистичні характеристики отриманих загроз від підвищення середньої температури повітря, а саме мінімальне, максимальне і усереднене значення, для трьох періодів і двох сценаріїв за визначеними 8 регіонами, наведені у Табл.2.

Donetsk regions, as well as several coastal areas around the Sea of Azov and in the Carpathian highlands.

For the combined RCP 4.5 & 8.5 scenario, a maximum was found at each grid node from both scenarios in each period, which for this hazard across the entire territory of Ukraine corresponds to the RCP 8.5 scenario (Fig. 2).

Statistical characteristics of the hazards from mean air temperature increase, namely the minimum, maximum and average values for three periods and two scenarios for the 8 identified regions, are given in Table 2.



- Межі досліджуваних регіонів
Study regions boundaries
- Межі гір
Mountains boundaries
- Межа прибережної території
Coastal boundary

ESRI Gray (light) basemap

Very high	Дуже високий	100%	Future impact Максимальний вплив
High	Високий	75%	
Medium	Середній	50%	
Low	Низький	25%	
Negligible	Незначний	0%	

МАКСИМАЛЬНИЙ СТУПІНЬ ВПЛИВУ ВІД ПІДВИЩЕННЯ СЕРЕДНЬОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ

MAXIMUM IMPACT BY MEAN AIR TEMPERATURE INCREASE

Рис.2. Загрози від підвищення середньої температури повітря за сценаріями помірних концентрацій (RCP 4.5), високих концентрацій (RCP 8.5) та об'єднаного сценарію (RCP 4.5 & 8.5) для трьох періодів до кінця XXI ст. відносно періоду 1991-2010

Fig. 2. Hazards from an increase in mean air temperature under scenarios of moderate concentrations (RCP 4.5), high concentrations (RCP 8.5), and combined scenario (RCP 4.5 & 8.5) for three periods until the end of the XXI century relative to the period 1991-2010

Табл.2. Статистичні характеристики загроз від підвищення усередненої температури повітря до кінця XXI ст. за сценаріями RCP 4.5 і RCP 8.5 для 8 регіонів України

Table 2. Statistical characteristics of hazards from an increase in mean air temperature by the end of the 21st century under the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios for 8 regions of Ukraine

Mean Air Temperature (% of max impact)										
Region	Scenario	2021 - 2040			2041 - 2060			2081 - 2100		
		min	mean	max	min	mean	max	min	mean	max
West	RCP 4.5	25	44	50	50	50	50	75	75	75
	RCP 8.5	50	50	50	75	75	75	100	100	100
North	RCP 4.5	50	50	50	50	50	50	75	75	75
	RCP 8.5	50	50	50	75	75	75	100	100	100
Central	RCP 4.5	25	50	50	50	50	50	75	75	75
	RCP 8.5	50	50	50	75	75	75	100	100	100
East	RCP 4.5	25	50	50	50	52	75	75	75	75
	RCP 8.5	50	50	50	75	75	75	100	100	100
South	RCP 4.5	50	50	50	50	50	50	75	75	75
	RCP 8.5	50	50	50	75	75	75	100	100	100
Carpathian Mountains	RCP 4.5	25	32	50	50	50	75	75	75	75
	RCP 8.5	50	50	50	75	75	75	100	100	100
Crimean Mountains	RCP 4.5	50	50	50	50	50	50	75	75	75
	RCP 8.5	50	50	50	75	75	75	100	100	100
Coastal	RCP 4.5	50	50	50	50	51	75	75	75	75
	RCP 8.5	50	50	50	75	75	75	100	100	100

Збільшення екстремальної спеки | Extreme heat increase

Для визначення загрози від збільшення екстремальної спеки розглянуто 5 чинників кліматичного впливу: усереднена за літні місяці максимальна добова температура повітря, кількість днів з дуже сильною та екстремальною спекою, кількість тропічних ночей, кількість днів з індексом Гумідекс вище за 30, а також градусоднів кондиціювання повітря.

Для зміни кожного з чинників в кожному вузлі сітки території України визначено вплив відповідно до меж 5 ступенів як наведено в Табл.1, які трансформовано у відсотки за кварталями від 0 до 100%. Після цього обрано найбільше значення із отриманих впливів усіх 5 чинників для кожного з трьох періодів (2021-2040, 2041-2060 і 2081-2100) за двома сценаріями (RCP 4.5 і RCP 8.5). Тобто, таким чином отримано максимальний ступінь впливу, який і визначає загрозу в категорії збільшення екстремальної спеки, яка представлена на карті рис.3 у відсотках від максимальної, якій відповідає дуже високий вплив і загроза на кінець сторіччя за сценарієм RCP 8.5.

Загроза від збільшення екстремальної спеки у всі розглянуті періоди за всіма сценаріями не нижче середньої. Високий ступінь загрози починає проявлятися у південному регіоні подалі від прибережних територій, де спека у цілому відчувається менше через наявність охолоджувального ефекту від морів. Але за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 навіть у поточний період поширення загрози більше ніж за сценарієм помірних концентрацій RCP 4.5 на середину сторіччя, хоч і статистичні характеристики (Табл.3) близькі. Загроза збільшення

To determine the hazard of an increase in extreme heat, 5 climatic impact drivers were considered: average maximum daily air temperature for summer months, days with extreme heat, tropical nights, with Humidex over 30, and cooling degree days.

For each change in every driver in every grid node of the territory of Ukraine, the impact was determined according to the limits of 5 degrees as given in Table 1, which were transformed into percentages by quartiles from 0 to 100%. After that, the maximum value was selected from the obtained impacts of all 5 drivers for each of the three periods (2021-2040, 2041-2060 and 2081-2100) under two scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5). That is, in this way, the maximum degree of impact was obtained, which determines the hazard in the category of increasing of extreme heat, which is presented on the map in Fig. 3 as a percentage of the maximum, which corresponds to a very high impact and corresponding hazard at the end of the century under the RCP 8.5 scenario.

The hazard of increasing extreme heat in all considered periods under all scenarios is not lower than medium. A high degree of hazard begins to manifest itself in the southern region away from coastal areas, where heat is generally felt less due to the presence of a cooling effect from the seas. But under the high concentration scenario RCP 8.5, even in the current period, the hazard spreads more than under the moderate concentration scenario RCP 4.5 by the middle of the century, although the statistical characteristics (Table 3) are close. The hazard of increasing extreme heat under the high concentration scenario in the period 2041-2060 is high almost throughout the country, with the exception of the north of the western and northern

екстремальної спеки за сценарієм високих концентрацій у період 2041-2060 майже по всій території країни висока за виключенням півночі західного і північного регіонів, де загроза залишається середньою, але на окремих ділянках прибережних територій вона зростає до дуже високої. У цей самий період на середину сторіччя за сценарієм помірним концентрацій не виявлено дуже високого ступеня загрози від збільшення екстремальної спеки, але висока загроза поширилася на північ і схід, охоплюючи південь Дніпропетровської області і східного регіону. До кінця сторіччя за сценарієм RCP 4.5 загроза від збільшення спеки посилюється і у цілому просторовий розподіл та статистичні значення подібні до отриманого на середину сторіччя за сценарієм RCP 8.5, але межа між середньою та високою загрозами розташована більш меридіонально, і висока загроза очікується у всій Сумській області та від півночі Чернігівської області через Київ до Карпатських гір.

Для об'єднаного сценарію RCP 4.5 & 8.5 був знайдений максимум у кожному вузлі сітки із обох сценаріїв у кожному періоді, який для цієї загрози по всій території України відповідає сценарію RCP 8.5 (рис. 3).

Статистичні характеристики отриманих загроз від збільшення спеки, а саме мінімальне, максимальне і усереднене значення, для трьох періодів і двох сценаріїв за визначеними 8 регіонами, наведені у Табл.3.

regions, where the hazard remains medium, but in some grid-points of coastal areas it increases to very high. In the same period, by mid-century, under the moderate concentration scenario, no very high degree of hazard from increased extreme heat was detected, but the high degree spread to the north and east, covering the south of the Dnipropetrovsk region and the eastern region. By the end of the century, under the RCP 4.5 scenario, the hazard from increased heat increases and, in general, the spatial distribution and statistical values are similar to those obtained by mid-century under the RCP 8.5 scenario, but the boundary between medium and high hazards is located more meridionally, and a high impact or hazard is expected in the entire Sumy region and from the north of the Chernihiv region through Kyiv to the Carpathian Mountains.

For the combined RCP 4.5 & 8.5 scenario, a maximum was found at each grid node from both scenarios in each period, which for this hazard across the entire territory of Ukraine corresponds to the RCP 8.5 scenario (Fig. 3).

Statistical characteristics of the obtained hazards from increased heat, namely the minimum, maximum and average values, for three periods and two scenarios for the 8 identified regions, are given in Table 3.

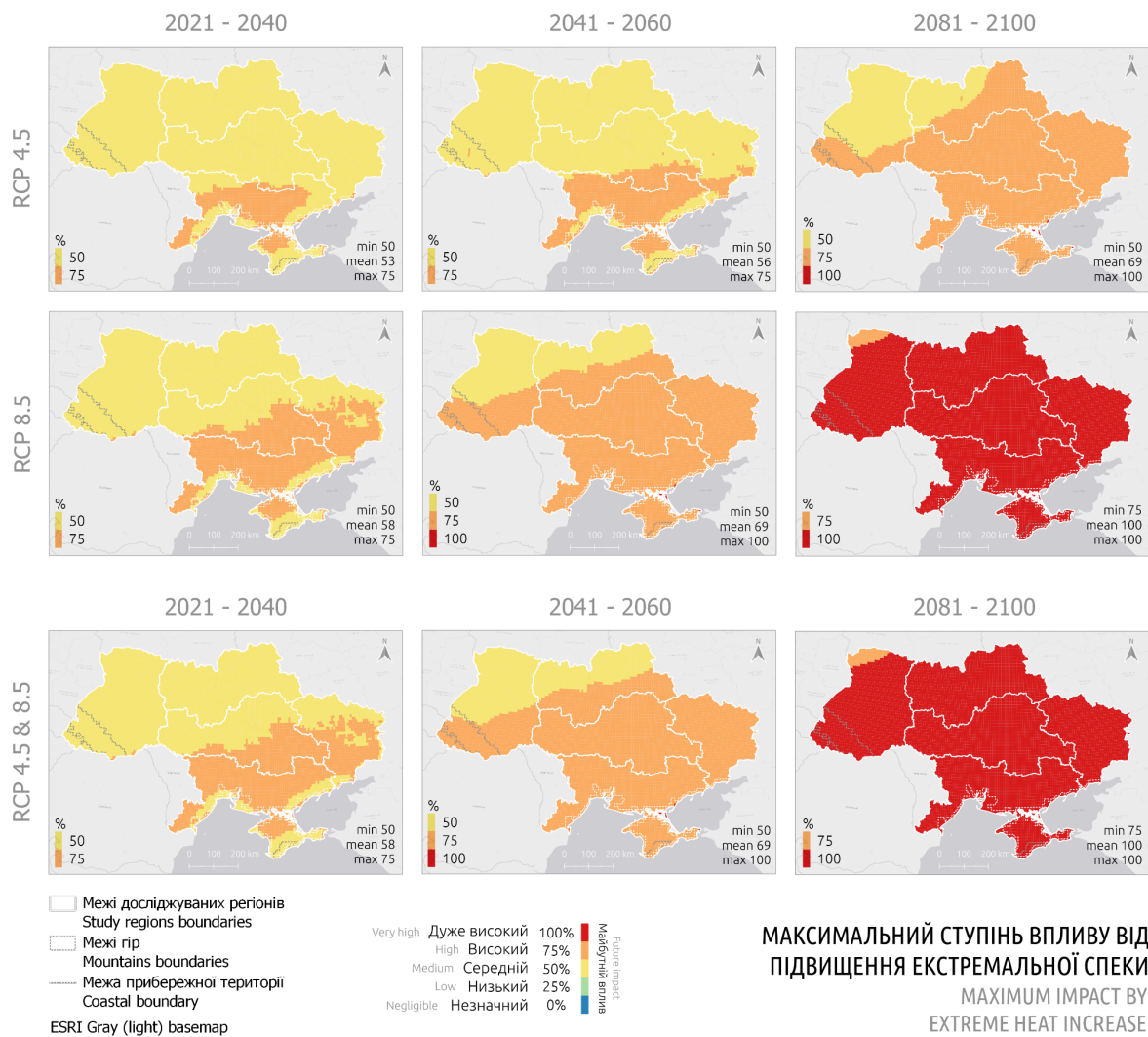


Рис.3. Загрози від збільшення екстремальної спеки за сценаріями помірних концентрацій (RCP 4.5), високих концентрацій (RCP 8.5) та об'єднаного сценарію (RCP 4.5 & 8.5) для трьох періодів до кінця XXI ст. відносно періоду 1991-2010

Fig. 3. Hazards from an increase in extreme heat under scenarios of moderate concentrations (RCP 4.5), high concentrations (RCP 8.5), and combined scenario (RCP 4.5 & 8.5) for three periods until the end of the XXI century relative to the period 1991-2010

Табл.3. Статистичні характеристики загроз від збільшення екстремальної спеки до кінця XXI ст. за сценаріями RCP 4.5 і RCP 8.5 для 8 регіонів України

Table 3. Statistical characteristics of hazards from an increase in extreme heat by the end of the 21st century under the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios for 8 regions of Ukraine

Extreme Heat (% of max impact)										
Region	Scenario	2021 - 2040			2041 - 2060			2081 - 2100		
		min	mean	max	min	mean	max	min	mean	max
West	RCP 4.5	50	50	50	50	50	50	50	54	75
	RCP 8.5	50	50	75	50	58	75	75	98	100
North	RCP 4.5	50	50	50	50	50	50	50	65	75
	RCP 8.5	50	50	50	50	62	75	100	100	100
Central	RCP 4.5	50	51	75	50	54	75	50	75	75
	RCP 8.5	50	60	75	75	75	75	100	100	100
East	RCP 4.5	50	50	75	50	53	75	75	75	75
	RCP 8.5	50	62	75	75	75	75	100	100	100
South	RCP 4.5	50	63	75	50	71	75	75	75	75
	RCP 8.5	50	71	75	75	75	75	100	100	100
Carpathian Mountains	RCP 4.5	50	50	50	50	51	75	50	71	75
	RCP 8.5	50	50	75	50	73	75	100	100	100
Crimean Mountains	RCP 4.5	50	50	50	50	50	50	75	75	75
	RCP 8.5	50	50	50	75	75	75	100	100	100
Coastal	RCP 4.5	50	61	75	50	69	75	75	77	100
	RCP 8.5	50	62	75	75	76	100	100	100	100

Зволоження і посушливість | Wet and Dry

<p>Для типу загрози зволоження і посушливості оцінено чинники кліматичного впливу декількох категорій, які характеризують середній стан, тобто вважається, що зменшення опадів чинить негативний вплив, а також дві категорії екстремальності: збільшення сильних опадів, що може призвести до паводків та підтоплень, а також збільшення днів з опадами менше за 1 мм, що характеризує посушливі умови, і окремо виділяється в МГЕЗК категорія пожежонебезпечної погоди.</p>	<p>For the type of hazards of wet and dry, the climatic impact drivers of several categories were assessed, namely that characterize the average state when a decrease in precipitation is considered to have a negative impact, as well as two categories of extremes: an increase in heavy precipitation, which can lead to floods and inundations, as well as an increase in days with precipitation less than 1 mm, which characterizes droughts, and the category of fire-danger weather is considered in this type of hazards in the IPCC. Thus, four categories of hazards were considered for this type, in which 10</p>
---	--

Таким чином, для цього типу розглянуто чотири категорії загроз, в яких проаналізовано 10 показників режиму зволоження і посушливості.

indicators of the wet and dry regime were analyzed.

Зменшення усереднених опадів | Mean precipitation decrease

Для визначення загрози зменшення усередненої кількості опадів розглянуто 5 чинників кліматичного впливу: усереднені кількості опадів за рік, а також у середні місяці сезонів (січень, квітень, липень і жовтень) для врахування неоднорідності впливу зміни клімату на режим зволоження впродовж року.

Для зміни кожного з чинників в кожному вузлі сітки території України визначено вплив відповідно до меж 5 ступенів як наведено в Табл.1, які трансформовано у відсотки за квантилями від 0 до 100%. Після цього обрано найбільше значення із отриманих впливів усіх 5 зазначених чинників для кожного з трьох періодів (2021-2040, 2041-2060 і 2081-2100) за двома сценаріями (RCP 4.5 і RCP 8.5). Тобто, таким чином отримано максимальний ступінь впливу, який і визначає загрозу в категорії зменшення середньої кількості опадів, яка представлена на карті рис.4 у відсотках від максимальної, коли очікується зменшення опадів на 20% і більше (Табл.1). Такі дуже високі впливи і загрози отримано переважно на кінець сторіччя за сценарієм RCP 8.5 для всього Криму і на сході та південному сході країни, за виключенням прибережних територій. Також дуже висока загроза зменшення опадів отримана в поточний період 2021-2040 на півдні Херсонської області та півночі Кримського півострова за сценарієм помірних концентрацій RCP 4.5, але надалі за цим сценарієм загроза

To determine the hazard of a decrease in average precipitation sums, 5 climatic impact drivers were considered: average sum of precipitation for the year, as well as for the middle months of the seasons (January, April, July and October) to take into account the heterogeneity of climate change impact on water cycle throughout the year.

For each change in every driver in every grid node of the territory of Ukraine, the impact was determined according to the limits of 5 degrees as given in Table 1, which were transformed into percentages by quartiles from 0 to 100%. After that, the maximum value was selected from the obtained impacts of all 5 pointed out drivers for each of the three periods (2021-2040, 2041-2060 and 2081-2100) under two scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5).

That is, in this way, the maximum degree of impact was obtained, which determines the hazard in the category of reduction in mean precipitation, which is presented on the map in Fig. 4 as a percentage of the maximum, when precipitation is expected to decrease by 20% or more (Table 1). Such very high impacts and hazards were obtained mainly at the end of the century under the RCP 8.5 scenario for the entire Crimea and in the east and southeast of the country, excluding coastal areas. Also, a very high hazard from precipitation reduction was obtained in the current period 2021-2040 in the south of the Kherson region and the north of the Crimean peninsula under the moderate

від зменшення опадів зменшується на середину сторіччя, залишаючись високою у Донецькій області і до низької на території східного, південного та сходу центрального і північного регіонів, у той час як для західного, заходу центрального і майже всього північного регіонів загроза незначна. З рис.4 очевидно, що саме у цих регіонах практично немає загрози від зменшення кількості опадів у всі періоди і за обома сценаріями. У той же час до кінця сторіччя за обома сценаріями загроза від зменшення кількості опадів на сході та південному сході зростає і становить у середньому по країні 28% і 45%, які можна інтерпретувати як усереднений показник цієї загрози.

Статистичні характеристики отриманих загроз від зменшення кількості опадів, а саме мінімальне, максимальне і усереднене значення по країні, для трьох періодів і двох сценаріїв за визначеними 8 регіонами, наведені у Табл.4.

concentration scenario RCP 4.5, but further under this scenario this hazard from precipitation reduction decreases by the middle of the century, remaining high in the Donetsk region and to low in the eastern, southern and eastern central and northern regions, while for the western, western central and almost all northern regions the hazard is negligible. From Fig. 4 it is clear that in these regions there is practically no hazard from a decrease in precipitation in all periods and under both scenarios. At the same time, by the end of the century under both scenarios the hazard from a decrease in precipitation in the east and southeast increases and is on average 28% and 45% for the country, which can be interpreted as an average indicator of this hazard.

Statistical characteristics of the obtained hazards from a decrease in precipitation, namely the minimum, maximum and average value for the country, for three periods and two scenarios for the identified 8 regions, are given in Table 4.

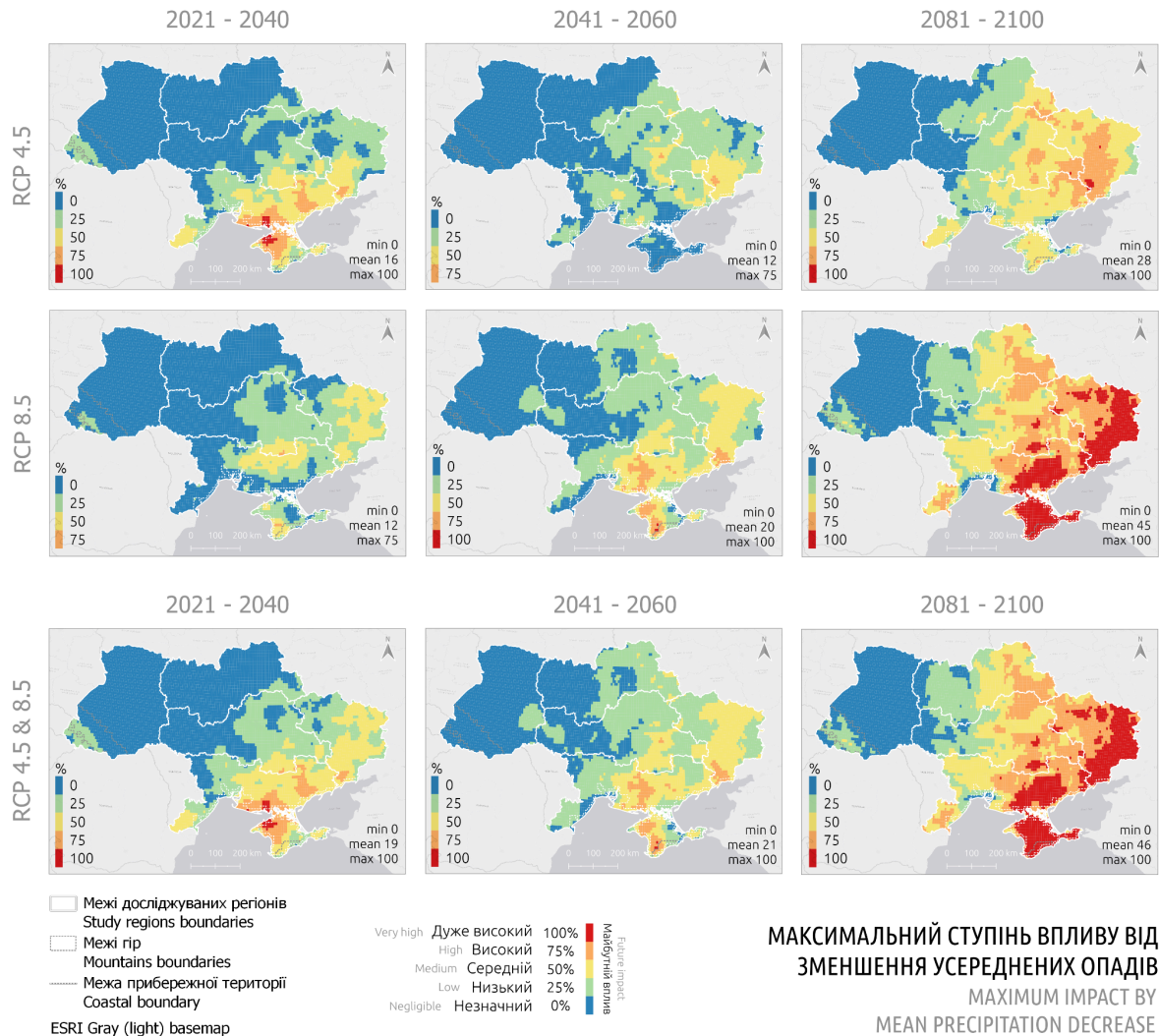


Рис.4. Загрози від зменшення усереднених опадів за сценаріями помірних концентрацій (RCP 4.5), високих концентрацій (RCP 8.5) та об'єднаного сценарію (RCP 4.5 & 8.5) для трьох періодів до кінця XXI ст. відносно періоду 1991-2010

Fig. 4. Hazards from a reduction of mean precipitation under scenarios of moderate concentrations (RCP 4.5), high concentrations (RCP 8.5), and combined scenario (RCP 4.5 & 8.5) for three periods until the end of the XXI century relative to the period 1991-2010

Табл.4. Статистичні характеристики загроз від зменшення усереднених опадів до кінця XXI ст. за сценаріями RCP 4.5 і RCP 8.5 для 8 регіонів України

Table 4. Statistical characteristics of hazards from a reduction of mean precipitation at the end of the 21st century under the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios for 8 regions of Ukraine

Mean Precipitation (% of max impact)										
Region	Scenario	2021 - 2040			2041 - 2060			2081 - 2100		
		min	mean	max	min	mean	max	min	mean	max
West	RCP 4.5	0	1	25	0	0	0	0	0	0
	RCP 8.5	0	0	25	0	2	25	0	0	25
North	RCP 4.5	0	2	25	0	5	50	0	20	75
	RCP 8.5	0	1	25	0	12	50	0	37	75
Central	RCP 4.5	0	12	75	0	17	75	0	33	100
	RCP 8.5	0	14	75	0	18	75	0	46	100
East	RCP 4.5	0	24	75	0	30	75	0	58	100
	RCP 8.5	0	31	50	0	38	75	50	86	100
South	RCP 4.5	0	41	100	0	16	50	0	41	100
	RCP 8.5	0	18	75	0	35	100	0	70	100
Carpathian Mountains	RCP 4.5	0	7	25	0	0	0	0	0	0
	RCP 8.5	0	4	25	0	0	0	0	13	50
Crimean Mountains	RCP 4.5	25	40	50	0	0	0	25	51	75
	RCP 8.5	25	41	50	25	58	75	100	100	100
Coastal	RCP 4.5	0	47	100	0	9	50	0	28	75
	RCP 8.5	0	14	50	0	31	75	0	69	100

Збільшення екстремальних опадів | Extreme precipitation increase

<p>Зміна клімату діє через перерозподіл екстремумів кліматичних характеристик та зростання повторюваності небезпечних та стихійних явищ погоди. Для визначення загрози від збільшення екстремальних опадів розглянуто 3 чинники кліматичного впливу: кількість опадів за одну і 5 діб та щорічна кількість дуже сильних опадів, які вище за 99-ий процентиль історичного періоду.</p> <p>Для визначення ступеня впливу щодо останнього чинника використовують крайні порогові значення процентилів, які</p>	<p>Climate change acts through the redistribution of extremes of climatic characteristics and the increase in the frequency of dangerous and extreme weather events. To determine the hazard from an increase in extreme precipitation, 3 drivers of climate impact were considered: precipitation sums in one and 5 days and the annual amount of very heavy precipitation, which is higher than the 99th percentile of the historical period. To determine the degree of impact from the latter driver, extreme threshold values of percentiles are used, which reflect the</p>
---	---

відображають повторюваність екстремальних значень чинника. У даній оцінці загроз в Україні від зміни клімату 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 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, як управління ризиками стихійних лих, транспорт (проблеми з перевезенням, додатковим навантаженням на систему, пошкодження шляхів та шляхопроводів тощо), будівлі (через пошкодження матеріалів тощо), сільське та лісове господарства через пошкодження, полягання, вимокання рослин тощо, туризм, водні ресурси та річковий стік через підвищення ймовірності виникнення паводків та затоплення територій.

