

ВПЛИВ ЗМІНИ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ

ПОДЯКА

Цей підсумок рецензованої літератури й аналізу кліматичних даних було підготовлено Національною метеорологічною службою Великої Британії (далі — Met Office) від імені Міністерства закордонних справ, у справах співдружності та розвитку (далі — FCDO).

Першу редакцію документа подано: 26-08-2021

Другу редакцію документа подано: 20-09-2021

Остаточний документ подано: 06-12-2021

Підготували Луїза Вілсон, Стейсі Нью, Джозес Дарон і Нікола Голдінг, Міжнародні кліматичні служби, Met Office, Велика Британія.

Рецензенти: Кеті Річардсон, старша наукова співробітниця, Міжнародна прикладна наука, Met Office, Велика Британія; Кірсті Льюїс, радниця з питань клімату (спеціальна експертка Met Office і Ексетерського університету), Відділ досліджень і наукових даних, FCDO; д-р Світлана Краковська, завідувачка лабораторії прикладної кліматології Українського гідрометеорологічного інституту, провідна авторка IPCC AR6.

Цей документ профінансовано урядом Великої Британії; однак викладені положення не обов'язково відображають його офіційну політику.

Цей звіт було підготовлено в дусі доброї волі. Ні Met Office, ні її співробітники не дають жодних гарантій, явних або прихованих, і не несуть жодної юридичної чи будь-якої іншої відповідальності за його точність, повноту або використання сторонніми сторонами його вмісту. Погляди та думки, викладені у звіті, не обов'язково передають або відображають погляди Met Office.

Met Office, Фітцрой Роуд, Ексетер, Девон, Велика Британія, EX1 3PB

Тел.: +44 330 135 0000

Рекомендоване цитування: Wilson, L., New, S., Daron, J., Golding, N. (2021). Climate Change Impacts for Ukraine. Met Office.

Авторство ілюстрацій:

Обкладинка — Південний міст через Дніпро в Києві, столиці України (Shutterstock 1178833933).

Сторінка 8 — Кам'янець-Подільський, Україна-ТРАВЕНЬ 19, 2017: Дівчина спостерігає як різнокольорові повітряні кулі летять над красивим середньовічним замком (Shutterstock 652760761).

Сторінка 12 — Лісова пожежа (Shutterstock 1466319284).

Сторінка 16 — Ріст дерев у посуху (Shutterstock 1027242034).

Сторінка 22 — Затоплений двір біля річки Дністер (Shutterstock 1766503121).

Сторінка 24 — Пшениця і руки (Shutterstock 144535844).

Сторінка 28 — Сонячні панелі в Україні, Східна Європа (Shutterstock 1990046606).

Задня обкладинка: Рожеві рододендрони у сонячний день. Місцезнаходження: Карпати, Україна, Європа (Shutterstock 1854809887).

Зміст

Список скорочень	4
Передмова	5
1 Вступ.....	9
2 Сучасний клімат України	10
2.1 Тенденції, що спостерігаються	10
2.2 Нещодавні небезпечні та стихійні гідрометеорологічні явища	12
3 Проекції майбутнього клімату України	13
3.1 Що таке проекції зміни клімату?	13
3.2 Проекції зміни клімату України.....	14
3.2.1 Зміни середніх та екстремальних температур	15
3.2.2 Зміни середніх та екстремальних опадів.....	16
3.2.3 Гідрологічні зміни	16
3.2.4 Пожежонебезпека	16
3.3 Як проявиться глобальне потепління на 2°C або 4°C в Україні?	17
4 Минулі та майбутні наслідки зміни клімату для ключових секторів.....	19
4.1 Сільське господарство та продовольча безпека	19
4.2 Водні ресурси та паводкові ризики.....	20
4.3 Здоров'я людей.....	20
4.4 Міста та міське середовище	22
4.5 Екосистеми та біорізноманіття	22
4.6 Енергетика та інфраструктура	23
5 Наскрізні проблеми	24
5.1 Економічна вартість зміни клімату.....	25
5.2 Роль військового конфлікту та гендеру в загостренні впливу кліматичних змін	25
6 Ініціативи, пов'язані із заходами щодо боротьби зі зміною клімату в Україні	26
7 Прогалини у знаннях та дослідженнях для підтримки стійкості України	26