Для зміни кожного з трьох зазначених чинників в кожному вузлі сітки території України визначено вплив відповідно до меж 5 ступенів як наведено в Табл.1, які трансформовано у відсотки за квантилями від 0 до 100%. Після цього обрано найбільше значення із отриманих впливів усіх 3 чинників для кожного з трьох періодів (2021-2040, 2041-2060 і

frequency of extreme values of the indicator. In this assessment of hazards in Ukraine from climate change, for the averaged over climatic periods annual distribution of daily precipitation for days when sums are ≥ 1.0 mm, the 99th percentile was used, the values of which indicate an extreme event that occurs once in 100 years. This climatic impact driver is included in the list of 27 key climate change indices

[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]. Daily precipitation that reaches and exceeds the 99th percentile in temperate latitudes certainly indicates that the criteria for hazardous or dangerous meteorological events are being reached, which can cause significant damage to sectors of the economy. In particular, the sectors that will be most affected will be disaster risk management, transport (problems with transportation, additional load on the system, damage to roads and overpasses, etc.), buildings (due to damage to materials, etc.), agriculture and forestry due to damage, subsidence, soaking of plants, etc., tourism, water resources and river runoff due to increased probability of floods and inundation of territories.

For the change of each of the three specified CIDs in each node of the grid of the territory of Ukraine, the impact was determined according to the limits of 5 degrees as given in Table 1, which were transformed into percentages by quartiles from 0 to 100%. After that, the largest value was selected from the obtained impacts of all 3 CIDs for each of the three periods (2021-2040, 2041-2060 and 2081-2100) under two scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5). That is, in this way, the maximum degree of impact was obtained, which determines the hazard in the category of

2081-2100) за двома сценаріями (RCP 4.5 і RCP 8.5). Тобто, таким чином отримано максимальний ступінь впливу, який і визначає загрозу в категорії збільшення екстремальних опадів, яка представлена на карті рис.5 у відсотках від максимальної зміни, якій відповідає дуже високий вплив і загроза впродовж сторіччя. Статистичні характеристики отриманих загроз від збільшення екстремальних опадів, а саме мінімальне, максимальне і усереднене значення, для трьох періодів і двох сценаріїв за визначеними 8 регіонами, наведені у Табл.5.

Загрози від збільшення екстремальних опадів мають досить строкатий характер вочевидь через те, що сильні і тривалі опади формуються і випадають під взаємодією багатьох чинників. Але певні тенденції в проєкціях за сценаріями зміни клімату впродовж XXI ст. можна виділити. Так на відміну від загроз інших категорій, в цій дуже високі загрози отримано більшою мірою для сценарія помірних концентрацій RCP 4.5. Це проявляється найбільше на середину сторіччя, коли отримано найбільше усереднене значення для території країни (72%), у той час, як для сценарію RCP 8.5 усереднені значення від 52% у поточний період до 67% на кінець сторіччя (рис.5). Дуже високі загрози отримано переважно для західного регіону, де у всі періоди і для обох сценаріїв усереднена загроза найменша 82% у поточний період за RCP 8.5, а найбільша 91% за RCP 4.5 (Табл.5). Також дуже висока загроза очікується для північного регіону на середину сторіччя із меншим значенням 79% знову для RCP 8.5 і більшим 89% для сценарію RCP 4.5, при цьому дуже високий рівень загрози 85% за цим сценарієм зберігається для цього регіону і до кінця сторіччя, а в інші періоди отримано загрози на рівні високих.

increasing extreme precipitation, which is presented on the map in Fig. 5 as a percentage of the maximum change, which corresponds to a very high impact and hazard over the century. Statistical characteristics of the obtained hazards from increased extreme precipitation, namely the minimum, maximum and average values, for three periods and two scenarios for the identified 8 regions, are presented in Table 5.

Hazards from increased extreme precipitation are quite diverse, apparently due to the fact that heavy and prolonged precipitation is formed and falls under the interaction of many factors. But certain trends in projections under climate change scenarios during the 21st century can be identified. Thus, unlike hazards in other categories, in this very high hazard was obtained to a greater extent for the moderate concentration scenario RCP 4.5. This is most evident in the middle of the century, when the largest averaged value for the country's territory was obtained (72%), while for the RCP 8.5 scenario the averaged values range from 52% in the current period to 67% by the end of the century (Fig. 5). Very high hazards are obtained mainly for the western region, where in all periods and for both scenarios the averaged hazard is the lowest 82% in the current period under RCP 8.5, and the highest 91% under RCP 4.5 (Table 5). Also, a very high hazard is expected for the northern region by mid-century with a lower value of 79% again for RCP 8.5 and a higher 89% for the RCP 4.5 scenario, while the very high hazard level of 85% under this scenario persists for this region until the end of the century, and in other periods hazards at the high level are obtained. The Carpathian Mountains are another region where the averaged value of 86% corresponds to a very high hazard at the end of the century under the RCP 8.5 scenario, although in other periods hazards

Карпатські гори - ще один регіон, де отримане усереднене значення 86% відповідає дуже високій загрози на кінець сторіччя за сценарієм RCP 8.5, хоча в інші періоди за обома сценаріями отримано загрози на рівні високих. В Кримських горах практично у всі періоди і сценарії також отримано високі загрози за виключенням поточного періоду за сценарієм помірних концентрацій. Трохи інші, але у цілому схожі розподіли загроз очікуються у південному та прибережному регіонах, а також у центрі країни. У східному регіоні отримані найменші усереднені значення загрози, хоча вони все ще відповідають середньому рівню.

at the high level are obtained under both scenarios. In the Crimean Mountains, high level of hazards are also obtained in almost all periods and scenarios, with the exception of the current period under the moderate concentration pathway. Slightly different, but generally similar hazard distributions are expected in the southern and coastal regions, as well as in the center of the country. The eastern region has the lowest averaged hazard values, although they still correspond to the medium level.

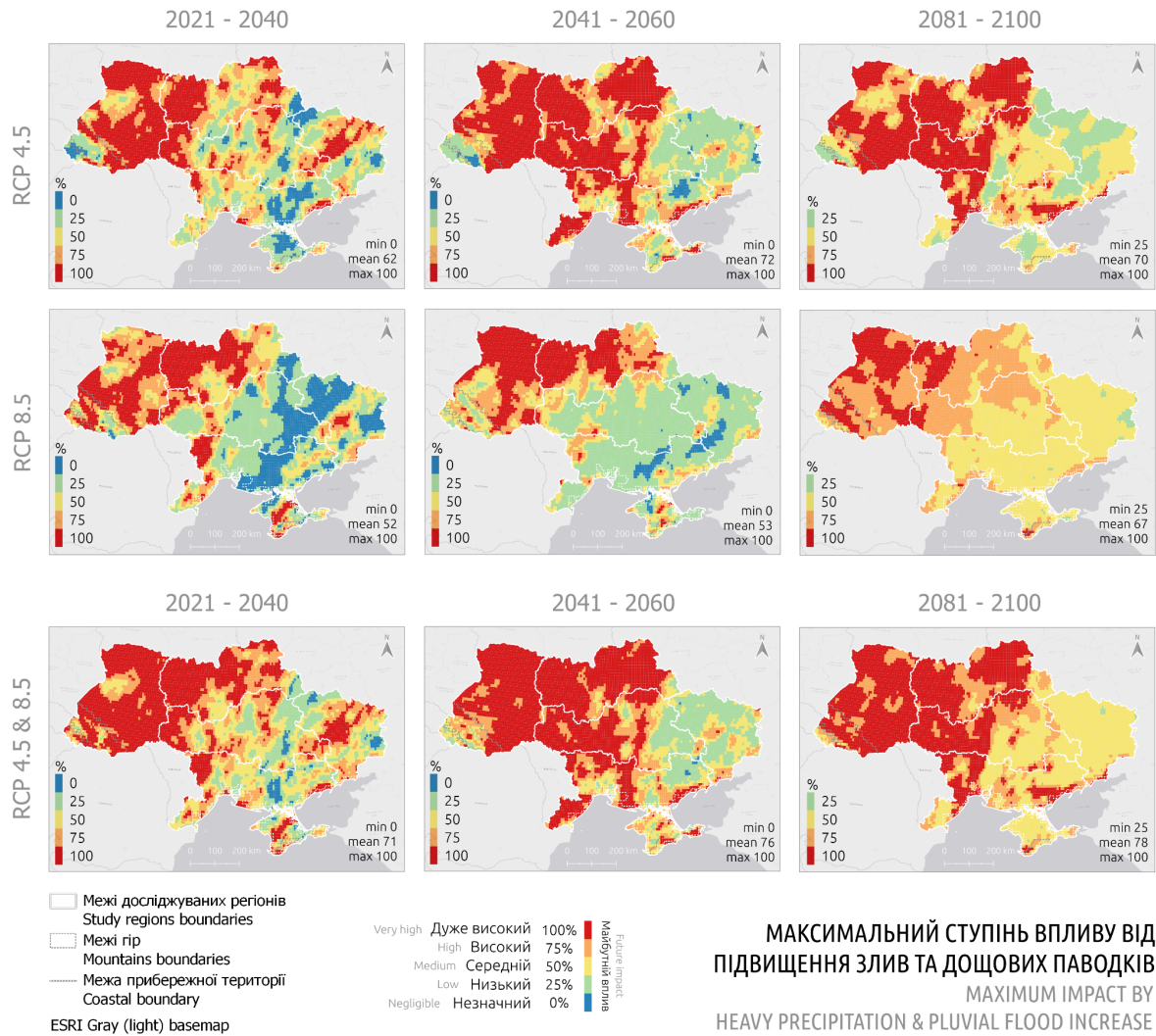


Рис.5. Загрози від збільшення екстремальних опадів за сценаріями помірних концентрацій (RCP 4.5), високих концентрацій (RCP 8.5) та об'єднаного сценарію (RCP 4.5 & 8.5) для трьох періодів до кінця XXI ст. відносно періоду 1991-2010

Fig. 5. Hazards from an increase of heavy precipitation under scenarios of moderate concentrations (RCP 4.5), high concentrations (RCP 8.5), and combined scenario (RCP 4.5 & 8.5) for three periods until the end of the XXI century relative to the period 1991-2010

Табл.5. Статистичні характеристики загроз від збільшення екстремальних опадів до кінця XXI ст. за сценаріями RCP 4.5 і RCP 8.5 для 8 регіонів України

Table 5. Statistical characteristics of hazards from an increase of heavy precipitation at the end of the 21st century under the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios for 8 regions of Ukraine

Heavy Precipitation and Pluvial Flood (% of max impact)										
Region	Scenario	2021 - 2040			2041 - 2060			2081 - 2100		
		min	mean	max	min	mean	max	min	mean	max
West	RCP 4.5	0	88	100	0	91	100	25	85	100
	RCP 8.5	25	82	100	25	85	100	50	87	100
North	RCP 4.5	0	71	100	25	89	100	25	85	100
	RCP 8.5	0	74	100	25	79	100	50	74	100
Central	RCP 4.5	0	58	100	0	74	100	25	72	100
	RCP 8.5	0	33	100	0	35	100	50	63	100
East	RCP 4.5	0	50	100	0	35	100	25	38	100
	RCP 8.5	0	28	100	0	27	75	25	49	75
South	RCP 4.5	0	40	100	0	66	100	25	63	100
	RCP 8.5	0	39	100	0	33	100	25	53	100
Carpathian Mountains	RCP 4.5	0	63	100	0	56	100	25	71	100
	RCP 8.5	0	67	100	25	55	100	50	86	100
Crimean Mountains	RCP 4.5	0	39	100	25	61	100	25	55	75
	RCP 8.5	0	66	100	0	58	100	50	75	100
Coastal	RCP 4.5	0	48	100	25	69	100	25	62	100
	RCP 8.5	0	37	100	0	38	100	25	57	75

Збільшення посух | Increase of Droughts

Загроза збільшення тривалості посух розраховувалася у кожному 20-річному періоді як максимальна кількість послідовних днів без суттєвих опадів, тобто коли опади < 1 мм на добу.

Для розрахованих значень в кожному вузлі сітки на території України для кожного з трьох періодів (2021-2040, 2041-2060 і 2081-2100) за двома сценаріями (RCP 4.5 і RCP 8.5) визначено вплив відповідно до меж 5 ступенів як наведено в Табл.1, які трансформовано у відсотки за квантилями від 0 до 100%. Тобто, таким

The hazard of increasing the duration of droughts was calculated in each 20-year period as the maximum number of consecutive days without significant precipitation, i.e. when precipitation < 1 mm per day.

For the calculated values at each grid node in Ukraine for each of the three periods (2021-2040, 2041-2060 and 2081-2100) under two scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5), the impact was determined according to the limits of 5 levels as given in Table 1, which were transformed into percentages by quartiles from 0 to 100%. That is, in this way, hazards in the category of increasing

чином отримано загрози в категорії збільшення посухи, які представлені на картах рис.6 у відсотках від максимальної, якій відповідає дуже високий вплив і відповідно загроза посухи більше за 60 послідовних днів без суттєвих опадів впродовж XXI ст. Статистичні характеристики отриманих загроз від збільшення посух, а саме мінімальне, максимальне і усереднене значення, для трьох періодів і двох сценаріїв за визначеними 8 регіонами, наведені у Табл.6.

Загроза від збільшення посухи у всі розглянуті періоди за всіма сценаріями найнижча у Карпатських горах, сягаючи середньої лише в окремих осередках переважно ближче до Закарпаття. Наступними регіонами, де загроза збільшується до середньої, виступають західний і північний, де лише на півдні за сценарієм RCP 8.5 на середину сторіччя з'являються осередки з високою загрозою збільшення посух. В Кримських горах загроза здебільшого в середній градації у поточний період і зберігається до середни сторіччя за сценарієм RCP 4.5, але сягає високої за сценарієм RCP 8.5 і продовжує збільшуватися до кінця сторіччя з осередками дуже високої загрози. Центральний і східний регіони переважно мають середню загрозу за сценарієм RCP 4.5 впродовж всього сторіччя з ділянками, які простягаються від південного регіону з високим рівнем загрози. А за сценарієм RCP 8.5 площа території з високою загрозою в цих регіонах значно зростає і відповідно підвищуються усереднені значення загрози. Для південного і особливо прибережного регіонів отримано дуже високий ступінь загрози від збільшення посух з порівняно меншими значеннями, які відповідають високій загрозі, до середини сторіччя за сценарієм RCP 4.5.

drought were obtained, which are presented on the maps of Fig. 6 as a percentage of the maximum, which corresponds to a very high impact and, accordingly, the hazard of drought for more than 60 consecutive days without significant precipitation during the 21st century. Statistical characteristics of the obtained hazards from prolonged droughts, namely the minimum, maximum and averaged values, for three periods and two scenarios for the 8 regions identified, are given in Table 6.

The hazard from increased drought in all considered periods under all scenarios is lowest in the Carpathian Mountains, reaching medium only in individual foci, mainly closer to Transcarpathia. The next regions where the hazard increases to medium are the western and northern regions, where only in their south under the RCP 8.5 scenario by the middle of the century do foci with a high hazard of increased droughts appear. In the Crimean Mountains, the hazard is mostly medium in the current period and persists until the middle of the century under the RCP 4.5 scenario, but reaches high under the RCP 8.5 scenario and continues to increase until the end of the century with foci of very high hazard. The central and eastern regions have mostly medium hazards under RCP 4.5 throughout the century with areas extending from the southern region with high hazard. Under RCP 8.5, the area of high hazard in these regions increases significantly and the averaged values of hazards increase accordingly. For the southern and especially coastal regions, a very high level of hazard is obtained from increased droughts with relatively lower values corresponding to high hazard until mid-century under RCP 4.5.

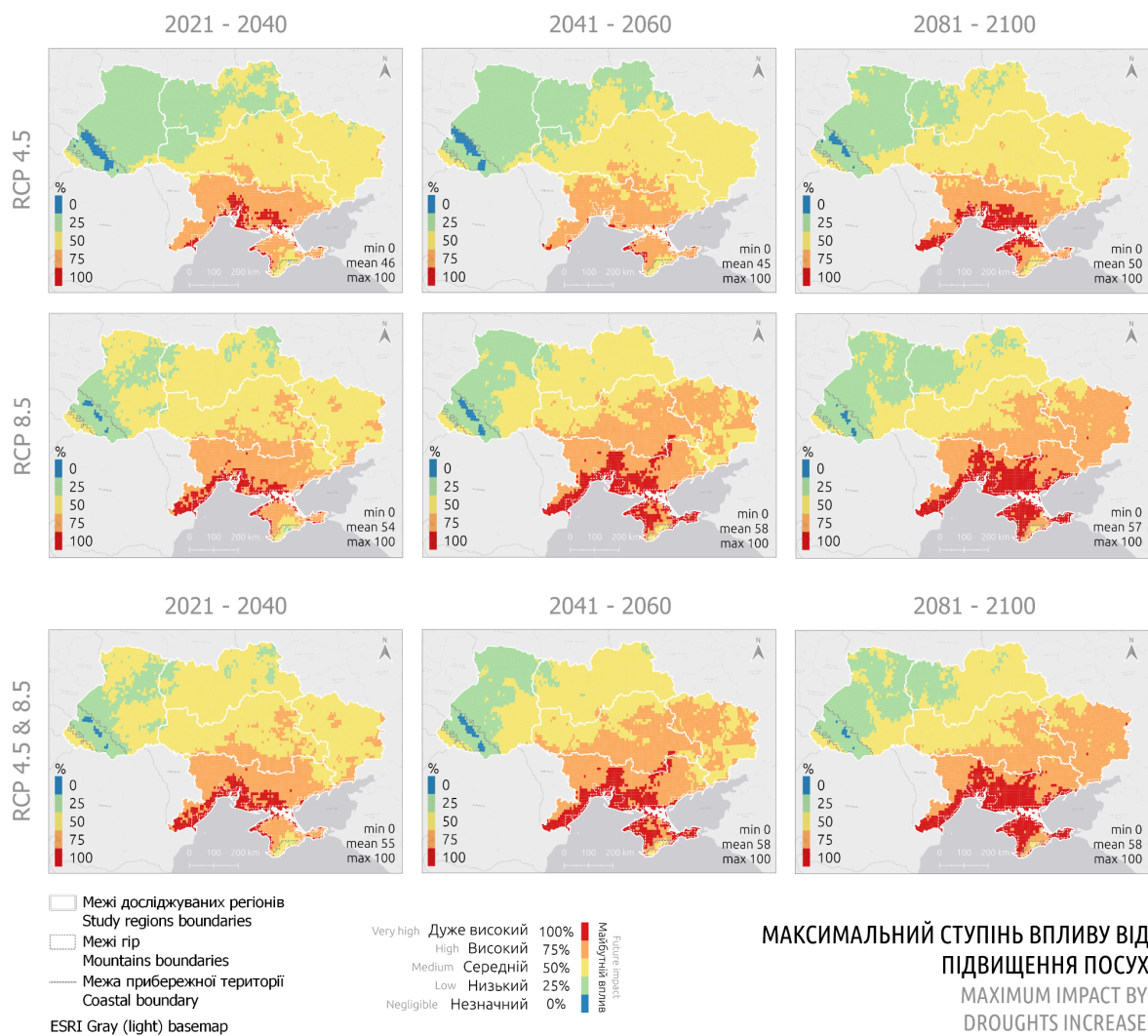


Рис.6. Загрози від збільшення кількості днів без або з незначними опадами (підвищення посушливості) за сценаріями помірних концентрацій (RCP 4.5), високих концентрацій (RCP 8.5) та об'єднаного сценарію (RCP 4.5 & 8.5) для трьох періодів до кінця XXI ст. відносно періоду 1991-2010

Fig. 6. Hazards from an increase of days without or non-essential precipitation (droughts) under scenarios of moderate concentrations (RCP 4.5), high concentrations (RCP 8.5), and combined scenario (RCP 4.5 & 8.5) for three periods until the end of the XXI century relative to the period 1991-2010

Табл.6. Статистичні характеристики загроз від збільшення кількості днів без або з незначними опадами (підвищення посушливості) до кінця XXI ст. за сценаріями RCP 4.5 і RCP 8.5 для 8 регіонів України

Table 6. Statistical characteristics of hazards from an increase of days without or non-essential precipitation (droughts) at the end of the 21st century under the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios for 8 regions of Ukraine

Droughts (% of max impact)										
Region	Scenario	2021 - 2040			2041 - 2060			2081 - 2100		
		min	mean	max	min	mean	max	min	mean	max
West	RCP 4.5	0	26	50	0	27	50	0	29	50
	RCP 8.5	25	40	50	25	34	75	25	32	50
North	RCP 4.5	25	33	50	25	33	50	25	42	50
	RCP 8.5	25	46	50	25	49	75	25	41	50
Central	RCP 4.5	25	49	75	25	50	75	25	52	75
	RCP 8.5	25	56	75	50	64	100	25	61	100
East	RCP 4.5	25	50	75	50	50	50	50	51	75
	RCP 8.5	50	53	75	50	64	75	50	70	100
South	RCP 4.5	50	73	100	50	68	100	50	77	100
	RCP 8.5	50	75	100	50	83	100	50	86	100
Carpathian Mountains	RCP 4.5	0	17	25	0	18	50	0	23	50
	RCP 8.5	0	24	50	0	22	50	0	24	50
Crimean Mountains	RCP 4.5	25	48	50	25	49	50	50	52	75
	RCP 8.5	25	44	50	50	59	75	50	68	100
Coastal	RCP 4.5	50	83	100	50	78	100	50	90	100
	RCP 8.5	25	89	100	50	94	100	50	97	100

Збільшення пожежонебезпечної погоди | Increase of Fire Danger Weather

<p>Індекс пожежонебезпечної погоди було запропоновано до використання у Канаді, а згодом імплементовано 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</p>	<p>The Fire Weather Index was proposed for use in Canada and later implemented in the Global ECMWF Fire Forecasting model (GEFF). The model calculates the number of days with moderate, high and very high wildfire risks, as classified by the European Forest Fire Information System (EFFIS), during the fire season, which is considered to last from June to September in the Northern Hemisphere. The Fire Weather Index (FWI) is calculated from midday data on air temperature and relative humidity,</p>
---	--

пожежонебезпечного сезону, який, вважається, у північній півкулі триває з червня до вересня. 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/su/mmary/fwi>). Для розрахунків ступенів впливу цього кліматичного чинника використано дані з Європейського кліматичного сервісу Копернікус про кількість днів з індексом FWI > 30, що відповідає високому, дуже високому та екстремальному рівням пожежонебезпечної погоди. Значення отримані в історичному періоді 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 РКМ 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, які наведено в Табл.1 і трансформовано у відсотки за квантилями від 0 до 100%. Тобто, таким чином отримано загрози в категорії

wind speed and daily precipitation (<https://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/background/su/mmary/fwi>). To calculate the levels of impact of this climatic driver, data from the European Climate Service Copernicus on the number of days with the FWI index > 30, which corresponds to high, very high and extreme levels of fire-hazardous weather, were used. The values were obtained in the historical period 1986-2005 and for two scenarios RCP 4.5 and RCP 8.5 in three future periods: 2021-2040, 2041-2060 and 2081-2100 by an ensemble of 6 (5 for RCP 4.5) calculations of one RCA4 RCM with initial and boundary conditions from 6 (5 for RCP 4.5) global climate models at the same grid nodes as for the European Euro-CORDEX high-resolution project (0.1x0.1°). More information on the calculation of the FWI index is provided on the data providers page (<https://confluence.ecmwf.int/pages/viewpage.action?pageId=283569774>).

To determine the degree of FWI impact, the values were averaged for the historical and three 20-year periods, after which the change in the indicator for the two scenarios in future periods relative to the historical was determined.

In general, for the assessment of the hazard in the future, it is assumed that the negative impact will correspond to an increase in the number of days with FWI > 30 according to the categories given in Table 1 and transformed into percentages by quartiles from 0 to 100%. That is, in this way, hazards in the category of increasing fire-danger weather were obtained, which are presented on the maps of Fig. 7 in percentages of the maximum, which corresponds to a very high impact and, accordingly, the hazard of increasing days with FWI > 30 by more than 20 days per year during the 21st century. Statistical characteristics of the hazards obtained from increasing days with fire-danger weather,

збільшення пожежонебезпечної погоди, які представлені на картах рис.7 у відсотках від максимальної, якій відповідає дуже високий вплив і відповідно загроза збільшення днів з FWI > 30 на більше за 20 днів на рік впродовж XXI ст. Статистичні характеристики отриманих загроз від збільшення днів з пожежонебезпечною погодою, а саме мінімальне, максимальне і усереднене значення, для трьох періодів і двох сценаріїв за визначеними 8 регіонами, наведені у Табл.7.

Загроза збільшення днів з пожежонебезпечною погодою очікувано зростає до кінця сторіччя і набуває максимальних значень саме за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 з усередненим по країні значенням загрози 83% і дуже високим ступенем впливу на півдні, сході і у центрі, а також по півдню північного і західного регіонів. У той самий час за сценарієм помірних концентрацій RCP 4.5 усереднене значення 29% і максимальна загроза високого рівня очікується лише у східному регіоні з осередками у південному і центральному, а на більшості території країни загроза має середній і низький рівень. За сценарієм RCP 8.5 загроза на середину сторіччя навіть перевищує рівні за помірним сценарієм RCP 4.5 на кінець, при цьому високий рівень загрози очікується на сході, півдні і в Кримських горах. Не перевищує середній рівень загрози від збільшення днів з пожежонебезпечною погодою на середину сторіччя за помірним сценарієм з усередненим по країні значенням 22%, а в поточний період загроза від збільшення чинника кліматичного впливу практично відсутня. Для об'єднаного сценарію RCP 4.5 & 8.5 був знайдений максимум у кожному вузлі сітки із обох сценаріїв у кожному періоді, який для цієї загрози по всій території України відповідає сценарію RCP 8.5

namely the minimum, maximum and averaged values, for three periods and two scenarios for the 8 identified regions, are given in Table 7.

The hazard of increasing days with fire-danger weather is expected to increase by the end of the century and reaches its maximum values expectedly under the high-concentration RCP 8.5 scenario with an averaged over country hazard value of 83% and a very high degree of impact in the south, east and center, as well as in the south of the northern and western regions. At the same time, under the moderate-concentration RCP 4.5 scenario, an averaged value of 29% and a maximum high-level hazard is expected only in the eastern region with foci in the south and center, and in most of the country the hazard has a medium and low level. Under the RCP 8.5 scenario, the hazard by mid-century even exceeds the levels under the moderate RCP 4.5 scenario by the end, with a high level of hazard expected in the east and south region and in the Crimean mountains. Does not exceed the medium level of hazard from an increase in days with fire-danger weather by mid-century under a moderate scenario with an averaged value for the country of 22%, and in the current period the hazard from an increase in the climatic impact driver is practically absent.

For the combined RCP 4.5 & 8.5 scenario, a maximum was found in each grid node from both scenarios in each period, which for this hazard across the entire territory of Ukraine corresponds to the RCP 8.5 scenario (Fig. 7).

(рис. 7).

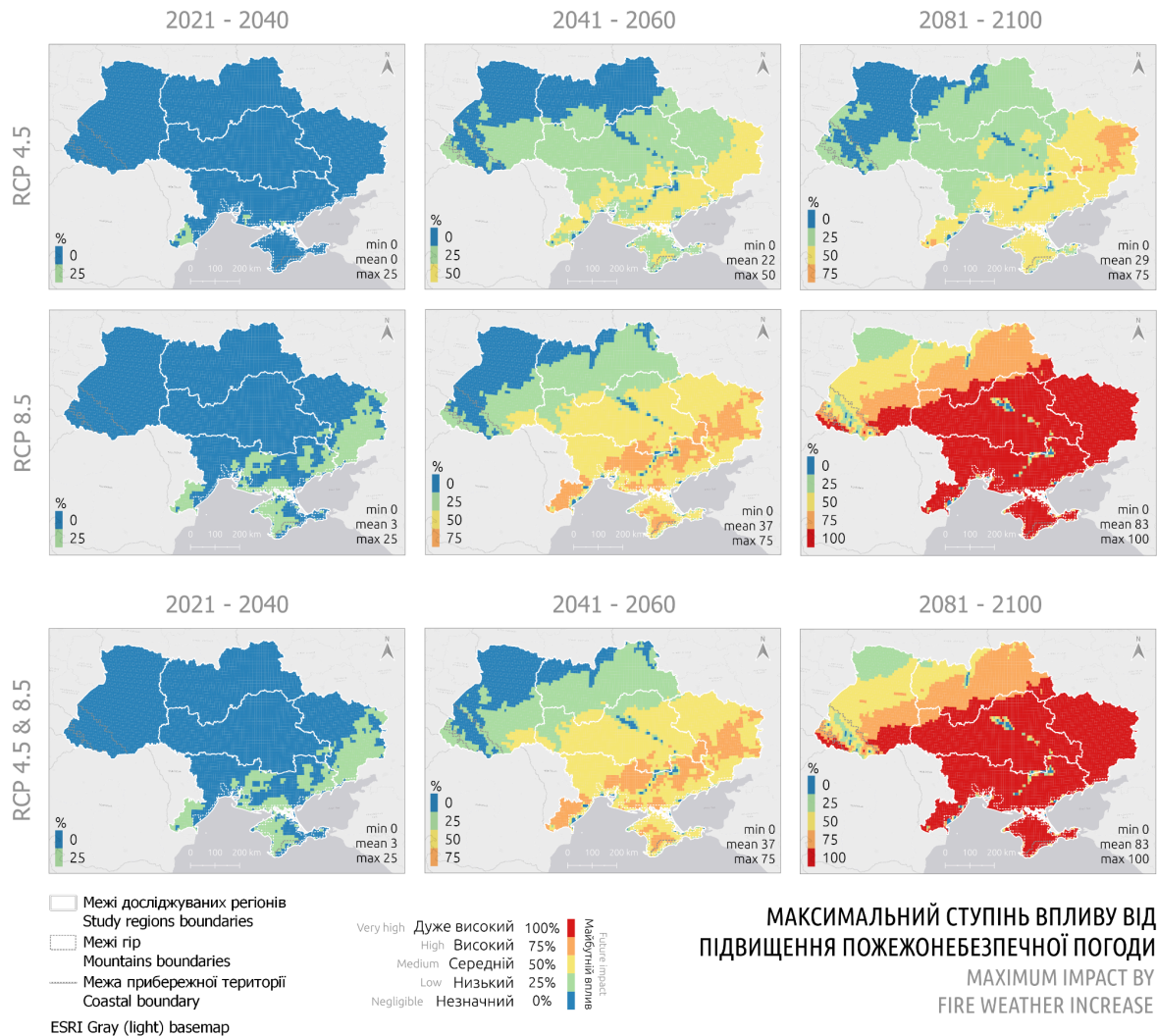


Рис.7. Загрози від збільшення кількості днів з пожежонебезпечною погодою за сценаріями помірних концентрацій (RCP 4.5), високих концентрацій (RCP 8.5) та об'єднаного сценарію (RCP 4.5 & 8.5) для трьох періодів до кінця XXI ст. відносно періоду 1991-2010

Fig. 7. Hazards from an increase of days with fire-danger weather under scenarios of moderate concentrations (RCP 4.5), high concentrations (RCP 8.5), and combined scenario (RCP 4.5 & 8.5) for three periods until the end of the XXI century relative to the period 1991-2010

Табл.7. Статистичні характеристики загроз від збільшення кількості днів з пожежонебезпечною погодою до кінця XXI ст. за сценаріями RCP 4.5 і RCP 8.5 для 8 регіонів України

Table 7. Statistical characteristics of hazards from an increase of days with fire-danger weather at the end of the 21st century under the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios for 8 regions of Ukraine

Fire Weather (% of max impact)										
Region	Scenario	2021 - 2040			2041 - 2060			2081 - 2100		
		min	mean	max	min	mean	max	min	mean	max
West	RCP 4.5	0	0	0	0	10	25	0	7	25
	RCP 8.5	0	0	0	0	11	50	25	57	100
North	RCP 4.5	0	0	0	0	6	25	0	19	25
	RCP 8.5	0	0	0	0	21	50	0	73	100
Central	RCP 4.5	0	0	0	0	26	50	0	30	75
	RCP 8.5	0	0	25	0	45	75	0	96	100
East	RCP 4.5	0	0	0	25	38	50	25	53	75
	RCP 8.5	0	10	25	25	57	75	100	100	100
South	RCP 4.5	0	1	25	0	38	50	0	43	75
	RCP 8.5	0	9	25	0	59	75	0	98	100
Carpathian Mountains	RCP 4.5	0	0	0	0	7	25	0	13	25
	RCP 8.5	0	0	0	0	8	25	0	50	100
Crimean Mountains	RCP 4.5	0	0	0	25	34	50	25	44	50
	RCP 8.5	0	14	25	50	61	75	100	100	100
Coastal	RCP 4.5	0	1	25	0	27	50	0	34	50
	RCP 8.5	0	9	25	0	42	75	0	84	100

Сніг | Snow

Загрози в типі МГЕЗК “Сніг” так само як і для опадів поділяються на ті, що характеризують середній стан кліматичної системи, і ті, що відносяться до екстремальних чинників чи подій. І так само як і для опадів загрозою через негативний вплив будемо вважати зменшення снігу, у той час як для екстремальних подій негативний вплив буде від збільшення днів з помірними і сильними снігопадами > 10 мм опадів

Hazards in the IPCC type “Snow”, as well as for precipitation, are divided into those that characterize the average state of the climate system, and those that relate to extreme drivers or events. And as for precipitation, the hazard due to negative impact will be considered to be a decrease in snow, while for extreme events the negative impact will be from an increase in days with moderate and heavy snowfalls > 10 mm of precipitation in the form of snow per

<p>у вигляді снігу за добу. Зменшення снігу можна оцінити за кількістю опадів у вигляді снігу і сніговим покривом, який присутній на не менше 30% території (Табл.1).</p>	<p>day. The decrease in snow can be assessed by the amount of precipitation in the form of snow and snow cover, which is present on at least 30% of the territory (Tabl.1).</p>
---	---

Зменшення снігопадів та снігового покриву | Snow cover & snowfall decrease

<p>Негативний вплив у цій категорії відповідає зменшенню снігу і снігового покриву. При цьому, 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. Сніговий покрив також відіграє важливу роль у перерозподілі потоків низхідної та висхідної короткохвильової радіації через високу відбивну здатність 40-90% в залежності від стану снігу (свіжий чи старий), що сприяє деякому охолодженню підстильної поверхні та приземної температури повітря. Тобто, потенційне зменшення снігового покриву через зростання приземної температури повітря внаслідок збільшення концентрації парникових газів вплине на більше поглинання частки низхідної радіації, що сприятиме більшому прогріву підстильної поверхні. Для зміни кожного з чинників в кожному вузлі сітки території України визначено вплив відповідно до меж 5 ступенів як наведено в Табл.1, які трансформовано у відсотки за квантилями від 0 до 100%. Після цього обрано найбільше значення із отриманих впливів двох зазначених чинників для кожного з трьох періодів (2021-2040, 2041-2060 і 2081-2100) за</p>	<p>The negative impact in this category corresponds to the reduction of snow and snow cover. At the same time, the reduction in the amount of precipitation in the form of snow can negatively affect the reserves of productive moisture in the soil and protection from extreme low temperatures for plants, the formation of snow cover, which is important for ecosystems and tourism in winter, as well as river runoff and, accordingly, the functioning of hydropower and water resources management. Snow cover also plays an important role in the redistribution of downward and upward short-wave radiation fluxes due to the high reflectivity of 40-90% depending on the state of the snow (fresh or old), which contributes to some cooling of the soil surface and surface air temperature. That is, the potential reduction in snow cover due to an increase in surface air temperature due to an increase in the concentration of greenhouse gases will affect the absorption of a greater share of downward radiation, which will contribute to greater warming of the surface. For each change in each grid node of the territory of Ukraine, the impact was determined according to the limits of 5 degrees as given in Table 1, which were transformed into percentages by quartiles from 0 to 100%. After that, the largest value was selected from the obtained impacts of the two specified drivers for each of the three periods (2021-2040, 2041-2060 and 2081-2100) under two scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5). That is, in this way the</p>
---	--

двома сценаріями (RCP 4.5 і RCP 8.5). Тобто, таким чином отримано максимальний ступінь впливу, який і визначає загрозу в категорії зменшення снігу, яка представлена на карті рис.8 у відсотках від максимальної за кожним з чинників кліматичного впливу у цій категорії (Табл.1).

Для об'єданого сценарію RCP 4.5 & 8.5 був знайдений максимум у кожному вузлі сітки із обох сценаріїв у кожному періоді, який для цієї загрози у поточному періоді відповідає сценарію RCP 4.5, а на середину та кінець століття - сценарію RCP 8.5 (рис. 8).

Статистичні характеристики отриманих загроз від зменшення снігу, а саме мінімальне, максимальне і усереднене значення по країні, для трьох періодів і двох сценаріїв за визначеними 8 регіонами, наведені у Табл.8.

maximum degree of impact was obtained, which determines the hazard in the snow reduction category, which is presented on the map in Fig. 8 as a percentage of the maximum for each of the climatic impact drivers in this category (Table 1).

For the combined RCP 4.5 & 8.5 scenario, a maximum was found in each grid node from both scenarios in each period, which for this hazard in the current period corresponds to the RCP 4.5 scenario, and for the middle and end of the century - to the RCP 8.5 scenario (Fig. 8).

Statistical characteristics of the obtained hazards from snow reduction, namely the minimum, maximum and average value across the country, for three periods and two scenarios for the 8 identified regions, are given in Table 8.

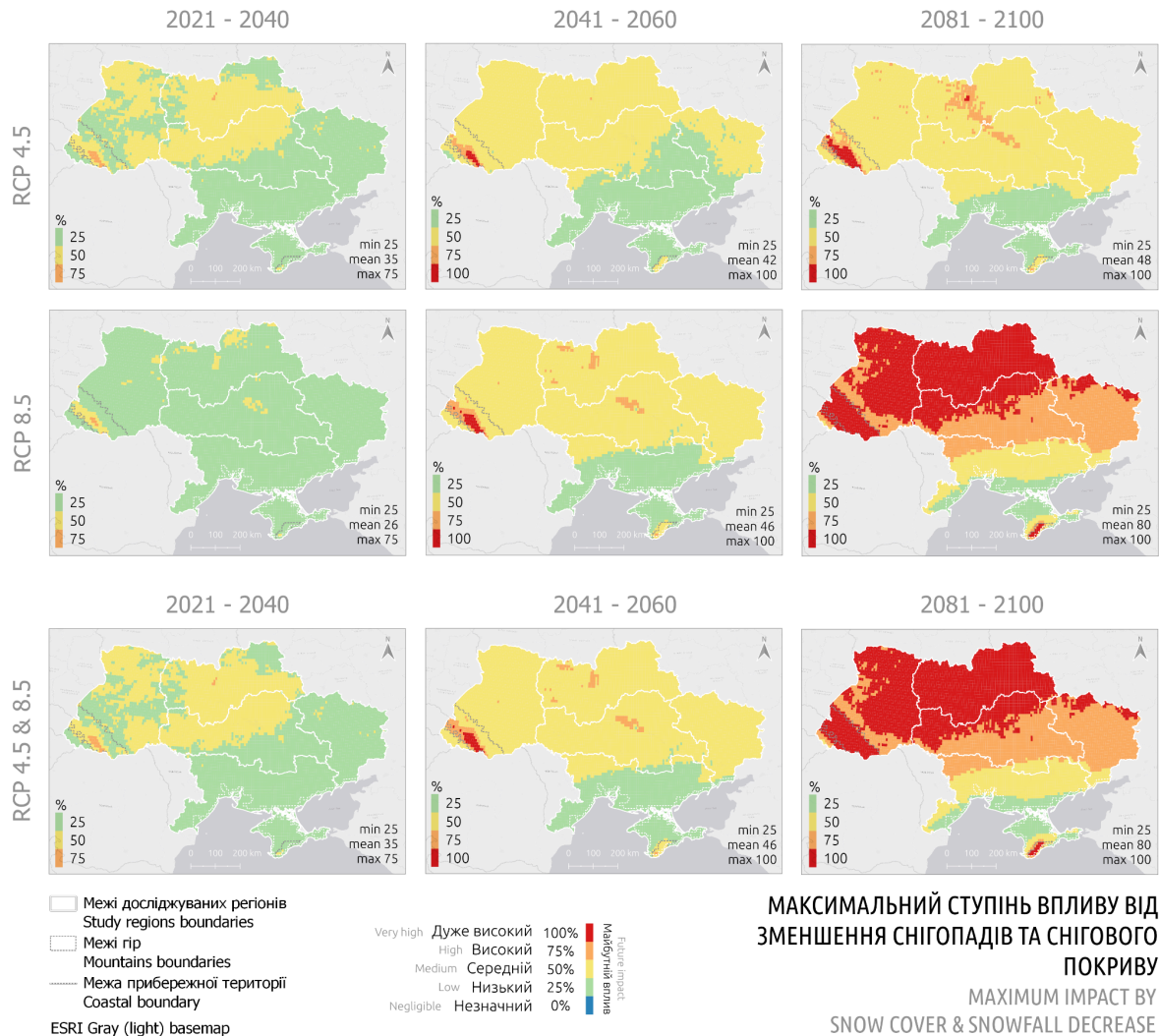


Рис.8. Загрози від зменшення снігового покриву та опадів у вигляді снігу за сценаріями помірних концентрацій (RCP 4.5), високих концентрацій (RCP 8.5) та об'єднаного сценарію (RCP 4.5 & 8.5) для трьох періодів до кінця XXI ст. відносно періоду 1991-2010

Fig. 8. Hazards from a decrease of days with snow cover and snow precipitation under scenarios of moderate concentrations (RCP 4.5), high concentrations (RCP 8.5), and combined scenario (RCP 4.5 & 8.5) for three periods until the end of the XXI century relative to the period 1991-2010

Табл.8. Статистичні характеристики загроз від зменшення снігового покриву та опадів у вигляді снігу до кінця XXI ст. за сценаріями RCP 4.5 і RCP 8.5 для 8 регіонів України

Table 8. Statistical characteristics of hazards from a decrease of days with snow cover and snow precipitation at the end of the 21st century under the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios for 8 regions of Ukraine

Snowcover & snowfall (% of max impact)										
Region	Scenario	2021 - 2040			2041 - 2060			2081 - 2100		
		min	mean	max	min	mean	max	min	mean	max
West	RCP 4.5	25	40	75	25	50	100	50	51	100
	RCP 8.5	25	26	75	50	50	100	50	94	100
North	RCP 4.5	25	43	75	50	50	75	50	53	100
	RCP 8.5	25	27	50	50	51	75	75	100	100
Central	RCP 4.5	25	38	50	25	43	50	25	51	75
	RCP 8.5	25	26	50	25	50	75	50	83	100
East	RCP 4.5	25	25	50	25	42	50	25	49	50
	RCP 8.5	25	25	25	25	50	50	50	77	100
South	RCP 4.5	25	25	50	25	27	50	25	33	50
	RCP 8.5	25	25	25	25	31	50	25	48	75
Carpathian Mountains	RCP 4.5	25	42	75	25	59	100	50	72	100
	RCP 8.5	25	34	75	50	65	100	75	100	100
Crimean Mountains	RCP 4.5	25	30	50	25	43	50	25	50	75
	RCP 8.5	25	27	50	25	50	75	50	90	100
Coastal	RCP 4.5	25	25	25	25	26	50	25	26	50
	RCP 8.5	25	25	25	25	26	50	25	31	100

Збільшення помірних і сильних снігопадів | Moderate and heavy snowfall increase

<p>Для оцінки ступеня загрози збільшення кількості помірних і сильних снігопадів розраховувалася кількість днів на рік із снігопадами, коли сума твердих опадів була ≥ 10 мм за добу. Для розрахунку цього показника були використані добові дані 9 РКМ європейського проєкту Euro-CORDEX, список яких наведено у Додатку (prsn). Дані моделей для обох сценаріїв мають деталізований крок сітки $0,1 \times 0,1^\circ$ або $12,5 \times 12,5$ км. Кількість днів з опадами у вигляді снігу 10 мм і вище визначалася за допомогою функції histcount програмного пакету CDO (Climate Data Operators) для кожної з</p>	<p>To assess the degree of hazard of an increase in the amount of moderate and heavy snowfall, the number of days per year with snowfall when the amount of solid precipitation was ≥ 10 mm per day was calculated. Daily data from 9 RCMs of the European project Euro-CORDEX were used to calculate this indicator (a list of RCMs for variable prsn is given in the Appendix). Model data for both scenarios have a detailed grid step of $0.1 \times 0.1^\circ$ or 12.5×12.5 km. The number of days with precipitation in the form of snow of 10 mm and above was determined using the histcount function of the CDO (Climate Data Operators)</p>
--	--

моделей і сценарію у всі чотири періоди: базовий 1991-2010 та майбутні 2021-2040, 2041-2060, 2081-2100.