Список скорочень

AR5	П'ятий звіт про оцінку зміни клімату Міжурядової групи експертів зі зміни клімату
AR6	Шостий звіт про оцінку зміни клімату Міжурядової групи експертів зі зміни клімату
CMIP	Проект взаємного порівняння пов'язаних моделей
CORDEX	Скоординований регіональний експеримент із моделювання клімату
COVID	коронавірус-19
ECMWF	Європейський центр середньострокових прогнозів погоди
ЄС	Європейський Союз
EURO-CORDEX	Європейське відділення ініціативи CORDEX
ERA5	Реаналіз глобального клімату п'ятого покоління, розроблений ECMWF
FCDO	Міністерство закордонних справ, у справах співдружності та розвитку (Уряд Великої Британії)
GCM	Глобальна кліматична модель
ВВП	Валовий внутрішній продукт
ПГ	Парниковий газ
IPCC	Міжурядова група експертів зі зміни клімату
НВВ	Національно-визначений внесок
ODI	Інститут закордонного розвитку
RCP	Репрезентативна траєкторія концентрацій (ПГ)
SRES	Спеціальний звіт про сценарії викидів
ПРООН	Програма розвитку Організації Об'єднаних Націй
РКЗК ООН	Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату
ВМО	Всесвітня метеорологічна організація

Передмова

Цей звіт, профінансований Посольством Великої Британії в Києві, спирається на результати роботи, опубліковані Met Office у 2010 році щодо впливу зміни клімату для України¹, у яких описано вплив на ключові сектори, зокрема на безпеку забезпечення водою та продовольством, енергетику та інфраструктуру, а також на природне та антропогенне середовище. Цей звіт містить оновлені проєкції впливу кліматичних змін в Україні, які пов'язані з майбутнім глобальним потеплінням, та нову інформацію про вплив кліматичних змін у різних секторах, у тому числі на здоров'я людей і в містах України.

Зміст і формат звіту були підготовлені шляхом взаємодії з Урядом України, включаючи семінар-консультацію стейкхолдерів у травні 2021 року за участі урядових міністерств, Українського гідрометеорологічного інституту, Одеського державного екологічного університету й українських аналітичних центрів. Звіт покликаний інформувати кліматичну політику щодо управління ризиками у пріоритетних галузях економіки України. Ключові висновки були надані Посольству Великої Британії в Києві для обміну з ключовими зацікавленими сторонами для підтримки переговорів на 26-й Конференції Сторін (COP26) Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату (РКЗК ООН).

Основні висновки щодо кліматичних показників

Температура



- Температура в Україні та прилеглих регіонах піднялася майже на 1,5°C за останні 30 років. 2020 рік став найспекотнішим для Європи й України за всю історію вимірів.
- За сценарієм помірної концентрації парникових газів (RCP4.5) очікується, що порівняно з показниками станом на кінець XX століття середньорічні температури можуть зрости на 1,2°C — 3,0°C до середини та на 1,6°C — 3,5°C до кінця XXI століття.
- За сценарієм високої концентрації парникових газів (RCP8.5), якщо порівнювати з показниками станом на кінець XX століття, можливе зростання середньорічних температур на 1,7°C — 4,1°C до середини та на 3,4°C — 6,2°C до кінця XXI століття.

Екстремальна температура



- За останні десятиліття в Україні збільшилася кількість та інтенсивність періодів спеки, і, за прогнозами, у майбутньому відбудеться подальше зростання. Якщо глобальна температура підвищиться на 4°C порівняно з доіндустріальними рівнями, екстремальні періоди спеки, які раніше спостерігалися раз на 50 років, можуть виникати майже щороку.
- Прогнозується, що кількість морозних днів зменшиться, і наприкінці XXI століття в деяких районах більше не буде днів із від'ємними температурами.

Опади



- Річна кількість опадів варіюється по всій Україні, зі значною міжрічною мінливістю, що призводить до деяких дуже вологих і деяких дуже посушливих років. Очікується, що ця значна мінливість збережеться і в майбутньому.
- Імовірно, до кінця XXI століття може значно зменшитися кількість опадів улітку, особливо на півдні та південному сході України, до кінця 21 століття.
- Є ймовірність збільшення дощів узимку, особливо на півночі України. Незважаючи на збільшення опадів узимку, проєкції вказують на ймовірність зменшення поширення та висоти снігового покриву в умовах теплішого клімату, що в західних гірських регіонах, через зменшення талої води відповідно зменшуватиметься весняний стік.