Оскільки цей показник характеризує екстремальні умови, то серед отриманих значень за ансамблем 9 РКМ для кожного періоду 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 значеннями кількості таких днів на рік за ансамблями моделей за кожен майбутній період та базовий історичний.

Для розрахованих значень в кожному вузлі сітки на території України для кожного з трьох періодів (2021-2040, 2041-2060 і 2081-2100) за двома сценаріями окремо (RCP 4.5 і RCP 8.5) і об'єднаного визначено вплив відповідно до меж 5 ступенів (Табл.1), які трансформовано у відсотки за квантилями від 0 до 100%. Тобто, таким чином отримано загрози в категорії збільшення снігопадів ≥ 10 мм за добу, які представлені на картах рис.9 у відсотках від максимальної, якій відповідає дуже високий вплив і відповідно загроза збільшення кількості таких подій на більше за один день на рік впродовж ХХІ ст.

Статистичні характеристики отриманих загроз від збільшення помірних та сильних снігопадів, а саме мінімальне, максимальне і усереднене значення, для трьох періодів і двох сценаріїв за визначеними 8 регіонами, наведені у Табл.9. Для об'єднаного сценарію RCP 4.5 & 8.5 був знайдений максимум у кожному вузлі сітки із обох сценаріїв у кожному періоді, який для цієї загрози у поточному періоді та на середину століття не має простого передбачуваного розподілу по всій

software package for each of the models and scenarios in all four periods: baseline 1991-2010 and future 2021-2040, 2041-2060, 2081-2100. Since this indicator characterizes extreme conditions, among the values obtained by the ensemble of 9 RCMs for each period, the maximum was determined using the CDO ensmax function. For further assessment and analysis of climate projections of quantitative changes in the CID of moderate and heavy snowfall, the differences between the maximum values of the number of such days per year by model ensembles for each future period and the base historical one were calculated.

For the calculated values at each grid node in Ukraine for each of the three periods (2021-2040, 2041-2060 and 2081-2100) for two scenarios separately (RCP 4.5 and RCP 8.5) and combined, the impact was determined according to the limits of 5 levels (Table 1), which were transformed into percentages by quartiles from 0 to 100%. That is, in this way, hazards in the category of an increase in snowfall ≥ 10 mm per day were obtained, which are presented on the maps of Fig. 9 as a percentage of the maximum, which corresponds to a very high impact and, accordingly, the hazard of an increase in the number of such events by more than one day per year during the 21st century.

Statistical characteristics of the obtained hazards from an increase in moderate and heavy snowfall, namely the minimum, maximum and average value, for three periods and two scenarios for the identified 8 regions, are given in Table 9. For the combined scenario RCP 4.5 & 8.5, a maximum was found in each grid node from both scenarios in each period, which for this hazard in the current period and by mid-century does not have a simple predictable distribution across the entire territory of Ukraine for any of the scenarios separately, instead gathering regional

території України за жодним зі сценаріїв окремо, натомість зібравши в собі регіональні особливості з обох сценаріїв, але кінець століття переважно відповідає сценарію RCP 4.5 (рис. 9).

Загроза збільшення днів з помірними і сильними снігопадами у поточний період 2021-2040 найвища за сценарієм помірних концентрацій RCP 4.5 з усередненим по країні значенням 51% і дуже високим рівнем загрози на півночі північного регіону з усередненим у цьому регіоні значенням 69%, а також у західному регіоні із усередненим 62% і дуже високим ступенем загрози переважно на західному кордоні Львівської області. У високогір'ї Карпат для цього сценарію отримано менше усереднене значення (57%) ніж для сценарію RCP 8.5, для якого усереднене в регіоні значення 64% найбільше для цього чинника і співпадає із усередненим значенням у північному регіоні у цей період 2021-2040. Очікувано, в об'єднаному сценарії усереднене значення для всієї країни найбільше 57% і відповідає високій зазрозі (рис.9). У наступних періодах з очікуваним потеплінням за обома сценаріями загроза збільшення помірних і сильних снігопадів у цілому зменшується і для сценарію RCP 8.5 на кінець сторіччя зникає на переважній території країни, але все ще залишається вище середнього рівня на півночі північного регіону переважно у Поліссі, а також на крайньому сході і осередком на межі східного і південного регіонів між Запорізькою і Донецькою областями. Для сценарію помірних концентрацій RCP 4.5 на кінець сторіччя після зменшення загрози на середину сторіччя знову зростає загроза помірних і сильних снігопадів на кінець сторіччя у високогір'ї Карпат із усередненим значенням 54% і в західному регіоні (59%). У північному

features from both scenarios, but the end of the century mainly corresponds to the RCP 4.5 scenario (Fig. 9).

The hazard of an increase in days with moderate and heavy snowfall in the current period 2021-2040 is highest under the moderate concentration scenario RCP 4.5 with an averaged over country value of 51% and a very high hazard level in the north of the northern region with a regional average value of 69%, as well as in the western region with an average of 62% and a very high hazard level mainly on the western border of Lviv region. In the Carpathian highlands, a lower average value (57%) was obtained for this scenario than for the RCP 8.5 scenario, for which the regional average value of 64% is the largest for this hazard and coincides with the average value in the northern region in this period 2021-2040. It is expected that in the combined scenario, the average value for the entire country is the largest, 57%, and corresponds to a high hazard level (Fig. 9). In the subsequent periods with the expected warming under both scenarios, the hazard of an increase in moderate and heavy snowfalls generally decreases and for the RCP 8.5 scenario by the end of the century disappears in the majority of the country, but still remains above the average level in the north of the northern region mainly in Polissie, as well as in the far east and in some locations on the border of the eastern and southern regions between Zaporizhia and Donetsk regions. For the moderate concentration scenario RCP 4.5 by the end of the century, after the hazard decreases by mid-century, the hazard of moderate and heavy snowfalls by the end of the century increases again in the Carpathian highlands with an average value of 54% and in the western region with averaged value 59%. In the northern region, under this scenario, by mid-century, the highest average value among the regions was obtained, 62%, which decreases by the

регіоні за цим сценарієм на середину сторіччя отримано найбільше серед регіонів усереднене значення 62%, яке зменшується до кінця сторіччя до 55%, але все ще в межах високого рівня загрози підвищення цього чинника. Чинник кліматичного впливу щодо кількості днів із снігопадами ≥ 10 мм за добу матиме негативний вплив за умови збільшення на такі сектори економіки як управління ризиками стихійних лих, наземний транспорт (для ефективного перевезення, безпеки руху), енергетика та будівлі (наприклад, налипання мокрого снігу, навантаження на інфраструктурні об'єкти, забезпечення енергопостачання, логістика), сільське та лісове господарства (наприклад, пошкодження озимих, дерев), річковий стік, туризм тощо.

end of the century to 55%, but still within the high level of the hazard of an increase in this climatic impact driver.

The climatic impact driver of the number of days with snowfall ≥ 10 mm per day will have a negative impact and become hazard, if increased, for such economic sectors as disaster risk management, land transport (disturb efficient transportation, traffic safety), energy and buildings (e.g., wet snow accumulation, load on infrastructure facilities, ensuring energy supply, logistics), agriculture and forestry (e.g., damage to winter crops, trees), river runoff, tourism, etc.

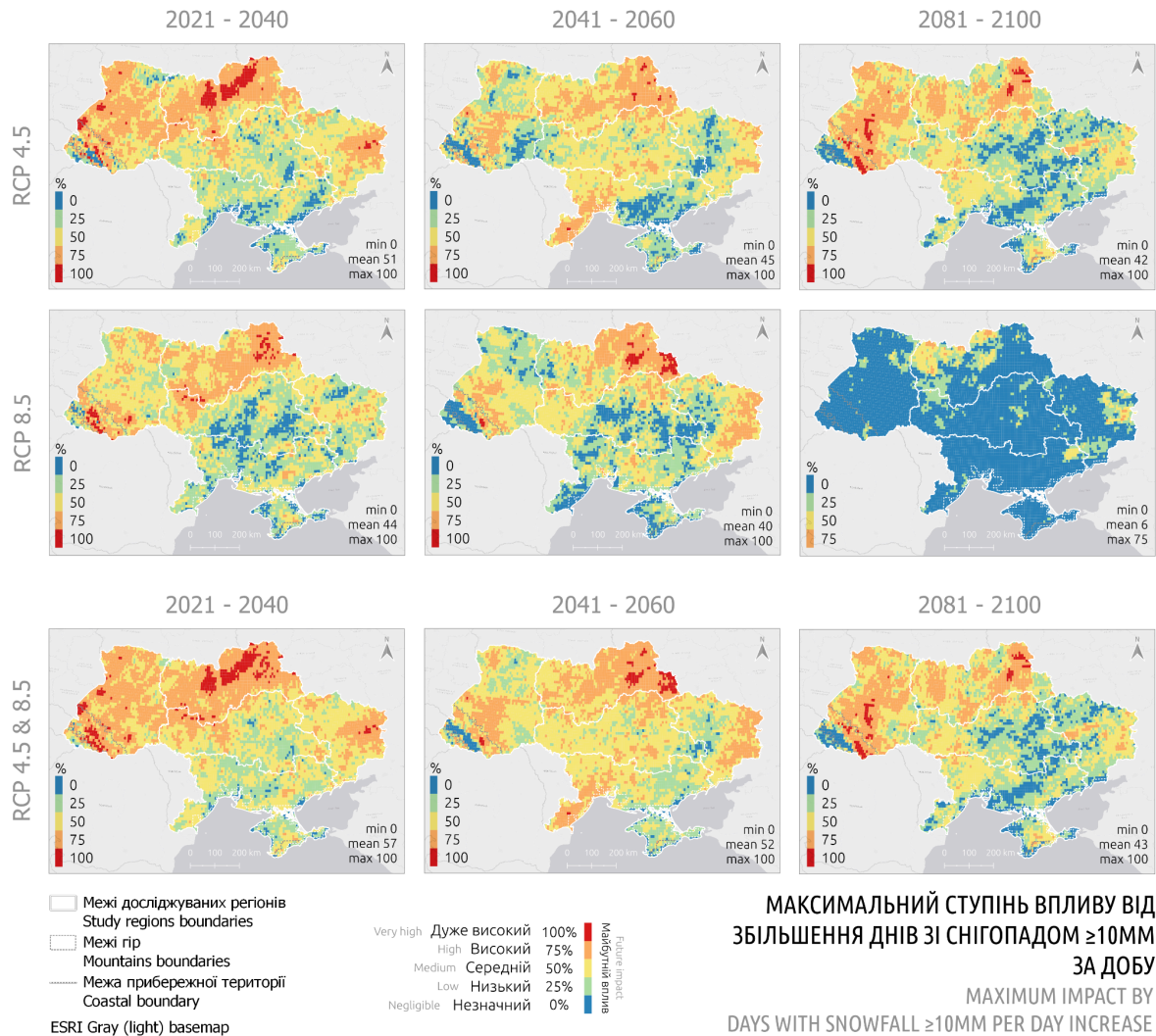


Рис.9. Загрози від збільшення днів із снігопадом > 10мм за добу за сценаріями помірних концентрацій (RCP 4.5), високих концентрацій (RCP 8.5) та об'єднаного сценарію (RCP 4.5 & 8.5) для трьох періодів до кінця XXI ст. відносно періоду 1991-2010

Fig. 9. Hazards from an increase of days with snowfalls > 10mm per day under scenarios of moderate concentrations (RCP 4.5), high concentrations (RCP 8.5), and combined scenario (RCP 4.5 & 8.5) for three periods until the end of the XXI century relative to the period 1991-2010

Табл.9. Статистичні характеристики загроз від збільшення днів із снігопадом > 10мм за добу до кінця XXI ст. за сценаріями RCP 4.5 і RCP 8.5 для 8 регіонів України

Table 9. Statistical characteristics of hazards from an increase of days with snowfalls > 10mm per day at the end of the 21st century under the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios for 8 regions of Ukraine

Moderate snowfall days (% of max impact)										
Region	Scenario	2021 - 2040			2041 - 2060			2081 - 2100		
		min	mean	max	min	mean	max	min	mean	max
West	RCP 4.5	0	62	100	0	42	100	0	59	100
	RCP 8.5	0	51	100	0	39	75	0	3	50
North	RCP 4.5	0	69	100	25	62	100	0	55	100
	RCP 8.5	0	64	100	0	59	100	0	16	75
Central	RCP 4.5	0	43	100	0	44	75	0	32	75
	RCP 8.5	0	35	100	0	35	75	0	3	50
East	RCP 4.5	0	54	100	0	41	75	0	34	75
	RCP 8.5	0	39	75	0	47	75	0	9	75
South	RCP 4.5	0	31	75	0	39	100	0	30	75
	RCP 8.5	0	30	75	0	28	75	0	2	50
Carpathian Mountains	RCP 4.5	0	57	100	0	35	75	0	54	100
	RCP 8.5	0	64	100	0	35	100	0	2	50
Crimean Mountains	RCP 4.5	0	40	75	0	24	50	0	32	75
	RCP 8.5	0	31	50	0	11	50	0	0	0
Coastal	RCP 4.5	0	16	50	0	24	75	0	14	50
	RCP 8.5	0	23	75	0	16	75	0	0	25

Вітер | Wind

Підвищення середньої швидкості вітру | Mean wind speed increase

Для розрахунків показника середньої швидкості приземного вітру для оцінки ступеня впливу і загрози від його зміни використано дані Інтерактивного Атласу (IA) Шостого звіту з оцінки фізичної основи зміни клімату першої робочої групи Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (WGI AR6 IPCC). Загроза визначається за негативним впливом і для цього кліматичного чинника це збільшення значень у майбутні кліматичні періоди. Збільшення

To calculate mean surface wind speed, data from the Interactive Atlas (IA) of the Sixth Assessment Report on the Physical Basis of Climate Change of the First Working Group of the Intergovernmental Panel on Climate Change (WGI AR6 IPCC) were used to assess the degree of impact and hazard from change of the CID. The hazard is determined by the negative impact and for this climatic driver, this is an increase in values in future climatic periods. An increase in wind speed negatively

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 спричинити 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 ефект. Також збільшення швидкості вітру у спекотні дні може зменшувати тепловий стрес як людей, так і екосистем. Наявність і збільшення швидкості вітру може покращити якість повітря на противагу 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 IA https://github.com/IPCC-WG1/Atlas/blob/main/data-sources/CORDEX/CORDEX-EUR_data.csv.

Для розрахованих значень в кожному вузлі сітки на території України визначено вплив відповідно до меж 5 ступенів як наведено в Табл.1, які трансформовано у відсотки за квантилями від 0 до 100%. Тобто, таким чином отримано загрози в категорії збільшення швидкості вітру, які представлені на картах рис.10 у

affects forestry and ecosystems, transport, buildings, and also increases evaporation from the land surface and water bodies and, accordingly, dries out the soil, contributing to its erosion and can cause evaporation of even small water bodies. At the same time, it is worth noting that an increase in average wind speed will contribute to greater generation of wind energy, i.e. it can also have a positive effect. Also, an increase in wind speed on hot days can reduce heat stress for both people and ecosystems. The presence and increase in wind speed can improve air quality in contrast to conditions when, in the absence or at low wind speeds, harmful pollutants accumulate in the surface layer of the atmosphere and, accordingly, conditions for the health of the population and ecosystems deteriorate.

In order to determine the long-term average wind speed, ensembles of Regional Climate Models (RCMs) of the European project Euro-CORDEX were used, which in this case had a resolution of $0.5 \times 0.5^\circ$. The obtained data were used for the following time periods: the base historical period 1981-2010 (48 RCMs) and three future ones 2021-2040, 2041-2060 and 2081-2100 for two scenarios RCP 4.5 (20 RCMs) and RCP 8.5 (48 RCMs). The list of models is given in the IA depository https://github.com/IPCC-WG1/Atlas/blob/main/data-sources/CORDEX/CORDEX-EUR_data.csv.

For the calculated values at each grid node in Ukraine, the impact was determined according to the limits of 5 degrees as given in Table 1, which were transformed into percentages by quartiles from 0 to 100%. That is, in this way, hazards in the category of increasing wind speed were obtained, which are presented on the maps of Fig. 10 as a percentage of the maximum, which corresponds to a very high impact and, accordingly, the hazard of an increase in average wind speed by more than 0.3 m/s

відсотках від максимальної, якій відповідає дуже високий вплив і відповідно загроза збільшення середньої швидкості вітру на більше за 0,3 м/с впродовж XXI ст. Статистичні характеристики отриманих загроз від збільшення швидкості вітру, а саме мінімальне, максимальне і усереднене значення, для трьох періодів і двох сценаріїв за визначеними 8 регіонами, наведені у Табл.10.

Найбільша загроза рівня середньої отримана в поточний період у високогір'ї Карпат для сценарію помірних концентрацій RCP 4.5, за яким і надалі в Карпатах залишається, але знижується загроза до низької. Також за сценарієм високих концентрацій RCP8.5 отримана загроза низького рівня переважно на кінець сторіччя в Житомирському Поліссі, на кордонах з Молдовою і в Передкарпатті. Взагалі не отримано загрози від збільшення швидкості вітру впродовж XXI ст. в прибережній зоні і в Кримських горах для сценарію RCP 8.5.

Для об'єднаного сценарію RCP 4.5 & 8.5 був знайдений максимум у кожному вузлі сітки із обох сценаріїв у кожному періоді, який для цієї загрози у поточному періоді відповідає сценарію RCP 4.5, а на середину та кінець століття - комбінує регіональні особливості з обох сценаріїв (рис. 10).

during the 21st century. Statistical characteristics of the obtained hazards from increasing wind speed, namely the minimum, maximum and averaged values, for three periods and two scenarios for the 8 identified regions, are given in Table 10. The highest hazard level of medium was obtained in the current period in the Carpathian highlands for the moderate concentration scenario RCP 4.5, according to which the hazard remains in the Carpathians, but decreases to low. Also, under the high concentration scenario, a low-level hazard was obtained mainly for the end of the century in Zhytomyr Polissya, on the borders with Moldova and in the Ciscarpathia. No hazard from an increase in wind speed was obtained at all during the 21st century in the coastal zone and in the Crimean mountains for the RCP 8.5 scenario.

For the combined RCP 4.5 & 8.5 scenario, a maximum was found at each grid node from both scenarios in each period, which for this hazard in the current period corresponds to the RCP 4.5 scenario, and for the mid- and end of the century - combines regional features from both scenarios (Fig. 10).

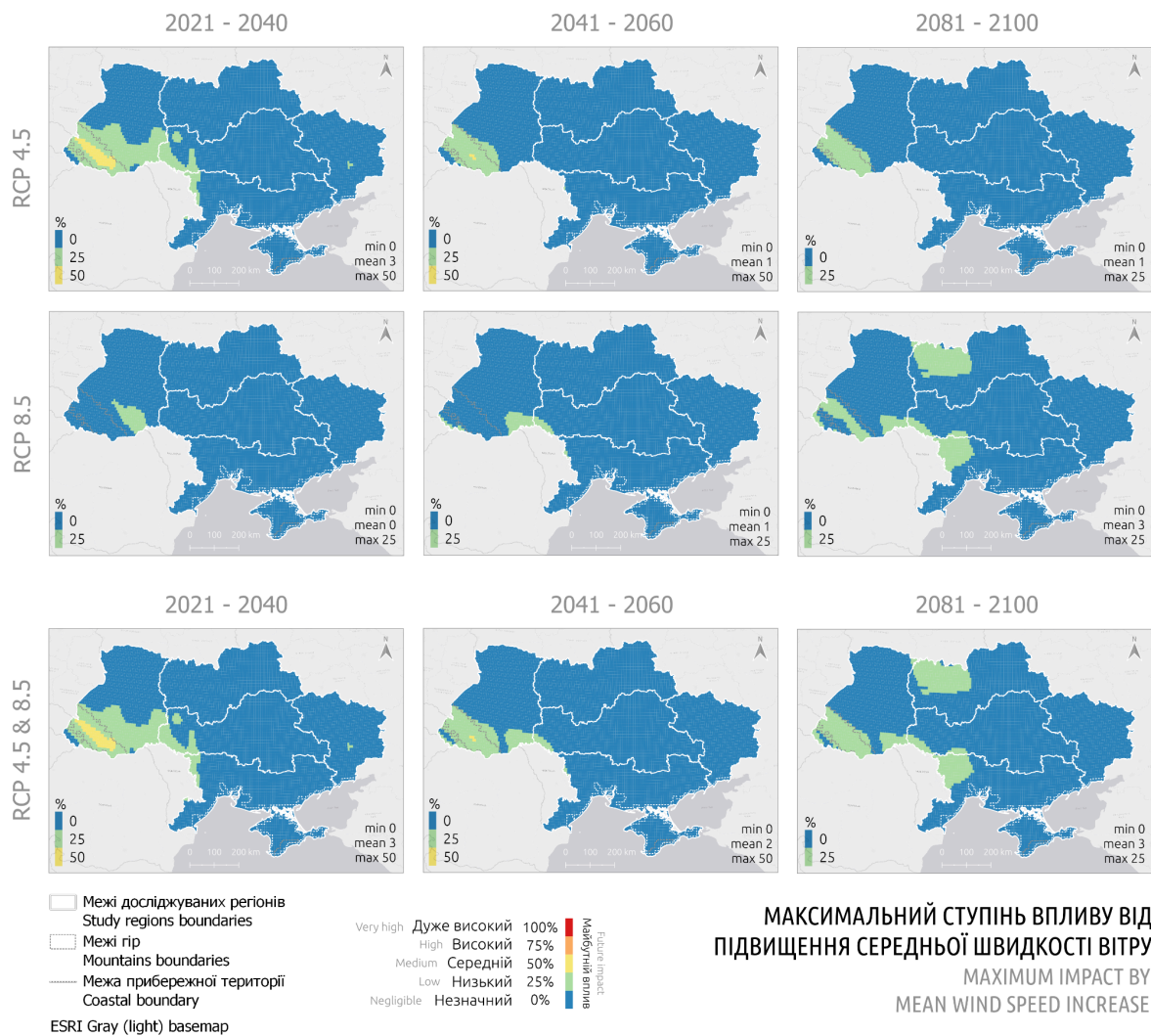


Рис.10. Загрози від збільшення швидкості вітру за сценаріями помірних концентрацій (RCP 4.5), високих концентрацій (RCP 8.5) та об'єднаного сценарію (RCP 4.5 & 8.5) для трьох періодів до кінця XXI ст. відносно періоду 1991-2010

Fig. 10. Hazards from an increase of wind speed under scenarios of moderate concentrations (RCP 4.5), high concentrations (RCP 8.5), and combined scenario (RCP 4.5 & 8.5) for three periods until the end of the XXI century relative to the period 1991-2010

Табл.10. Статистичні характеристики загроз від збільшення швидкості вітру до кінця XXI ст. за сценаріями RCP 4.5 і RCP 8.5 для 8 регіонів України

Table 10. Statistical characteristics of hazards from an increase of wind speed at the end of the 21st century under the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios for 8 regions of Ukraine

Mean wind speed (% of max impact)

Region	Scenario	2021 - 2040			2041 - 2060			2081 - 2100		
		min	mean	max	min	mean	max	min	mean	max
West	RCP 4.5	0	7	50	0	2	25	0	1	25
	RCP 8.5	0	2	25	0	2	25	0	2	25
North	RCP 4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RCP 8.5	0	0	0	0	0	0	0	6	25
Central	RCP 4.5	0	2	25	0	0	0	0	0	0
	RCP 8.5	0	0	0	0	1	25	0	1	25
East	RCP 4.5	0	0	25	0	0	0	0	0	0
	RCP 8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
South	RCP 4.5	0	1	25	0	0	25	0	0	0
	RCP 8.5	0	0	0	0	0	25	0	3	25
Carpathian Mountains	RCP 4.5	25	34	50	0	25	50	0	24	25
	RCP 8.5	0	0	0	0	0	0	0	14	25
Crimean Mountains	RCP 4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RCP 8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coastal	RCP 4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RCP 8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Збільшення поривів вітру | Wind gust increase

<p>Оцінка та розрахунок загрози збільшення екстремальності вітру 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. 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. Цей чинник має негативний вплив, коли зростатиме у майбутні кліматичні періоди. Разом із тим, варто зауважити,</p>	<p>The assessment and calculation of the hazard of increasing wind extremes was carried out by calculating the number of days per year when the maximum surface wind gust per day exceeded 6 balls on the Beaufort scale, i.e. 10.8 m/s. Strong winds and their increase are dangerous and disaster weather events. They can cause significant negative impacts on disaster risk management, energy infrastructure, buildings, cultural heritage, forestry and ecosystems, transport and other sectors. This CID has a negative impact when it increases in future climate periods. However, it is worth noting that, in contrast to the possible positive impact of increasing average wind speed for wind energy</p>
---	--

що на відміну від можливого позитивного впливу від збільшення середньої швидкості вітру для генерації вітрової енергії, якості повітря та здоров'я населення, збільшення кількості днів із штормовими поривами вітру не матиме жодного позитивного впливу.

Для розрахунку кількості днів, коли вітер перевищував швидкістю 10,8 м/с, використано добові дані про максимальний порив вітру (wsgsmax) 13 РКМ (Додаток) Euro-CORDEX, 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-річних періодів 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 розрахованих значень в кожному вузлі сітки на території України визначено вплив відповідно до меж 5 ступенів як наведено в Табл.1, які трансформовано у відсотки за квантилями від 0 до 100%. Тобто, таким чином отримано загрози в категорії збільшення днів із штормовими поривами вітру, які представлені на картах рис.11 у відсотках від максимальної, якій відповідає дуже високий вплив і відповідно загроза збільшення днів із поривами вітру понад 6 Бофорт на більше за 4 дні на рік впродовж XXI ст. Статистичні характеристики отриманих загроз від збільшення днів із штормовими поривами вітру, а саме мінімальне, максимальне і

generation, air quality and public health, an increase in the number of days with storm wind gusts will not have any positive impact.

To calculate the number of days when the wind speed exceeded 10.8 m/s, daily data on the maximum wind gust (wsgsmax) of 13 Euro-CORDEX RCMs (Appendix) with high resolution (0.1x0.1°) for two scenarios RCP 4.5 and RCP 8.5 in the historical baseline 1991-2010 and in three future periods: 2021-2040, 2041-2060 and 2081-2100 were used. Calculations were carried out for each of the 13 models separately for four 20-year periods using the CDO (Climate Data Operators) package using the function histcount, 10.8 (threshold value), 50.0 (maximum value). To recalculate the number of days per year, the resulting sum of days for each period was divided by 20 and averaged over the ensemble of 13 RCMs. After that, the change in the indicator for the two scenarios in future periods relative to the historical one was determined.

For the calculated values in each grid node on the territory of Ukraine, the impact was determined according to the limits of 5 degrees as given in Table 1, which were transformed into percentages by quartiles from 0 to 100%. That is, in this way, hazards were obtained in the category of increasing days with storm gusts of wind, which are presented on the maps of Fig. 11 as a percentage of the maximum, which corresponds to a very high impact and, accordingly, the hazard of increasing days with wind gusts above 6 Beaufort by more than 4 days per year during the 21st century. The statistical characteristics of the obtained hazards from the increase in days with stormy wind gusts, namely the minimum, maximum and averaged values, for three periods and two scenarios for the 8 identified regions, are given in Table 11.

The analysis of the increase in wind

усереднене значення, для трьох періодів і двох сценаріїв за визначеними 8 регіонами, наведені у Табл.11.

Аналіз збільшення екстремальності вітру не виявив загроз для сценарію RCP 4.5 на кінець сторіччя для всієї території України, а також для східного регіону у всі періоди за обома сценаріями.

Найбільші загрози середнього і буквально в деяких осередках високого рівня виявлено в західному регіоні, в Карпатах і Кримських горах, але більшою мірою на південному березі Криму на середину та кінець сторіччя за сценарієм RCP 8.5. У цілому, для обох сценаріїв у всі періоди у всіх регіонах усереднені значення відповідають або низькій, або незначній загрозі від збільшення поривів вітру.

Для об'єднаного сценарію RCP 4.5 & 8.5 був знайдений максимум у кожному вузлі сітки із обох сценаріїв у кожному періоді, який для цієї загрози у поточному періоді комбінує регіональні особливості з обох сценаріїв, а на середину та кінець століття - відповідає сценарію RCP 8.5 (рис. 11).

extremes did not reveal any hazards for the RCP 4.5 scenario by the end of the century for the entire territory of Ukraine, as well as for the eastern region in all periods under both scenarios. The greatest hazards of medium and literally in some areas of high level are found in the western region, in the Carpathians and the Crimean Mountains, but to a greater extent on the southern coast of Crimea by the middle and end of the century under the RCP 8.5 scenario. In general, for both scenarios in all periods in all regions the averaged values correspond to either low or negligible level of hazard from increase of wind gusts in Ukraine. For the combined RCP 4.5 & 8.5 scenario, a maximum was found at each grid node from both scenarios in each period, which for this hazard in the current period combines regional features from both scenarios, and for the middle and end of the century - corresponds to the RCP 8.5 scenario (Fig. 11).

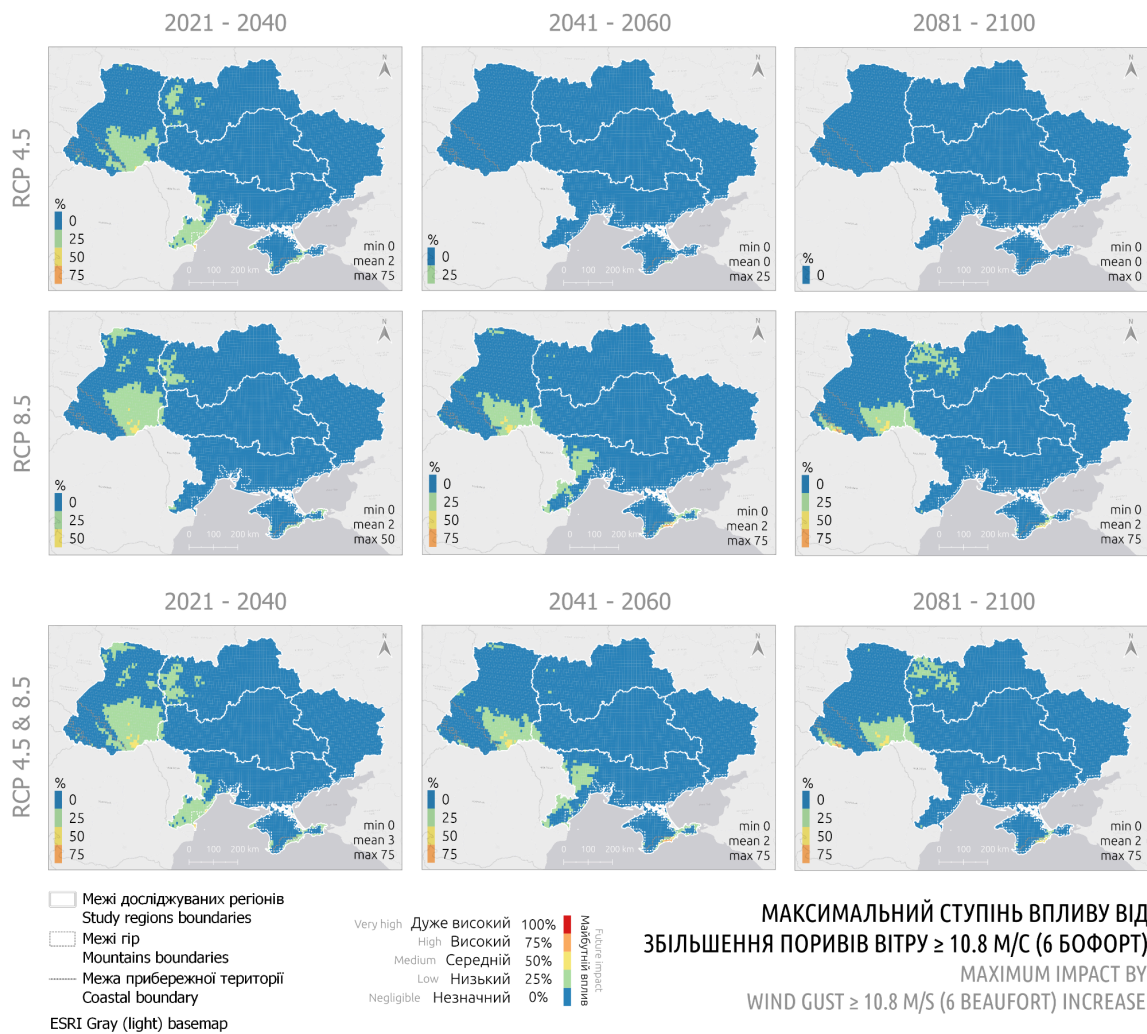


Рис.11. Загрози від збільшення швидкості вітру за сценаріями помірних концентрацій (RCP 4.5), високих концентрацій (RCP 8.5) та об'єднаного сценарію (RCP 4.5 & 8.5) для трьох періодів до кінця XXI ст. відносно періоду 1991-2010

Fig. 11. Hazards from an increase of wind speed under scenarios of moderate concentrations (RCP 4.5), high concentrations (RCP 8.5), and combined scenario (RCP 4.5 & 8.5) for three periods until the end of the XXI century relative to the period 1991-2010

Табл.11. Статистичні характеристики загроз від збільшення швидкості вітру до кінця XXI ст. за сценаріями RCP 4.5 і RCP 8.5 для 8 регіонів України

Table 11. Statistical characteristics of hazards from an increase of wind speed at the end of the 21st century under the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios for 8 regions of Ukraine

Wind gust (% of max impact)				
Region	Scenario	2021 - 2040	2041 - 2060	2081 - 2100

		min	mean	max	min	mean	max	min	mean	max
West	RCP 4.5	0	5	50	0	0	0	0	0	0
	RCP 8.5	0	9	50	0	5	50	0	5	75
North	RCP 4.5	0	1	25	0	0	0	0	0	0
	RCP 8.5	0	1	25	0	0	25	0	2	25
Central	RCP 4.5	0	0	25	0	0	0	0	0	0
	RCP 8.5	0	0	25	0	0	25	0	1	25
East	RCP 4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RCP 8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
South	RCP 4.5	0	3	25	0	0	0	0	0	0
	RCP 8.5	0	0	25	0	3	25	0	0	25
Carpathian Mountains	RCP 4.5	0	4	25	0	0	0	0	0	0
	RCP 8.5	0	0	0	0	1	25	0	1	75
Crimean Mountains	RCP 4.5	0	2	25	0	0	0	0	0	0
	RCP 8.5	0	1	25	0	5	50	0	2	25
Coastal	RCP 4.5	0	6	75	0	1	25	0	0	0
	RCP 8.5	0	3	25	0	7	75	0	2	50

Прибережні | Coastal

Підвищення відносного рівня моря | Relative sea level rise increase

<p>Для оцінки зміни рівня Чорного моря на північному узбережжі використано дані базового періоду та майбутніх проєкцій з проєкту EU JRC LISCOAST “Large Scale Integrated Sea-level and Coastal Assessment Tool” (“Великомасштабний інтегрований інструмент оцінки рівня моря та прибережних територій”).</p> <p>Набори даних представляють собою змодельований розподіл загального рівня води вздовж узбережжя (англ. Total Water Level, TWL). TWL вираховується з динамічного моделювання головних гідродинамічних компонентів рівня моря</p>	<p>To assess the change in the level of the Black Sea on the northern coast, baseline data and future projections from the EU JRC LISCOAST project “Large Scale Integrated Sea-level and Coastal Assessment Tool” were used.</p> <p>The datasets represent the simulated distribution of the total water level (TWL) along the coast. TWL is calculated from dynamic simulations of the main hydrodynamic components of sea level (mean sea level, tides, storm surges and waves) obtained from an ensemble of 6 climate models for the period from</p>
--	---

(середній рівень моря, припливи, штормові нагони та хвилі), отриманих з ансамблю 6-ти кліматичних моделей для періоду від 01/12/1969 до 30/11/2004 (базовий період) та з ансамблю з 8-ми кліматичних моделей для періоду від 1/12/2009 до 30/11/2099 на початок (2021 - 2040), середину (2041 - 2060) та кінець (2081 - 2100) сторіччя для репрезентативних сценаріїв концентрацій RCP 4.5 (помірних рівень) та RCP 8.5 (високий рівень).

Виходячи з проведеного аналізу, загроза від підвищення рівня моря розподіляється рівномірно по всій лінії узбережжя та має однакові значення для обох сценаріїв у відповідних періодах. У майбутньому очікується поступове збільшення загрози, яке у поточному періоді становитиме 25% (низька загроза) вздовж усього узбережжя для обох сценаріїв, на середину сторіччя 50% (середній рівень загрози) і підніметься до максимальних 100% і дуже високого рівня загрози до кінця XXI сторіччя.

Для об'єднаного сценарію RCP 4.5 & 8.5 був знайдений максимум у кожному вузлі сітки із обох сценаріїв у кожному періоді, який для цієї загрози по всій території прибережжя України відповідає даним одночасно двох сценаріїв (рис. 12).

01/12/1969 to 30/11/2004 (baseline period) and from an ensemble of 8 climate models for the period from 1/12/2009 to 30/11/2099 for the beginning (2021 - 2040), middle (2041 - 2060) and end (2081 - 2100) of the century for representative concentration scenarios RCP 4.5 (moderate level) and RCP 8.5 (high level).

Based on the analysis, the hazard from sea level rise is distributed evenly along the entire coastline and has the same values for both scenarios in the corresponding periods. In the future, a gradual increase in the hazard is expected, which in the current period will be 25% (low hazard) along the entire coast for both scenarios, by mid-century 50% (medium hazard level) and will rise to a maximum of 100% and a very high hazard level by the end of the 21st century.

For the combined scenario RCP 4.5 & 8.5, a maximum was found at each grid node from both scenarios in each period, which for this hazard across the entire coastal territory of Ukraine corresponds to the data of both scenarios simultaneously (Fig. 12).

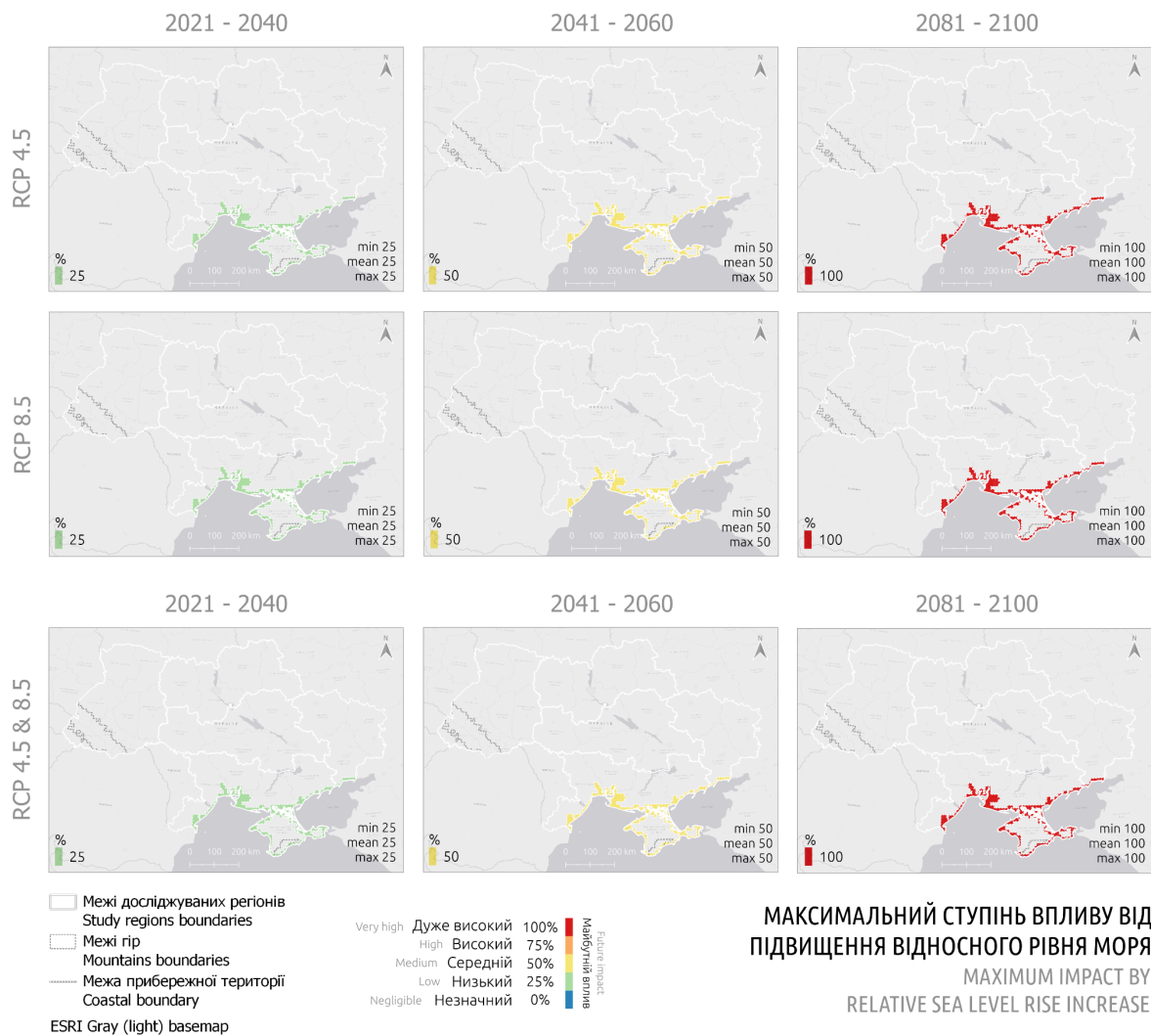


Рис.12. Загрози від підвищення відносного рівня моря за сценаріями помірних концентрацій (RCP 4.5), високих концентрацій (RCP 8.5) та об'єднаного сценарію (RCP 4.5 & 8.5) для трьох періодів до кінця XXI ст. відносно періоду 1991-2010

Fig. 12. Hazards from relative sea level rise under scenarios of moderate concentrations (RCP 4.5), high concentrations (RCP 8.5), and combined scenario (RCP 4.5 & 8.5) for three periods until the end of the XXI century relative to the period 1991-2010

Relative sea level rise (% of max impact)										
Region	Scenario	2021 - 2040			2041 - 2060			2081 - 2100		
		min	mean	max	min	mean	max	min	mean	max
Coastal	RCP 4.5	25	25	25	50	50	50	100	100	100
	RCP 8.5	25	25	25	50	50	50	100	100	100

Для відображення екстремальної висоти нагонних хвиль (англ. Extreme Surge Storm Level, ESSL) на північному узбережжі Чорного та Азовського морів використано дані базового періоду та майбутніх проєкцій з проєкту EU JRC LISCOAST "Large Scale Integrated Sea-level and Coastal Assessment Tool" ("Великомасштабний інтегрований інструмент оцінки рівня моря та прибережних територій").

Набори даних представляють собою набори показників екстремальної висоти нагонних хвиль, розраховані з ансамблю 8-ми кліматичних моделей за період від 01/12/1969 до 30/11/2004 (базовий історичний період) і з ансамблю 8-ми кліматичних моделей для періоду від 1/12/2009 до 30/11/2099 для сценаріїв репрезентативних шляхів концентрацій RCP 4.5 (помірний рівень) та RCP 8.5 (високий рівень) і 8 періодів повторюваності події: раз на 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 років відповідно до підходу Пікового Перевищення Порогу (англ. Peak Over Threshold, POT).

Для аналізу не використовували результати для повторюваностей раз на 5 і 10 років, оскільки рахувалося, що вони найменш екстремальні, для оцінки ризиків підтоплення краще орієнтуватися на більш екстремальні події, які траплятимуться не так часто (рис.13). Виходячи з проведеного аналізу, в майбутньому очікується поступове підвищення екстремальної висоти нагонних хвиль.

На рис.14 зображено результати для періодів повторюваності 20, 50 і 100 років відповідно. Протягом усіх періодів найбільша загроза спостерігається на

To display the extreme surge storm level (ESSL) on the northern coast of the Black and Azov Seas, baseline and future projection data from the EU JRC LISCOAST project "Large Scale Integrated Sea-level and Coastal Assessment Tool" were used.

The datasets are sets of extreme surge height indicators calculated from an ensemble of 8 climate models for the period from 01/12/1969 to 30/11/2004 (baseline historical period) and from an ensemble of 8 climate models for the period from 1/12/2009 to 30/11/2099 for representative concentration pathways RCP 4.5 (moderate level) and RCP 8.5 (high level) concentration scenarios and 8 event return periods: once every 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 years according to the Peak Over Threshold (POT) approach.

The results for the 5- and 10-year return periods were not used for the analysis, as they were considered to be the least extreme; for the assessment of flooding risks, it is better to focus on more extreme events that will occur less frequently (Fig. 13). Based on the analysis, a gradual increase in the extreme height of surge waves is expected in the future.

Fig. 14 shows the results for return periods of 20, 50 and 100 years, respectively. During all periods, the greatest hazard is observed on the coast of the Sea of Azov and reaches 100% (very high level), while the Black Sea coast has a negligible or low hazard levels. In the high concentration scenario RCP 8.5, by the end of the century, the wave height moves to the medium hazard level and reaches 27% on average along the entire coast within Ukraine.

узбережжі Азовського моря і досягає 100% (дуже високий рівень), у той час як узбережжя Чорного моря має незначну або низьку загрозу. У сценарії високих концентрацій RCP 8.5 на кінець століття висота хвиль переходить до середнього рівня загрози і досягає 27% в середньому по всьому узбережжю України.

Для об'єднаного сценарію RCP 4.5 & 8.5 був знайдений максимум у кожному вузлі сітки із обох сценаріїв у кожному періоді, який для цієї загрози по всій території прибережжя України відповідає сценарію RCP 8.5 (рис. 13).

For the combined RCP 4.5 & 8.5 scenario, a maximum was found at each grid node from both scenarios in each period, which for this hazard across the entire Ukrainian coastline corresponds to the RCP 8.5 scenario (Fig. 13).

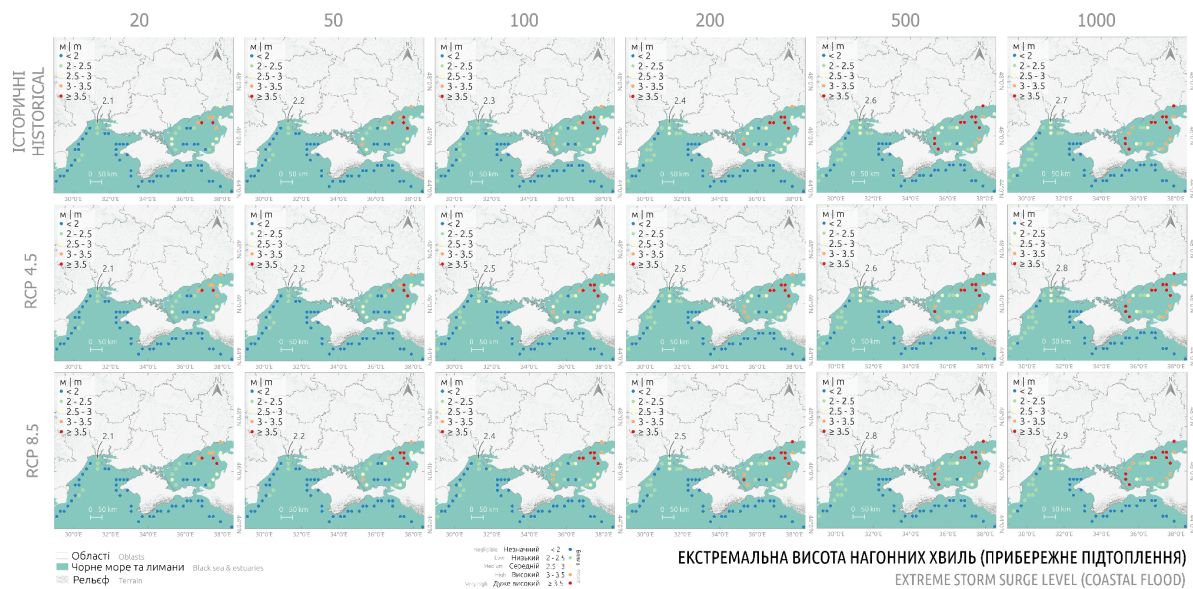


Рис. 13. Екстремальна висота нагонних хвиль в історичний період та за двома сценаріями помірних та високих концентрацій вказаної частоти повторюваності подій

Fig. 13. Extreme height of surge waves in the historical period and under two scenarios of moderate and high concentrations of the specified return periods of events

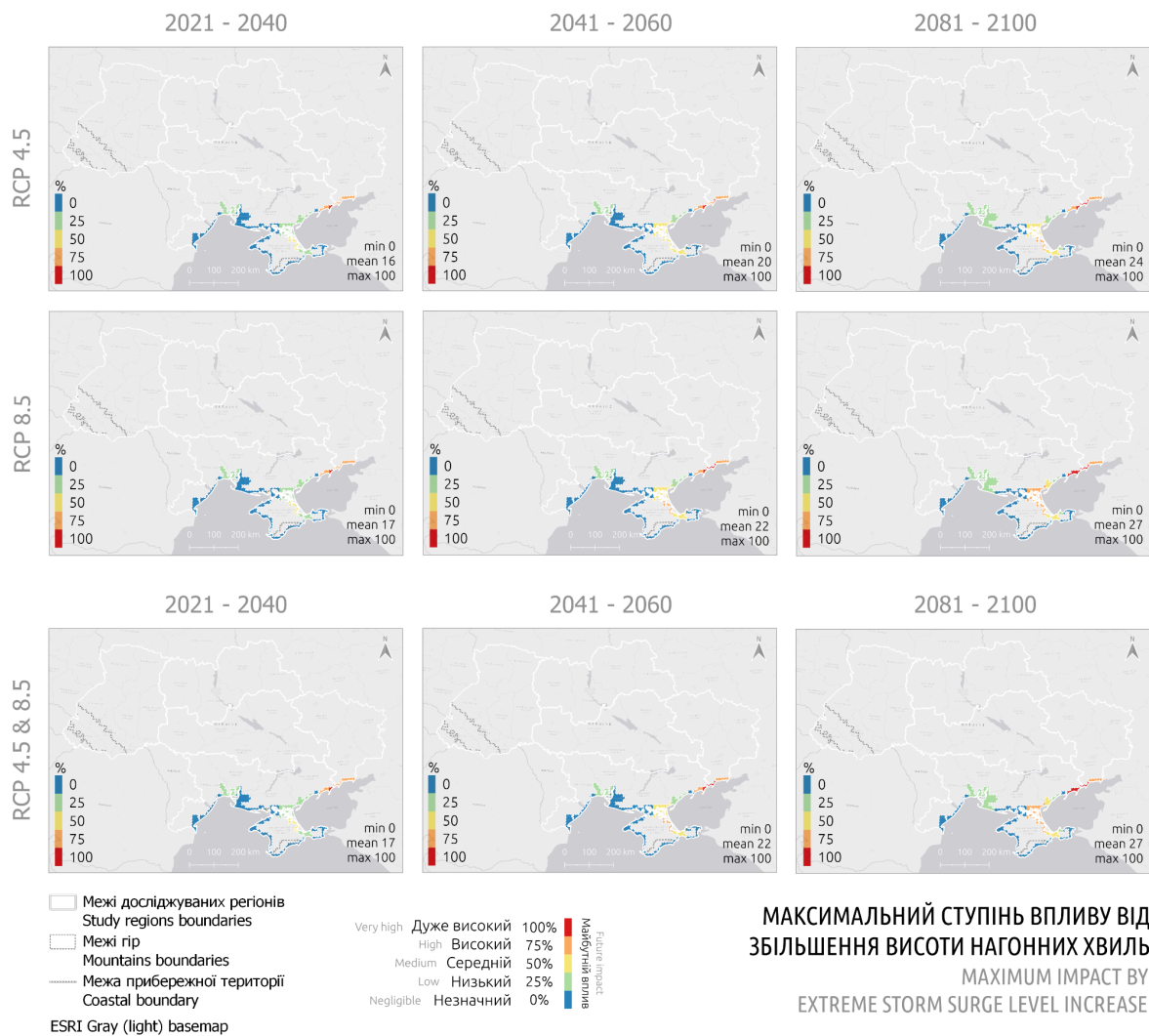


Рис.14. Загрози від збільшення висоти екстремальних нагонних хвиль за сценаріями помірних концентрацій (RCP 4.5), високих концентрацій (RCP 8.5) та об'єднаного сценарію (RCP 4.5 & 8.5) для трьох періодів до кінця XXI ст.. відносно періоду 1991-2010

Fig. 14. Hazards from an increase of extreme storm surge levels under scenarios of moderate concentrations (RCP 4.5), high concentrations (RCP 8.5), and combined scenario (RCP 4.5 & 8.5) for three periods until the end of the XXI century relative to the period 1991-2010

		ESSL (% of max impact)								
Region	Scenario	2021 - 2040			2041 - 2060			2081 - 2100		
		min	mean	max	min	mean	max	min	mean	max
Coastal	RCP 4.5	0	16	100	0	20	100	0	24	100
	RCP 8.5	0	17	100	0	22	100	0	27	100

Максимальні загрози по регіонах | Maximum Hazards by Regions

Представлений вище аналіз отриманих загроз на мапах рис.2-14 свідчить про просторові неоднорідності для деяких чинників кліматичного впливу, предусім тих, які характеризують екстремальні умови: сильні опади, снігопади, посухи, пожежонебезпечну погоду, пориви вітру і висоту нагонних хвиль. Для зручності і можливості порівнювати вплив загроз як у самому регіоні за сценаріями і категоріями чинників, так і з іншими регіонами, для кожного регіону були побудовані 6 гістограм для двох сценаріїв і трьох періодів до кінця XXI ст., де кольорами з числами позначено внесок зміни кожної категорії чинників у загальну загрозу від зміни кліматичних умов (рис.15). Для цього в кожному регіоні визначалися максимальні ступені впливу по кожній із загроз у відсотках, які діленням на 10 трансформувалися в оцінки в межах 10 балів, які потім підсумовувалися для усіх 10-и категорій окрім двох прибережних. Таким чином для усіх регіонів окрім прибережного для 10-и категорій загроз максимально можлива оцінка відповідатиме також 100%, а для прибережних вона також буде 100% за рахунок об'єднання і визначення максимальної загрози серед пари чинників вітру (середня швидкість і пориви) і пари прибережних чинників (підняття рівня моря і підвищення екстремальної висоти нагонних хвиль). При цьому для кожної категорії можна ідентифікувати отриманий рівень максимальної загрози за балами, які наведено на стовпчиках. Відсутність кольору свідчить про відсутність загрози від зміни чинників у відповідній категорії; 2,5 відповідає незначній загрозі; 5 - це середній рівень загрози; 7.5 і 10 - високий

The analysis of the obtained hazards presented on the maps of Fig. 2-14 above indicates spatial heterogeneity for some climatic impact drivers, primarily those that characterize extreme conditions: heavy precipitation and snowfalls, droughts, fire-danger weather, wind gusts and the height of surge waves. For convenience and the ability to compare the impact of hazards both within the region itself by scenarios and categories of drivers and with other regions, 6 histograms were constructed for each region for two scenarios and three periods until the end of the 21st century, where the contribution of changes in each category of drivers to the overall hazard from climate change is indicated by colors with numbers (Fig. 15). For this, in each region, the maximum degrees of impact for each of the hazards were determined in percentages, which, by dividing by 10, were transformed into scores within 10 points, which were then summed for all 10 categories except for the two coastal ones. Thus, for all regions except the coastal region, for the 10 hazard categories, the maximum possible score will also correspond to 100%, and for coastal regions it will be higher with a maximum of 120% due to the added points from sea level rise and an increase in the extreme height of surge waves. At the same time, for each category, the maximum obtained hazard level can be identified by the points given on the columns. The absence of color indicates the absence of hazard from changing drivers in the corresponding category; 2.5 corresponds to a low hazard; 5 is a medium hazard level; 7.5 and 10 are high and very high hazard levels, respectively. Next, we will consider the maximum by

і дуже високий рівні загрози відповідно. Далі розглянемо максимальні за категоріями та сумарні рівні загроз по регіонах, сценаріях і періодах до кінця XXI ст., які представлено на рис.15.

categories and summed hazard levels by regions, scenarios and periods until the end of the 21st century, which are presented in Fig. 15.

Захід | West

Для західного регіону впродовж XXI ст. для усіх періодів та обох сценаріїв залишається дуже високою загроза збільшення екстремальних опадів, які можуть призводити до злив і дощових паводків (10 балів на рис.15). Також для сценарію RCP 4.5 дуже висока загроза від збільшення днів із снігопадами понад 10 мм, хоча за сценарієм RCP 8.5 вона поступово зменшується, вочевидь через стрімкіше потепління і все менше опадів у вигляді снігу. Це підтверджує отримане наростання загрози зменшення снігового покриву і опадів у вигляді снігу від високої у поточний період до дуже високої надалі для обох сценаріїв. Загроза підвищення середньої температури та спеки дуже висока лише на кінець сторіччя за сценарієм RCP 8.5, в попередні періоди вона висока, а для сценарію RCP 4.5 лише середня. Також для обох сценаріїв загроза середня і від збільшення посухи, лише на середину сторіччя за сценарієм RCP 8.5 отримано високу загрозу підвищення цього чинника. Посухи безпосередньо пов'язані із зменшенням кількості опадів, але в західному регіоні лише низький рівень загрози зміни цього чинника отримано для всіх періодів за сценарієм RCP 8.5, а для RCP 4.5 тільки у поточний період. Натомість від пожежонебезпечної погоди отримано дуже високу загрозу на кінець і високу на середину сторіччя за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5, хоча для сценарію помірних концентрацій

For the western region during the 21st century, for all periods and both scenarios, the hazard of an increase in extreme precipitation, which can lead to heavy rains and flash floods, remains very high (10 points in Fig. 15). Also, for the RCP 4.5 scenario, the hazard of an increase in days with snowfall over 10 mm is very high, although under the RCP 8.5 scenario it gradually decreases, apparently due to faster warming and less precipitation in the form of snow. This confirms the resulting increase in the hazard of a decrease in snow cover and precipitation in the form of snow from high in the current period to very high in the future for both scenarios. The hazard of an increase in average temperatures and heat is very high only by the end of the century under the RCP 8.5 scenario, in previous periods it is high, and for the RCP 4.5 scenario it is only medium. Also, for both scenarios, the hazard is medium from increasing drought, only for the middle of the century under the RCP 8.5 scenario a high hazard of increasing this driver was obtained. Droughts are directly related to the decrease in mean precipitation, but in the western region only a low level of hazard of changing this CID was obtained for all periods under the RCP 8.5 scenario, and for RCP 4.5 only in the current period. In contrast, from fire-danger weather a very high hazard was obtained for the end and high for the middle of the century under the high-concentration RCP 8.5 scenario, although for the

RCP 4.5 отримано відсутність загрози у поточний період і низький рівень із середини до кінця сторіччя. Для показників підвищення швидкості і поривів вітру у поточний період найбільшу загрозу середнього рівня отримано для обох сценаріїв для поривів і для помірного сценарію для збільшення швидкості вітру. Загроза підвищення швидкості вітру стає низькою з середини до кінця сторіччя для помірного сценарію і лишається низькою для усіх періодів за сценарієм високих концентрацій, для якого загроза збільшення поривів вітру вже на рівні середньої зберігається впродовж всього століття.

Таким чином, сумарна загроза зміни усіх категорій чинників кліматичного впливу у західному регіоні складає від 50 до 72,5% впродовж XXI сторіччя. При цьому у поточний період сумарна загроза однакова для обох сценаріїв і складає 55%, але надалі знижується до 50% і на кінець сторіччя знову сягає 55% для сценарію помірних концентрацій RCP 4.5, але значно зростає для сценарію високих концентрацій RCP 8.5 на середину сторіччя до 65% і до 72,5% на кінець.

moderate-concentration RCP 4.5 scenario an absence of hazard in the current period and a low level from the middle to the end of the century were obtained. For CIDs of increasing wind speed and gusts in the current period, the highest medium-level hazard was obtained for both scenarios for gusts and for the moderate scenario for increasing wind speed. The hazard of increasing wind speed becomes low from the middle to the end of the century for the moderate scenario and remains low for all periods under the high concentration scenario, for which the hazard of increasing wind gusts remains at the medium level throughout the century.

Thus, the total hazard of change in all categories of climate impact factors in the western region is from 50 to 72.5% during the century. At the same time, in the current period the total hazard is the same for both scenarios and is 55%, but further decreases to 50% and by the end of the century again reaches 55% for the moderate concentration scenario RCP 4.5, but increases significantly for the high concentration scenario RCP 8.5 to 65% by the middle of the century and to 72.5% by the end.

Північ | North

Для північного регіону отримано схожі із західним оцінки максимальних загроз від зміни чинників кліматичного впливу. Так впродовж XXI ст. для усіх періодів та обох сценаріїв отримано дуже високу загрозу збільшення екстремальних опадів, які можуть спричиняти сильні зливи і дощові паводки (10 балів на рис.15). Також для обох сценаріїв дуже висока загроза від збільшення днів із снігопадами понад 10 мм, хоча за сценарієм RCP 8.5 вона зменшується до

For the northern region, similar estimates of maximum hazard from changes in climatic impact drivers were obtained. Thus, during the 21st century, for all periods and both scenarios, a very high level of hazard of an increase in extreme precipitation, which can cause heavy downpours and flash floods, was obtained (10 points in Fig. 15). Also, for both scenarios, the hazard from an increase in days with snowfall over 10 mm is very high, although under the RCP 8.5 scenario it decreases to high by the end of the

високої на кінець сторіччя, вочевидь через стрімкіше потепління і все менше опадів у вигляді снігу. Це підтверджує отримане наростання загрози зменшення снігового покриву і опадів у вигляді снігу від високої і середньої для сценаріїв помірної і високої концентрації відповідно у поточний період до високої на середину і дуже високої до кінця сторіччя для обох сценаріїв. Загроза підвищення середньої температури та спеки дуже висока лише на кінець сторіччя за сценарієм RCP 8.5, в попередні періоди вона висока, а для сценарію RCP 4.5 лише середня до середини сторіччя. Також для обох сценаріїв загроза середня і від збільшення посухи, лише на середину сторіччя за сценарієм RCP 8.5 отримано високу загрозу підвищення цього чинника аналогічно до західного регіону. Посухи безпосередньо пов'язані із зменшенням кількості опадів, і в північному регіоні рівень загрози цього чинника зростає від низького для поточного, середнього на середину до високого рівня на кінець сторіччя за обома сценаріями. Натомість так само, як і у західному регіоні від пожежонебезпечної погоди отримано дуже високу загрозу на кінець і високу на середину сторіччя з відсутністю загрози у поточний період за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5, хоча для сценарію помірних концентрацій RCP 4.5 отримано також відсутність загрози у поточний період і низький рівень із середини до кінця сторіччя. Для показників підвищення швидкості і поривів вітру для північного регіону отримано у цілому менші рівні загрози порівняно із західним. Так для обох сценаріїв у поточний період отримано низький рівень загрози від збільшення поривів вітру. Низький рівень загрози поривів вітру зберігається для сценарію RCP 8.5 впродовж сторіччя і на кінець додається також низький рівень загрози для збільшення швидкості вітру. Таким чином, сумарна загроза зміни усіх

century, apparently due to more rapid warming and less precipitation in the form of snow. This confirms the obtained increase in the hazard of a decrease in snow cover and precipitation in the form of snow from high and medium for the moderate and high concentration scenarios, respectively, in the current period to high in the middle and very high by the end of the century for both scenarios. The hazard of an increase in average temperature and heat is very high only by the end of the century under the RCP 8.5 scenario, it is high in previous periods, and for the RCP 4.5 scenario, it is only medium until the middle of the century. Also, for both scenarios, the hazard is medium from increased drought, only by the middle of the century under the RCP 8.5 scenario, a high hazard level of an increase in this driver was obtained, similar to the western region. Droughts are directly related to a decrease in precipitation, and in the northern region, the level of hazard of this CID increases from low for the current period, medium at the mid-century to high levels by the end of the century under both scenarios. Instead, just as in the western region, fire-dangerous weather is projected to have a very high hazard level at the end and high at mid-century with no hazard in the current period under the high-concentration RCP 8.5 scenario, although for the moderate-concentration RCP 4.5 scenario, there is also no hazard in the current period and a low level from mid- to late-century. For the indicators of increased wind speed and gusts, the northern region has generally lower hazard levels compared to the western region. Thus, for both scenarios, a low hazard level from increased wind gusts is projected in the current period. The same low hazard level for wind gusts is maintained for the RCP 8.5 scenario throughout the century, and a low hazard level for increased wind speed is also added at the end. Thus, the total

категорій чинників кліматичного впливу у північному регіоні має більший розкид значень, ніж у західному, і складає від 45% до 75% впродовж XXI сторіччя за обома сценаріями. При цьому у поточний період сумарна загроза менша для сценарію RCP 8.5 (45%) і більша (47.5%) для сценарію RCP 4.5. Але надалі темпи зростання загроз за сценарієм RCP 8.5 збільшуються і вже із середини сторіччя значно перевищують сумарну загрозу за сценарієм RCP 4.5: 50% на середину і 60% на кінець сторіччя проти 62.5% і 75% для сценарію високих концентрацій RCP 8.5 на середину і кінець сторіччя відповідно.

hazard of changes in all categories of climatic impact drivers in the northern region has a greater spread of values than in the western region, and is from 45% to 75% during the 21st century under both scenarios. At the same time, in the current period, the total hazard level is lower for the RCP 8.5 scenario (45%) and higher (47.5%) for the RCP 4.5 scenario. However, in the future, the growth rates of hazards under the RCP 8.5 scenario increase and already from the middle of the century significantly exceed the total hazard under the RCP 4.5 scenario: 50% by the middle and 60% by the end of the century versus 62.5% and 75% for the high-concentration RCP 8.5 scenario for the middle and end of the century, respectively.

Центр | Center

Для центрального регіону у цілому отримано схожі оцінки із західним та північним регіонами, але з посиленням загроз, що пов'язані із зменшенням зволоження. При цьому так само впродовж XXI ст. для усіх періодів та обох сценаріїв зберігається дуже висока загроза збільшення екстремальних опадів, які можуть спричиняти сильні зливи і дощові паводки (10 балів на рис.15). Разом із тим в центрі отримано дещо менші загрози від збільшення днів із снігопадами понад 10 мм, хоча для обох сценаріїв дуже висока загроза залишається у поточний період із зменшенням рівня загрози до високої на середину та до кінця сторіччя за сценарієм помірних концентрацій RCP 4.5. Але за сценарієм RCP 8.5 загроза зменшується до середньої на кінець сторіччя, вочевидь через стрімкіше потепління і все менше опадів у вигляді снігу. Це підтверджує отримане наростання загрози зменшення снігового

For the central region, similar assessments were obtained as for the western and northern regions, but with increased hazards associated with reduced moisture. At the same time, throughout the 21st century remains a very high hazard level of increased extreme precipitation, which can cause heavy downpours and flash floods, for all periods and both scenarios (10 points in Fig. 15). At the same time, in the center, slightly lower hazards from an increase in days with snowfalls over 10 mm are obtained, although for both scenarios the very high hazard level remains in the current period with a decrease in the hazard level to high by the middle and end of the century under the moderate concentration scenario RCP 4.5. But under the RCP 8.5 scenario, the hazard decreases to medium by the end of the century, apparently due to more rapid warming and less precipitation in the form of snow. This confirms the obtained increase in the hazard of a decrease in snow cover and precipitation in

покриву і опадів у вигляді снігу від середньої для обох сценаріїв у поточний період до високої на середину і дуже високої до кінця сторіччя для сценарію RCP 8.5 та середньої і високої для RCP 4.5 відповідно. На відміну від західного і північного регіонів, для центру отримано високий рівень загрози від збільшення посухи впродовж всього сторіччя для RCP 4.5. Також високий рівень загрози у поточний період за сценарієм RCP 8.5, але з середини сторіччя отримано дуже високу загрозу підвищення цього чинника на відміну від вказаних регіонів. Посухи безпосередньо пов'язані із зменшенням кількості опадів, і в центрі рівень загрози цього чинника зростає від високого у поточний період і на середину сторіччя до дуже високого рівня на кінець сторіччя за обома сценаріями. Схожий до північного і західного регіону розподіл загроз від пожежонебезпечної погоди отримано і в центральному. Так дуже високу загрозу на кінець, високу на середину сторіччя і низьку у поточний період отримано за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5, хоча для сценарію помірних концентрацій RCP 4.5 отримано відсутність загрози у поточний період і надалі середній і високий рівень на середину і кінець сторіччя відповідно. Загрози підвищення середньої температури повітря та спеки дуже високі лише на кінець сторіччя за сценарієм RCP 8.5, в попередні періоди загроза підвищення спеки висока для обох сценаріїв, а для середньої температури повітря загроза середня для сценарію RCP 4.5 до середини сторіччя і для RCP 8.5 лише у поточний період із збільшенням до високої на середину сторіччя. Для показників підвищення швидкості і поривів вітру для центрального регіону отримано проміжні рівні загрози між західним і північним. Так для обох сценаріїв у поточний період отримано низький рівень загрози від

the form of snow from medium for both scenarios in the current period to high in the middle and very high by the end of the century for the RCP 8.5 scenario and medium and high for RCP 4.5, respectively. In contrast to the western and northern regions, a high level of hazard from increased drought throughout the century for RCP 4.5 was obtained for the center region. Also, a high level of hazard in the current period according to the RCP 8.5 scenario, but from the middle of the century a very high hazard of an increase in this CID was obtained, unlike the indicated above regions. Droughts are directly related to a decrease in precipitation, and in the center the level of hazard from this CID increases from high in the current period and by the middle of the century to a very high level by the end of the century according to both scenarios. A similar distribution of hazards from fire-dangerous weather was obtained in the central region. Thus, a very high hazard at the end, high at mid-century, and low in the current period were obtained under the high concentration scenario RCP 8.5, although for the moderate concentration scenario RCP 4.5, no hazard was obtained in the current period and further medium and high levels were obtained for the middle and end of the century, respectively. The hazard of an increase in average air temperature and heat is very high only by the end of the century under the RCP 8.5 scenario, in previous periods the hazard of an increase in heat is high for both scenarios, and for rising mean air temperature the hazard is medium for the RCP 4.5 scenario until mid-century and for RCP 8.5 only in the current period with an increase to high by mid-century. For indicators of increasing wind speed and gusts for the central region, intermediate hazard levels between western and northern were obtained. Thus, for both scenarios in the current period, a low level of hazard from increased wind gusts was

<p>збільшення поривів вітру, але для сценарію RCP 4.5 також додається низький рівень загрози від підвищення швидкості вітру. Низький рівень загрози поривів вітру зберігається для сценарію RCP 8.5 впродовж сторіччя і з середини до кінця сторіччя додається також низький рівень загрози від збільшення швидкості вітру. Таким чином, сумарна загроза зміни усіх категорій чинників кліматичного впливу у центральноміу регіоні має найбільше значення 80% серед усіх регіонів за виключенням прибережного, де до загроз десяти категорій представлених чинників до сумарної загрози додаються ще прибережні чинники. У центральноміу регіоні у поточний період сумарна загроза однакова для обох сценаріїв так само, як і в західному регіоні, але значення вище - 57.5%, і так само до середини сторіччя рівень загрози зменшується до 55% для сценарію RCP 4.5 за рахунок відсутності загрози від чинників категорії вітер. Але за сценарієм RCP 8.5 темпи зростання загроз значно збільшуються, і вже із середини сторіччя значно перевищують сумарну загрозу за сценарієм RCP 4.5 на кінець сторіччя (60%) проти 70% і 80% для сценарію високих концентрацій RCP 8.5 на середину і кінець сторіччя відповідно.</p>	<p>obtained, but for the RCP 4.5 scenario, a low level of hazard from increased wind speed is also added. The low level of hazard from wind gusts is maintained for the RCP 8.5 scenario throughout the century, and from the middle to the end of the century a low level of hazard from increased wind speed is also added. Thus, the total hazard of changes in all categories of climatic impact drivers in the central region has the highest value of 80% among all regions except the coastal region, where coastal drivers are added to the total hazard level of the ten categories of CIDs presented above. In the central region, the total hazard level is the same for both scenarios in the current period, as well as in the western region, but the value is higher - 57.5%, and by the middle of the century the hazard level decreases to 55% for the RCP 4.5 scenario due to the absence of a hazard from wind category CIDs. However, under the RCP 8.5 scenario, the hazard growth rates increase significantly, and already from the middle of the century they significantly exceed the total hazard under the RCP 4.5 scenario by the end of the century (60%) versus 70% and 80% for the high concentration scenario RCP 8.5 by the middle and end of the century, respectively.</p>
--	---

Схід | East

<p>Для східного регіону отримані оцінки максимальних загроз дещо відрізняються від попередніх регіонів, оскільки саме для сценарію високих концентрацій RCP 8.5 отримано найнижче просумоване значення (47,5%) у поточний період, тоді як за сценарієм RCP 4.5 сумарне значення загрози у цей період значно більше і складає 55% (рис.15). Це</p>	<p>For the eastern region, the obtained maximum hazard estimates differ somewhat from the previous regions, since it is for the high-concentration scenario RCP 8.5 that the lowest summed value (47.5%) was obtained in the current period, while under the RCP 4.5 scenario the total hazard value in this period is much higher and is 55% (Fig. 15). This value persists</p>
---	--

значення зберігається до середини сторіччя із зростанням до 62,5% на кінець сторіччя за цим сценарієм помірних концентрацій. Як і в інших регіонах, сумарне значення загроз досить швидко зростає за сценарієм RCP 8.5 впродовж століття: 57,5% на середину і 75% до кінця сторіччя, коли 6 із 10 загроз на рівні дуже високий, дві, що стосуються збільшення екстремальності опадів у тому числі і у вигляді снігу, на високому рівні, а ще дві, які пов'язані із збільшенням швидкості вітру та його поривів, відсутні.

У східному регіоні загроза підвищення середньої температури повітря та спеки дуже висока лише на кінець сторіччя за сценарієм RCP 8.5, в попередні періоди загроза підвищення спеки висока для обох сценаріїв, а для середньої температури повітря загроза на середньому рівні для обох сценаріїв лише у поточний період із збільшенням до високої на середину сторіччя. Значний внесок у загальну загрозу у східному регіоні вносять чинники, що пов'язані із зменшенням зволоження для обох сценаріїв. При цьому так само впродовж XXI ст. для усіх періодів та обох сценаріїв зберігається дуже висока і з середини сторіччя для RCP 8.5 висока загроза збільшення екстремальних опадів, які можуть спричиняти сильні зливи і дощові паводки. Разом із тим на сході отримано також дуже високу у поточний період для RCP 4.5 і високі рівні загрози від збільшення днів із снігопадами понад 10 мм в інші періоди. І на відміну від інших регіонів за сценарієм RCP 8.5 загроза збільшення цього чинника впродовж сторіччя залишається на високому рівні. Але разом із тим за цим сценарієм отримано наростання загрози зменшення снігового покриву і опадів у вигляді снігу від низького у поточний період до середнього на середину і дуже високого до кінця

until the middle of the century with an increase to 62.5% by the end of the century under this moderate-concentration scenario. As in other regions, the total hazard value increases quite rapidly under the RCP 8.5 scenario over the century: 57.5% by the middle and 75% by the end of the century, when 6 out of 10 hazards are at a very high level, two related to increased precipitation extremes, including snow, are at a high level, and two more, related to increased wind speed and gusts, are absent.

In the eastern region, the hazard of an increase in mean air temperature and heat is very high only by the end of the century according to the RCP 8.5 scenario, in previous periods the hazard level of an increase in heat is high for both scenarios, and for mean air temperature the hazard is at a medium level for both scenarios only in the current period with an increase to high by the middle of the century.

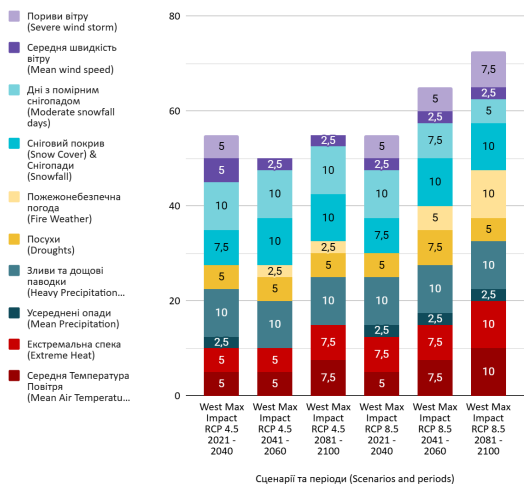
A significant contribution to the overall hazard level in the eastern region is from climatic impact drivers associated with a decrease in moisture for both scenarios. At the same time, throughout the 21st century, for all periods and both scenarios, the very high and from the middle of the century for RCP 8.5 the high hazard of an increase in extreme precipitation, which can cause heavy rains and flash floods, remains. At the same time, in the east, a very high hazard in the current period for RCP 4.5 and high levels of hazard from an increase in days with snowfall over 10 mm in other periods were also obtained. And unlike other regions, under the RCP 8.5 scenario, the hazard of an increase in this CID over the century remains at a high level. But at the same time, under this scenario, an increase in the hazard of a decrease in snow cover and precipitation in the form of snow from low in the current period to medium in the middle and very high by the end of the century was obtained. The

сторіччя. Загроза зменшення снігового покриву для сценарію RCP 4.5 залишається на середньому рівні впродовж усіх розглянутих періодів. На відміну від західного і північного регіонів, на сході так само як і у центрі отримано високий рівень загрози від збільшення посухи на початку і у кінці сторіччя і середній на середину для RCP 4.5. Натомість високий рівень загрози отримано у поточний період і на середину сторіччя із зростанням до дуже високого на кінець за сценарієм RCP 8.5. Посухи безпосередньо пов'язані із зменшенням кількості опадів, і на сході рівень загрози цього чинника зростає схоже до центру від високого (середнього за RCP 8.5) у поточний період і на середину сторіччя до дуже високого рівня на кінець сторіччя за обома сценаріями. Аналогічний до центрального регіону розподіл загроз від пожежонебезпечної погоди отримано і на сході. Так дуже високу загрозу на кінець, високу на середину сторіччя і низьку у поточний період отримано за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5, хоча для сценарію помірних концентрацій RCP 4.5 отримано відсутність загрози у поточний період і надалі середній і високий рівень на середину і кінець сторіччя відповідно. Для показників вітру для східного регіону отримано лише низький рівень загрози у поточний період від підвищення швидкості вітру для сценарію RCP 4.5, а для інших періодів та сценарію загрози відсутні.

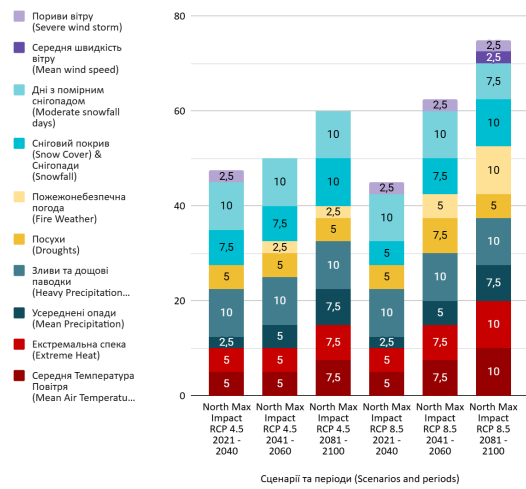
hazard of a decrease in snow cover for the RCP 4.5 scenario remains at a medium level throughout all considered periods. Unlike the western and northern regions, in the east, as well as in the center, a high level of hazard from an increase in drought at the beginning and end of the century and medium in the middle for RCP 4.5 was obtained. Instead, a high level of hazard was obtained in the current period and by the middle of the century with an increase to very high by the end under the RCP 8.5 scenario. Droughts are directly related to reduced precipitation, and in the east the hazard level of this CID increases similarly to the center from high (medium under RCP 8.5) in the current period and by mid-century to very high by the end of the century under both scenarios. A similar distribution of hazards from fire-dangerous weather to the central region was obtained in the east. Thus, a very high hazard level by the end, high by mid-century and low in the current period was obtained under the high-concentration scenario RCP 8.5, although for the moderate-concentration scenario RCP 4.5, no hazard was obtained in the current period and further medium and high levels by the middle and end of the century, respectively. For wind CIDs for the eastern region, only a low hazard level was obtained in the current period from increased wind speed for the RCP 4.5 scenario, and there are no hazards for other periods and scenarios.

West	North
------	-------

Максимальна загроза впливу зміни кліматичних чинників, %
Maximum Hazard from Impact of Climatic Drivers' Change, %



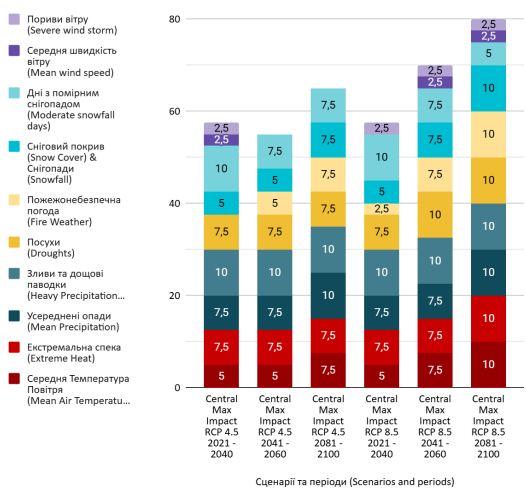
Максимальна загроза впливу зміни кліматичних чинників, %
Maximum Hazard from Impact of Climatic Drivers' Change, %



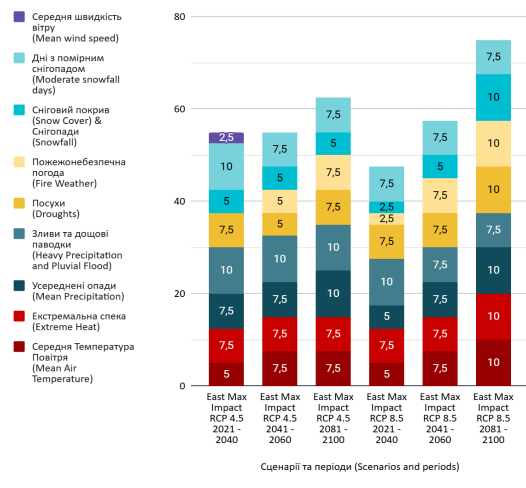
Central

East

Максимальна загроза впливу зміни кліматичних чинників, %
Maximum Hazard from Impact of Climatic Drivers' Change, %

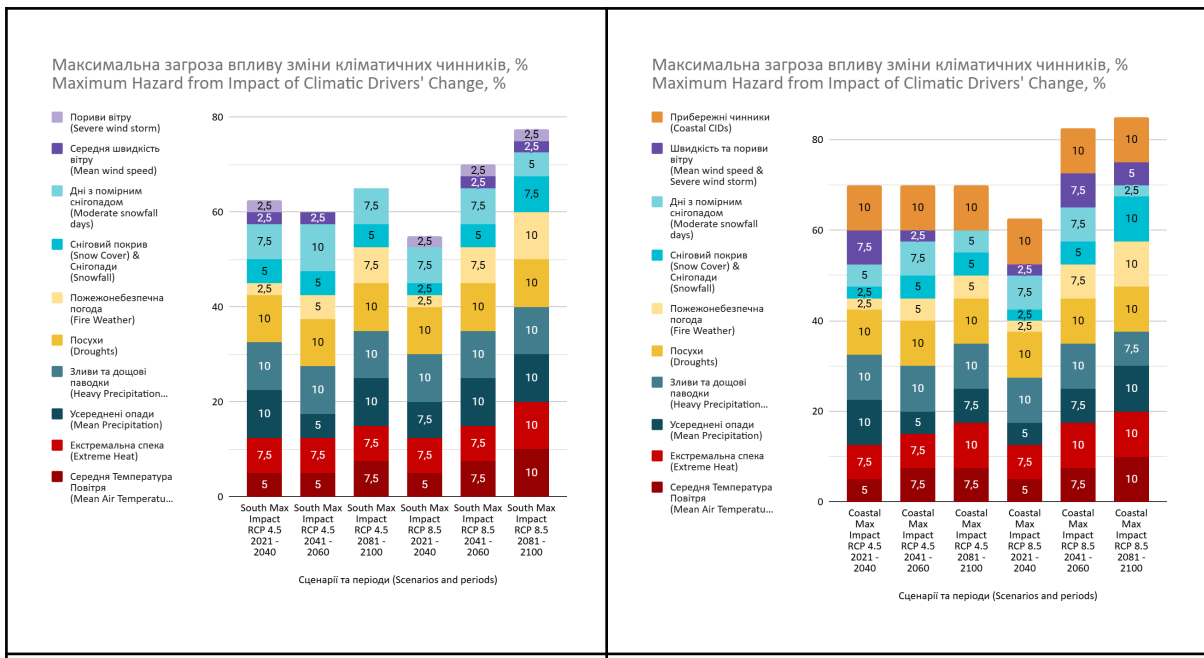


Максимальна загроза впливу зміни кліматичних чинників, %
Maximum Hazard from Impact of Climatic Drivers' Change, %



South

Coastal



Carpathian Mountains

Crimean Mountains

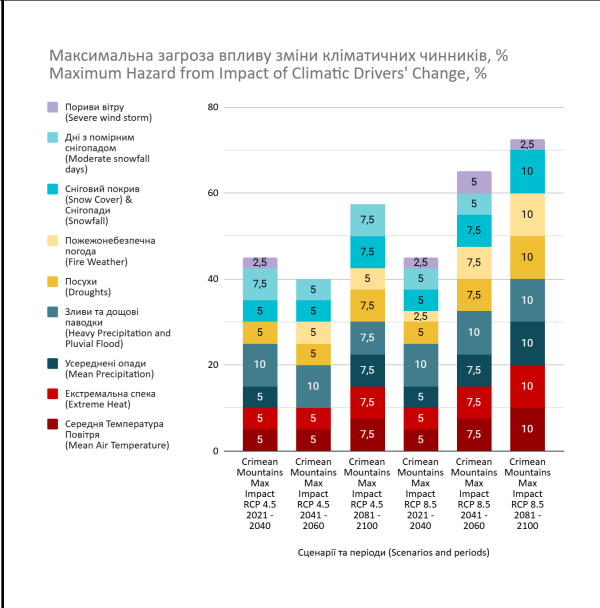
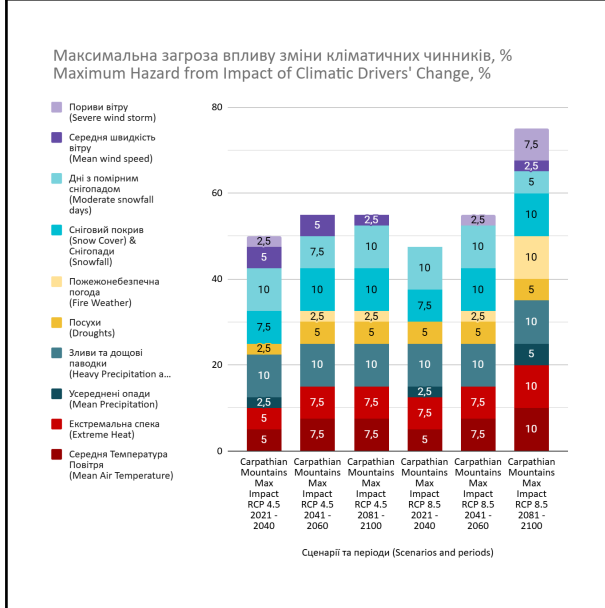


Рис.15. Максимальні по категоріях та сумарні рівні загроз по регіонах, сценаріях і періодах до кінця XXI ст. відносно періоду 1991-2010

Fig. 15. Maximum by categories and summarized hazard levels by regions, scenarios and periods by the end of the 21st century over period 1991-2010

Серед розглянутих південний регіон має найвищі сумарні максимальні загрози, при цьому як на сході і півночі (а також наступних регіонах) саме для сценарію високих концентрацій RCP 8.5 отримано найнижче просумоване значення (55%) у поточний період, тоді як за сценарієм RCP 4.5 сумарне значення загрози у цей період значно більше і складає 62,5% (рис.15). Це значення дещо знижується до 60% на середину сторіччя із зростанням до 65% на кінець сторіччя за цим сценарієм помірних концентрацій. Як і в інших регіонах, сумарне значення загроз досить швидко зростає за сценарієм RCP 8.5 особливо до середини століття, коли воно становить 70%, і до кінця сторіччя сягає 77,5%, коли 6 із 10 загроз на рівні дуже високий, а інші на дещо нижчому: дві, що стосуються збільшення екстремальності снігопадів (високий рівень) і зменшення снігового покриву (середній), і ще дві на низькому рівні, які пов'язані із збільшенням швидкості вітру та його поривів. У південному регіоні дві загрози впродовж XXI ст. для усіх періодів та обох сценаріїв залишаються на дуже високому рівні (10 балів на рис.15): збільшення екстремальних опадів, які можуть спричинити сильні зливи і дощові паводки, і збільшення посух. Комбінація цих двох загроз може спричинити каскадні ризики, особливо для таких секторів економіки як сільське та лісове господарства, біорізноманіття, будівлі, управління ризиками стихійних лих тощо. Загрози підвищення середньої температури повітря та спеки схожі до отриманих у центральному регіоні і дуже високі лише на кінець сторіччя за сценарієм RCP 8.5. В попередні періоди загроза підвищення спеки висока для обох сценаріїв, а для середньої температури повітря загроза середня для сценарію RCP 4.5 до середини сторіччя і для RCP 8.5 лише у поточний період із

Among the regions considered, the southern region has the highest total maximum level of hazard, while in both the east and north (and regions after considered) it is for the high concentration scenario RCP 8.5 that the lowest summed value (55%) is obtained in the current period, while under the RCP 4.5 scenario the total hazard value in this period is significantly higher and is 62.5% (Fig. 15). This value decreases slightly to 60% by mid-century with an increase to 65% by the end of the century under this moderate concentration scenario. As in other regions, the total value of hazards increases quite rapidly under the RCP 8.5 scenario, especially by mid-century, when it is 70%, and by the end of the century it reaches 77.5%, when 6 out of 10 hazards are at a very high level, and the others are at a slightly lower level: two related to an increase in the extremes of snowfall (high level) and a decrease in snow cover (medium), and two more at a low level, which are associated with an increase in wind speed and gusts. In the southern region, two hazards during the 21st century for all periods and both scenarios remain at a very high level (10 points in Fig. 15): an increase in extreme precipitation, which can cause heavy rains and flash floods, and an increase in droughts. The combination of these two hazards can cause cascading risks, especially for such sectors of the economy as agriculture and forestry, biodiversity, buildings, disaster risk management, etc. The hazards of increasing mean air temperature and heat are similar to those obtained in the central region and are very high only by the end of the century under the RCP 8.5 scenario. In previous periods, the hazard of increasing heat is high for both scenarios, and for mean air temperature the hazard is medium for the RCP 4.5 scenario until mid-century and for RCP 8.5 only in the current period with an

збільшенням до високої на середину сторіччя. Значний внесок у загальну загрозу в південному регіоні вносять чинники, що пов'язані із зменшенням зволоження для обох сценаріїв. Разом із тим на півдні на середину сторіччя для RCP 4.5 отримано також дуже високий рівень загрози від збільшення днів із снігопадами понад 10 мм і високі загрози в інші періоди. І схоже до інших за виключенням східного регіонів за сценарієм RCP 8.5 загроза збільшення цього чинника до середини сторіччя залишається на високому рівні, а на кінець стає середньою вочевидь через підвищення температури. Але разом із тим за цим сценарієм отримано наростання загрози зменшення снігового покриву і опадів у вигляді снігу від низького у поточний період до середнього на середину і високого рівня до кінця сторіччя. Загроза зменшення снігового покриву для сценарію RCP 4.5 залишається на середньому рівні впродовж усіх розглянутих періодів як і на сході. Отримана дуже висока загроза від посухи безпосередньо пов'язана не тільки із зменшенням снігового покриву, але із зменшенням кількості опадів. І на півдні рівень загрози цього чинника також дуже високий для двох періодів із трьох для обох сценаріїв. Лише у поточний період він високий для RCP 8.5 і на середину сторіччя середній за сценарієм RCP 4.5. Посухи і зменшення опадів та снігового покриву на півдні вочевидь сприяють збільшенню загроз від пожежонебезпечної погоди, які зростають від низької у поточний період для обох сценаріїв до високої і дуже високої на середину і кінець сторіччя за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5, хоча для сценарію помірних концентрацій RCP 4.5 отримано дещо нижчі загрози: середній і високий рівень на середину і кінець сторіччя відповідно. У південному регіоні для показників вітру отримано хоча і

increase to high by mid-century. A significant contribution to the overall hazard level in the southern region is made by drivers associated with a decrease in moisture for both scenarios. At the same time, in the south by mid-century for RCP 4.5, very high level of hazard from an increase in days with snowfall over 10 mm and high level in other periods are also obtained. And similar to other regions, with the exception of the eastern region, under the RCP 8.5 scenario, the hazard of increasing this CID by mid-century remains at a high level, and by the end becomes medium, apparently due to an increase in air temperature. However, this scenario also results in an increase in the hazard of reduced snow cover and precipitation from low in the current period to medium in the middle and high by the end of the century. The hazard of reduced snow cover for the RCP 4.5 scenario remains at a medium level throughout all considered periods, as in the east. The resulting very high hazard from drought is directly related not only to reduced snow cover, but also to reduced precipitation. And in the south, the hazard level of this CID is also very high for two periods out of three for both scenarios. Only in the current period it is high for RCP 8.5 and medium for the middle of the century under the RCP 4.5 scenario. Droughts and reduced precipitation and snow cover in the south clearly contribute to increased hazards from fire-dangerous weather, which increase from low in the current period for both scenarios to high and very high by the middle and end of the century under the high-concentration scenario RCP 8.5, although slightly lower hazards were obtained for the moderate-concentration scenario RCP 4.5: medium and high levels by the middle and end of the century, respectively. In the southern region, although a low hazard level was obtained for wind CIDs, it was obtained in almost all periods and for both drivers, when in total

низький рівень загрози, але майже у всі періоди і для обох чинників, коли у сумі вони вносять до 5% у загальну загрозу у регіоні. Вочевидь, наявність загрози від збільшення швидкості та поривів вітру свідчить про близькість до морів, де ці вітри стають сильнішими із зміною клімату. Лише на кінець сторіччя для сценарію RCP 4.5 загрози підйому швидкості вітру відсутні.

they contribute up to 5% to the total hazard in the region. Obviously, the presence of a hazard from increased wind speed and gusts indicates proximity to the seas, where these winds become stronger with climate change. Only by the end of the century for the RCP 4.5 scenario there are no hazards of increased wind speed.

Прибережний| Coastal

Серед розглянутих регіонів для прибережної зони використовували трохи модифіковані методологічні підходи, оскільки для узгодження оцінки з іншими географічними регіонами кількість категорій чинників кліматичного впливу мала бути однаковою. Тому для цього регіону були об'єднані два чинники для вітру в одну і два прибережних чинників також в одну шляхом визначення максимальної загрози не тільки за територією регіону, але і серед пар чинників. Очевидно, що саме для цієї прибережної зони максимальна загроза від збільшення прибережних чинників (рівня моря і нагонних хвиль) в усі періоди буде дуже високою (10 балів на рис.15). У цілому для сценарію RCP 4.5 сумарне значення загрози в усі періоди складає 70%, з яких окрім прибережних в усі періоди високі рівні загроз від збільшення екстремальних опадів, які можуть спричинити сильні зливи і дощові паводки, і збільшення посух, так само, як і у сусідньому південному регіоні, для якого зазначалося, що комбінація наразі вже трьох дуже високих загроз може спричинити каскадні ризики, особливо для таких секторів економіки як сільське та лісове господарства, біорізноманіття, будівлі, управління ризиками стихійних

Among the considered region coastal zone has a bit modified methodological approach, since in order to unify the assessment with other geographical regions, the number of categories of climatic impact drivers had to be the same. Therefore, for this region, two CIDs for wind were combined into one and two CIDs of coastal were also combined into one by determining the maximum hazard not only by the territory of the region, but also among pairs of drivers. It is obvious that for this coastal zone the maximum hazard from an increase in coastal factors (sea level and surge waves) in all periods will be very high (10 points in Fig. 15). In general, for the RCP 4.5 scenario, the total hazard value in all periods is 70%, of which, except for the coastal inputs, in all periods there are high levels of hazards from increased extreme precipitation, which can cause heavy rains and flash floods, and increased droughts, as well as in the neighboring southern region, for which it was noted that the combination of this three very high level hazards can cause cascading risks, especially for such economic sectors as agriculture and forestry, biodiversity, buildings, disaster risk management, etc. As in other regions, among the considered estimates, the lowest summed hazard level

лих тощо. Як і в інших регіонах серед розглянутих оцінок найнижче просумоване значення рівня загрози у поточний період отримано для сценарію високих концентрацій RCP 8.5, але воно має вище значення (62,5%) ніж в інших регіонах. Як і в інших регіонах, сумарне значення загроз досить швидко зростає за сценарієм RCP 8.5 особливо до середини століття, коли воно підвищується до 82,5%, і до кінця сторіччя сягає максимальних 85%, коли 7 із 10 загроз на рівні дуже високий, а інші на дещо нижчому: високий рівень загрози у збільшення екстремальності опадів, але низький для помірних снігопадів, і середній рівень загрози від збільшення швидкості вітру та його поривів. Загрози підвищення середньої температури повітря та спеки більші за отримані у інших регіонах, оскільки дуже високі рівні отримані не лише на кінець сторіччя за сценарієм RCP 8.5, але й спека має максимальну загрозу у цей період і за іншим сценарієм, і за цим сценарієм починається з середини сторіччя. В інші періоди загроза підвищення спеки висока для обох сценаріїв, а для середньої температури повітря загроза середня у поточний період і висока на середину сторіччя для обох сценаріїв, залишається високою за RCP 4.5 і підвищується до дуже високої для RCP 8.5 до кінця сторіччя. Значний внесок у сумарну загрозу в прибережній зоні вносять чинники, що пов'язані із зменшенням зволоження для обох сценаріїв, а саме кількості опадів, у тому числі у вигляді снігу та снігового покриву. Так за обома сценаріями отримано наростання загрози зменшення снігового покриву і опадів у вигляді снігу від низького у поточний період до середнього на середину сторіччя. Загроза зменшення снігового покриву до кінця сторіччя залишається на середньому рівні для сценарію RCP 4.5,

value in the current period was obtained for the high concentration scenario RCP 8.5, but it has a higher value (62.5%) over other regions. As in other regions, the total value of hazards increases quite rapidly under the RCP 8.5 scenario, especially by mid-century, when it jump up to 82.5%, and by the end of the century reaches a maximum of 85%, when 7 out of 10 categories of hazards are at a very high level, and the others are at a slightly lower level: a high level of hazard is from increased precipitation extremes, but low from moderate snowfall, and a medium level of hazard from increased wind speed and gusts. The hazards of increased mean air temperature and heat are greater than those obtained in other regions, since very high levels are obtained not only by the end of the century under the RCP 8.5 scenario, but heat also has a maximum very high hazard level in this period but under another scenario RCP 4.5, and under this scenario RCP 8.5 but for mid-century. In other periods, the hazard of increased heat is high for both scenarios, and for mean air temperature, the level of hazard is medium in the current period and high by mid-century for both scenarios, remains high for RCP 4.5 and increases to very high for RCP 8.5 by the end of the century. A significant contribution to the total hazard in the coastal zone is made by drivers associated with a decrease in moisture for both scenarios, namely the amount of mean precipitation, including in the form of snow and snow cover. Thus, for both scenarios, an increase in the hazard of a decrease in snow cover and precipitation in the form of snow from low in the current period to medium by mid-century was obtained. The hazard of a decrease in snow cover by the end of the century remains at a medium level for the RCP 4.5 scenario, and reaches very high for the RCP 8.5 scenario. Droughts and reduced precipitation and snow cover in coastal areas clearly

<p>а за сценарієм RCP 8.5 сягає дуже високого. Посухи і зменшення опадів та снігового покриву на прибережних територіях вочевидь сприяють збільшенню загроз від пожежонебезпечної погоди, які зростають від низької у поточний період для обох сценаріїв до високої і дуже високої на середину і кінець сторіччя за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5, хоча для сценарію помірних концентрацій RCP 4.5 отримано середній рівень на середину і кінець сторіччя. Разом із тим на узбережжях отримано високі загрози від збільшення днів із снігопадами понад 10 мм на поточний період і середину, але низький на кінець сторіччя для RCP 8.5 через вочевидь значне потепління. За сценарієм RCP 4.5 загроза збільшення цього чинника має високий рівень на середину сторіччя і середній в інші два періоди. Для прибережної зони отримані найбільші загрози від збільшення показників вітру. Високий рівень загрози отримано на середину, середній на кінець сторіччя і низький у поточний період для сценарію RCP 8.5. За сценарієм RCP 4.5 у поточний період загроза підвищення швидкості вітру і поривів також висока, але зменшується до низької на середину і зникає на кінець сторіччя.</p>	<p>contribute to increased fire-dangerous weather hazards, which increase from low in the current period for both scenarios to high and very high by the middle and end of the century under the high-concentration RCP 8.5 scenario, although the moderate-concentration RCP 4.5 scenario results in a medium level for the middle and end of the century. At the same time, high hazards are obtained for the coasts from an increase in days with snowfalls exceeding 10 mm for the current period and mid-century, but low by the end of the century for RCP 8.5 due to apparently significant warming. Under the RCP 4.5 scenario, the hazard of an increase in this CID is high by the middle of the century and medium in the other two periods. For the coastal zone, the greatest hazards are obtained from increased wind indicators. High hazard level is obtained for the middle, medium for the end of the century and low in the current period for the RCP 8.5 scenario. Under the RCP 4.5 scenario, the hazard of increasing wind speed and gusts in the current period is also high, but decreases to low in the middle and disappears by the end of the century.</p>
--	--

Кримські гори| Crimean Mountains

<p>Регіон Кримських гір безпосередньо прилягає до прибережної зони на південному березі Криму, він найменший із розглянутих і вміщує лише 22 вузли координатної сітки РКМ, висота яких більше за 400 м над рівнем моря. На відміну від більшості вже розглянутих регіонів найнижче просумоване значення рівня загрози (40%) отримано для</p>	<p>The Crimean Mountains region is directly adjacent to the coastal zone on the southern coast of Crimea, it is the smallest of the considered regions and contains only 22 RCM grid nodes, the height of which is more than 400 m above sea level. Unlike most of the regions already considered, the lowest summed hazard level value (40%) is obtained for the RCP 4.5 scenario for the</p>
--	--

сценарію RCP 4.5 на середину сторіччя (рис.15). Це значення найнижче серед усіх регіонів, періодів та сценаріїв і складається з дуже високої загрози збільшення екстремальних опадів та з середніх рівнів загроз для 6 категорій: підвищення середньої температури повітря і спеки, посух і пожежонебезпечної погоди та обох чинників типу сніг. У поточний період отримано однакові сумарні загрози 45% для обох сценаріїв, при цьому для обох сценаріїв залишається дуже високою загроза збільшення екстремальних опадів, середні загрози підвищення середньої температури повітря і спеки, посух та зменшення снігового покриву, з'являється середня загроза зменшення опадів і низька від збільшення поривів вітру, а різниця сценаріїв полягає у високій зазрозі збільшення помірних снігопадів і відсутності загрози від пожежонебезпечної погоди для сценарію RCP 4.5, у той час як для сценарію високих концентрацій RCP 8.5 цим категоріям відповідають середній та низький рівні загроз. Як і в інших регіонах, сумарне значення загроз досить швидко зростає за сценарієм RCP 8.5 особливо до середини століття, коли воно підвищується до 65% за рахунок того, що середні рівні загроз чинників у попередньому періоді зростають до високого рівня, а для поривів вітру до середнього, на середньому рівні залишається загроза збільшення помірних снігопадів. На середину сторіччя сумарна загроза за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 має найбільше перевищення над сценарієм помірних концентрацій RCP 4.5 (на 25%) серед усіх періодів та регіонів. До кінця сторіччя сумарна загроза за сценарієм RCP 8.5 сягає максимальних у Кримських горах 72,5%, коли 7 із 10 загроз на рівні дуже високий і додається низький рівень загрози від збільшення поривів вітру. У

middle of the century (Fig.15). This value is the lowest among all regions, periods and scenarios and consists of a very high hazard level of an increase in extreme precipitation and medium hazard levels for 6 categories: an increase in mean air temperature and heat, droughts and fire-dangerous weather, and both snow-type drivers. In the current period, the same total hazards of 45% were obtained for both scenarios, while for both scenarios the hazard of increasing extreme precipitation remains very high, the hazards of increasing mean air temperature and heat, droughts and decreasing snow cover remain medium. There is a medium hazard of decreasing precipitation and a low hazard level of increasing wind gusts, and the difference between the scenarios is in the high hazard of increasing moderate snowfall and the absence of a hazard of fire-dangerous weather for the RCP 4.5 scenario, while for the high-concentration scenario RCP 8.5 these categories correspond to medium and low hazard levels. As in other regions, the total hazard value increases quite rapidly under the RCP 8.5 scenario, especially by the middle of the century, when it reaches up to 65% due to the fact that the medium hazard levels of CIDs in the previous period increase to a high level, and for wind gusts to medium, the hazard of increasing moderate snowfall remains at a medium level. By mid-century, the total hazard under the high-concentration scenario RCP 8.5 has the largest excess over the moderate-concentration scenario RCP 4.5 (by 25%) among all periods and regions. By the end of the century, the total hazard under the RCP 8.5 scenario reaches a maximum in the Crimean Mountains of 72.5%, when 7 out of 10 hazard categories are at the very high level and a low level of hazard from increased wind gusts is added. At the same time, for the RCP 4.5 scenario, a total hazard of 57.5% was obtained,

<p>цей же час для сценарію RCP 4.5 отримано сумарну загрозу на рівні 57,5%, яка найнижча серед усіх регіонів за виключенням західного з Карпатами, і складається майже із тих самих 7 категорій загроз, що й для іншого сценарія, але високого рівня, лише пожежонебезпечна погода залишається на середньому рівні як і на середину сторіччя, але загроза збільшення помірних снігопадів у Кримських горах на кінець сторіччя залишається високою на відміну від сценарію більшого потепління RCP 8.5.</p>	<p>which is the lowest among all regions except the western region including Carpathians, and consists of almost the same 7 hazard categories as for the other scenario, but of a high level, only fire-dangerous weather remains at the medium level as for mid-century, but the hazard level of increased moderate snowfall in the Crimean Mountains by the end of the century remains high, unlike the scenario of greater warming RCP 8.5.</p>
--	--

Карпатські гори| Carpathian Mountains

<p>Регіон Карпатських гір знаходиться посередині західного регіону, але має висоту над рівнем моря понад 400 метрів, і на його території знаходяться 252 вузли сітки РКМ. Отримані сумарні загрози мають маленький розкид від 50% до 55% за сценарієм помірних концентрацій RCP 4.5, у той час як за сценарієм високих концентрацій RCP 8.5 отримано розкид від мінімального значення у цій зоні у поточний період 47,5% до 75% на кінець сторіччя. Таке найнижче для цього регіону значення у поточний період 2021-2040 за сценарієм RCP 8.5 отримано за рахунок відсутності загроз від збільшення швидкості та поривів вітру, які для сценарію RCP 4.5 становлять відповідно середній і низький рівень загрози. Вони компенсують менші загрози середнього і низького рівня для спеки і посухи порівняно із високим і середнім рівнем загрози відповідно для сценарію RCP 8.5 у поточний період. На середину сторіччя рівні загроз обох сценаріїв однакові (55%), але різниці між сценарієм помірних і високих концентрацій у високій проти дуже високої загрози збільшення помірних</p>	<p>The Carpathian Mountains region is located inside of the western region, but has an altitude of over 400 meters above sea level, and there are 252 RCM grid nodes on its territory. The resulting total hazards have a small spread from 50% to 55% under the moderate concentration scenario RCP 4.5, while under the high concentration scenario RCP 8.5, a spread from the minimum value in this zone in the current period of 47.5% to 75% by the end of the century was obtained. This lowest value for this region in the current period 2021-2040 under the RCP 8.5 scenario is obtained due to the absence of hazards from increased wind speed and gusts, which for the RCP 4.5 scenario constitute a medium and low level of hazard, respectively. They compensate for the lower medium and low-level hazards for heat and drought compared to the high and medium level of hazards, respectively, for the RCP 8.5 scenario in the current period. By mid-century, the hazards for both scenarios are the same (55%), but the differences between the moderate and high-concentration scenarios in the high versus very high hazard of increased moderate snowfall and the medium hazard</p>
---	---

снігопадів і середньої загрози підвищення швидкості вітру за RCP 4.5 проти низького рівня загрози від збільшення поривів вітру за RCP 8.5. До кінця сторіччя за сценарієм RCP 4.5 сумарна загроза залишається на тому самому рівні, що і в попередній період (55%), але зменшується до низької загрози підвищення середньої швидкості вітру проте зростає до дуже високої загрози збільшення помірних снігопадів. На кінець сторіччя за сценарієм RCP 8.5 рівень сумарної загрози сягає 75%, і вона складається з усіх категорій чинників кліматичного впливу, з яких п'ять мають дуже високий рівень загрози (збільшення середньої температури повітря і спеки, екстремальних опадів, пожежонебезпечної погоди і зменшення снігового покриву), збільшення поривів вітру має високий рівень загрози, зменшення кількості опадів і збільшення посухи і днів з помірними снігопадами мають середній рівень загрози, низький рівень отримано і для підвищення швидкості вітру. У цілому для Карпатських гір у всі періоди за обома сценаріями зберігається дуже високий рівень загрози збільшення екстремальних опадів, що може призводити до дощових паводків. Загроза збільшення днів із помірними снігопадами, які можуть виклати лавини та інші небезпечні явища у горах, коливається від дуже високої у поточний період для обох сценаріїв до високої на середину сторіччя із подальшим збільшенням знову до дуже високого рівня за RCP 4.5, і для RCP 8.5 загроза залишається дуже високою на середину сторіччя і зменшується до середньої на кінець сторіччя вочевидь через значне потепління за цим сценарієм, яке сягає рівня дуже високого для температурних чинників. Також зменшення снігового покриву для обох сценаріїв з високого рівня у поточний період зростає до дуже

level of increased wind speed under RCP 4.5 versus low hazard of increased wind gusts under RCP 8.5. By the end of the century, under the RCP 4.5 scenario, the total hazard remains at the same level as in the previous period (55%), but decreases to a low hazard of increased mean wind speed but increases to a very high hazard of increased moderate snowfall. By the end of the century, under the RCP 8.5 scenario, the level of total hazard reaches 75%, and it consists of all categories of climatic impact drivers, of which five have a very high level of hazard (increase in mean air temperature and heat, extreme precipitation, fire-dangerous weather and decrease in snow cover), an increase in wind gusts has a high level of hazard, a decrease in precipitation and an increase in drought and days with moderate snowfall have a medium level of hazard, and a low level is also obtained for increasing wind speed. In general, for the Carpathian Mountains in all periods under both scenarios, a very high level of hazard from an increase in extreme precipitation remains, which can lead to flash floods. The hazard of increasing days with moderate snowfall, which can trigger avalanches and other dangerous phenomena in the mountains, ranges from very high in the current period for both scenarios to high by mid-century with a further increase again to very high under RCP 4.5, and for RCP 8.5 the hazard level remains very high by mid-century and decreases to medium by the end of the century, apparently due to the significant warming under this scenario, which reaches a level of very high for temperature CIDs. Also, the decrease in snow cover for both scenarios from high in the current period increases to very high by the middle and end of the century, which may also be an impact of increased heat and air temperature, the hazard level of which is at a high level since mid-century under both scenarios and in the current period for heat

високого на середину і кінець сторіччя, що також може бути впливом від збільшення спеки і температури повітря, загроза яких на високому рівні з середини сторіччя за обома сценаріями і у поточний період для спеки за сценарієм RCP 8.5. Хоча загроза зменшення опадів у Карпатських горах для обох сценаріїв на низькому рівні у поточний період, відсутня на середину сторіччя і має середній рівень на кінець сторіччя за RCP 8.5, для збільшення посухи отримано середній рівень загрози для усіх періодів і сценаріїв за виключенням поточного періоду з низьким рівнем загрози для RCP 4.5. Збільшенню посушливості як і пожежонебезпечності можуть сприяти збільшення швидкості вітру, яке має середній рівень загрози на початок і середину сторіччя із зменшенням до низького рівня на кінець сторіччя за RCP 4.5. Для сценарію RCP 8.5 характерно збільшення загрози поривів вітру від низького рівня на середину сторіччя до високого на його кінець, тобто збільшення у цілому екстремальності погодних умов у Карпатських горах.

under RCP 8.5. Although the hazard level from precipitation reduction in the Carpathian Mountains for both scenarios is low in the current period, absent by mid-century and has a medium level by the end of the century under RCP 8.5, for increasing drought, a medium level of hazard was obtained for all periods and scenarios except for the current period with a low level of hazard for RCP 4.5. The increase in aridity as well as fire hazard can be facilitated by an increase in wind speed, which has a medium level of hazard at the beginning and mid-century with a decrease to a low level by the end of the century under RCP 4.5. The RCP 8.5 scenario is characterized by an increase in the hazard level from wind gusts from a low level by mid-century to a high level by its end, i.e. an increase in the overall extremes of weather conditions in the Carpathian Mountains.

Рекомендації і наступні кроки | Recommendations and further steps

Отримані оцінки зміни 32 чинників кліматичного впливу 12 категорій із 5-ти типів (спека та холод, зволоження та посушливість, сніг, вітер та прибережні) до кінця XXI сторіччя за сценаріями помірних (RCP 4.5) і високих (RCP 8.5) концентрацій та об'єднаними сценаріями загроз (RCP 4.5 & RCP 8.5) є першим кроком і основою подальшої оцінки

The obtained estimates of changes in 32 climatic impact factors of 12 categories for 5 types (heat and cold, wet and dry, snow, wind and coastal) by the end of the 21st century under the scenarios of moderate (RCP 4.5) and high (RCP 8.5) concentrations and combined scenarios for hazards (RCP 4.5 & RCP 8.5) are the first step and the basis for further assessment of

ризиків та вразливості економічних секторів та окремих територій України. Такі оцінки ризиків і вразливості обов'язково мають включати визначення чутливості сектору або об'єкту чи іншого активу до зміни чинників кліматичного впливу. В запропонованій методиці сума вагових коефіцієнтів чутливості має складати 10 балів. Тоді вразливість активу до зміни клімату визначатиметься як сума добутків чутливості активу і ступеня впливу зміни кліматичного чинника або загрози (від 0 до 1). Для визначення ризику знаходиться максимальна загроза серед усіх сценаріїв для кожної категорії кліматичних чинників, що і представлено в цьому документі.

Запропонований метод узагальнення в регіоні рівнів максимальних загроз усіх типів та категорій є унікальним і може бути маштабованим як для інших регіонів та зон в межах України (річкові басейни, заповідники та інши об'єкти), так і в інших країнах за наявності даних проєкцій чинників кліматичного впливу за сценаріями. Він дозволяє легко порівняти між собою регіони за ступенем загрози, а також сценарії і періоди.

Таким чином, отримані оцінки і дані про максимальні рівні для категорій загроз за окремими і об'єднаними сценаріями для України будуть використані у подальшій оцінці вразливостей та ризиків від зміни кліматичних чинників для секторів економіки та окремих зон.

risks and vulnerability of economic sectors and individual territories of Ukraine. Such risk and vulnerability assessments must necessarily include determining the sensitivity of a sector or object or other asset to changes in climatic impact drivers. In the proposed methodology, the sum of the sensitivity weight coefficients should be 10 points. Then the vulnerability of an asset to climate change will be determined as the sum of the multiplication of the asset's sensitivity and the degree of impact of a change in a climatic driver or hazard (from 0 to 1). To determine the risk, the maximum hazard is found among all scenarios for each category of climatic drivers, which is presented in this document.

The proposed method of generalizing the levels of maximum hazards of all types and categories in the region is unique and can be scaled up both for other regions and zones within Ukraine (river basins, reserves and other objects), and in other countries if there is data on projections of climatic impact drivers by scenarios. It allows anyone easily compare regions by the degree of hazard, as well as scenarios and periods.

Thus, the obtained estimates and data on maximum levels for hazard categories under individual and combined scenarios for Ukraine will be used in the further assessment of vulnerabilities and risks from climate change for sectors of the economy and individual zones.

Додаток | Annex

Регіональні кліматичні моделі (PKM) з Euro CORDEX, щоденні дані яких включені до ансамблю для сценаріїв RCP 4.5 та RCP 8.5 для території України

Regional climate models (RCMs) from Euro CORDEX, the daily data of which are included in the ensemble for the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios for the territory of Ukraine

Euro CORDEX					RCP 4.5 & RCP 8.5							
Id	GCM	Realisation	PKM / RCM	Adjustment for tas, tmin, tmax and pr (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								
20	IPSL-CM5A-MR	r1i1p1	SMHI-RCA4	v1-IPSL-CDFT21-WFDEI-1979-2005								
21	IPSL-CM5A-MR	r1i1p1	SMHI-RCA4	v1-IPSL-CDFT22-WFDEI-1979-2005								
22	IPSL-CM5A-MR	r1i1p1	SMHI-RCA4	v1-METNO-QMAP-MESAN-1989-2010								
23	HadGEM2-ES	r1i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17	v1-SMHI-DBS45-MESAN-1989-2010								
24	HadGEM2-ES	r1i1p1	KNMI-RACMO22E	v2-SMHI-DBS45-MESAN-1989-2010								
25	HadGEM2-ES	r1i1p1	SMHI-RCA4	v1-SMHI-DBS45-MESAN-1989-2010								
26	HadGEM2-ES	r1i1p1	SMHI-RCA4	v1-IPSL-CDFT22-WFDEI-1979-2005								
27	MPI-ESM-LR	r1i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17	v1-METNO-QMAP-MESAN-1989-2010								
28	MPI-ESM-LR	r1i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17	v1-SMHI-DBS45-MESAN-1989-2010								
29	MPI-ESM-LR	r1i1p1	MPI-CSC-REMO2009	v1-IPSL-CDFT21-WFDEI-1979-2005								
30	MPI-ESM-LR	r1i1p1	MPI-CSC-REMO2009	v1-IPSL-CDFT22-WFDEI-1979-2005								
31	MPI-ESM-LR	r1i1p1	MPI-CSC-REMO2009	v1-SMHI-DBS45-MESAN-1989-2010								
32	MPI-ESM-LR	r1i1p1	SMHI-RCA4	v1a-SMHI-DBS45-MESAN-1989-2010								
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



www.climateoffice.org.ua