Екстремальні опади



- Прогнозується, що частота та інтенсивність дуже сильних опадів зросте на 10% — 25% до кінця XXI століття.

Основні висновки щодо оцінки впливу

Сільське господарство та продовольство



- Підвищення температури та прогнозоване збільшення опадів узимку можуть збільшити продуктивність сільськогосподарських культур, але лише за нижчих рівнів потепління, пов'язаних зі сценаріями нижчої концентрації парникових газів.
- Підвищення температури та прогнозоване зниження опадів влітку впродовж XXI століття можуть призвести до зростання посушливості та теплового стресу, що негативно вплине на сільське господарство й забезпечення продовольством.

Вода



- У регіонах України з нестачею води спостерігають триваліші проти XX століття періоди спеки та довші літні сезони.
- Збільшення дефіциту води на півдні та сході України може збільшити тиск на існуючі джерела водопостачання, що призведе до збільшення кількості населення з доступом лише до забруднених запасів води.
- Прогнозоване зменшення снігового покриву в майбутньому ймовірно змінить терміни й об'єми стоку в гірських районах, що може зменшити ризик водопілля деяких річок.

Здоров'я



- Інтенсивніші та частіші випадки екстремальної спеки разом із зниженням якості повітря збільшать ризик смертності та втрати працездатності населення від теплового стресу.

Екосистеми



- Морські екосистеми та біорізноманіття в Чорному й Азовському морях перебувають під негативним впливом зміни клімату. За останні 20 років температура води зросла більше ніж на 1°C, і за сценарієм високої концентрації парникових газів імовірним є потепління до 5°C до кінця XXI століття, що становить ще більшу загрозу морським екосистемам.
- Вирубка лісів і підвищення температури призводять до збільшення пожежонебезпечності, причому пожежі стають частішими та інтенсивнішими. З підвищенням температур ризик виникнення пожеж продовжуватиме зростати в майбутньому, особливо за сценаріїв зі зменшенням опадів влітку.

Енергетика та інфраструктура



- Очікується, що прогнозоване підвищення температури, нестача води й екстремальні погодні явища збільшать попит на енергію та поставлять під загрозу її постачання через навантаження на інфраструктуру.
- Збільшення частоти сильних злив очікувано збільшить ризики дощових паводків, що завдаватимуть шкоди інфраструктурі та майну.

Зміни із часом



- Очікується, що більшість негативних наслідків зміни клімату, прогнозованих на XXI століття, будуть гіршими за сценаріями вищої концентрації парникових газів.
- Вплив зміни клімату залежатиме від комплексу інших факторів, таких як прийняті рішення щодо планування та демографічні зміни.



1 Вступ

Україна вже відчуває на собі зміну клімату. За останнє двадцятиліття кожен рік в Україні був теплішим, ніж середньостатистичні показники за довготривалий період, і 2020 рік став найспекотнішим роком у Європі та Україні, перевищивши на 2,8°C середній показник 1961-1990 рр. (див. рис. 1)². З 2010 року Україна пережила низку пов'язаних зі зміною клімату наслідків, як-от сильні посухи, великі повені та руйнівні пожежі, що призвели до загибелі людей, втрати засобів до існування та спричинили негативний вплив на ВВП³.

Основним експортом України є сільськогосподарська продукція, особливо пшениця, а також залізна руда та сталь. Україна також є важливою транзитною країною для східноєвропейського енергетичного ринку й одним із найбільших виробників вуглеводнів у регіоні⁴. Усі ключові соціально-економічні галузі нині зазнають впливу екстремальних погодних явищ, пов'язаних із зміною клімату, як-от екстремальна спека, пожежі та повені, і багато громад є вразливими до очікуваних упродовж найближчих десятиліть кліматичних змін⁵. Водночас підвищення поінформованості та рівня знань про характер очікуваних змін надає Україні можливість адаптуватися, підвищивши продуктивність сільського господарства і трансформувавши енергетичний сектор, з покращенням результатів для довкілля та здоров'я і добробуту людей.

Метою цього звіту щодо ймовірного впливу зміни клімату є проінформувати Уряд України, а також широку громадськість і бізнес про спектр наслідків, яких варто очікувати Україні в умовах потепління. Завдання полягає в тому, щоб інформувати і стимулювати національне планування адаптації до зміни клімату, а також ширшу економічну політику та ініціативи щодо підвищення стійкості України до зміни кліматичних умов.

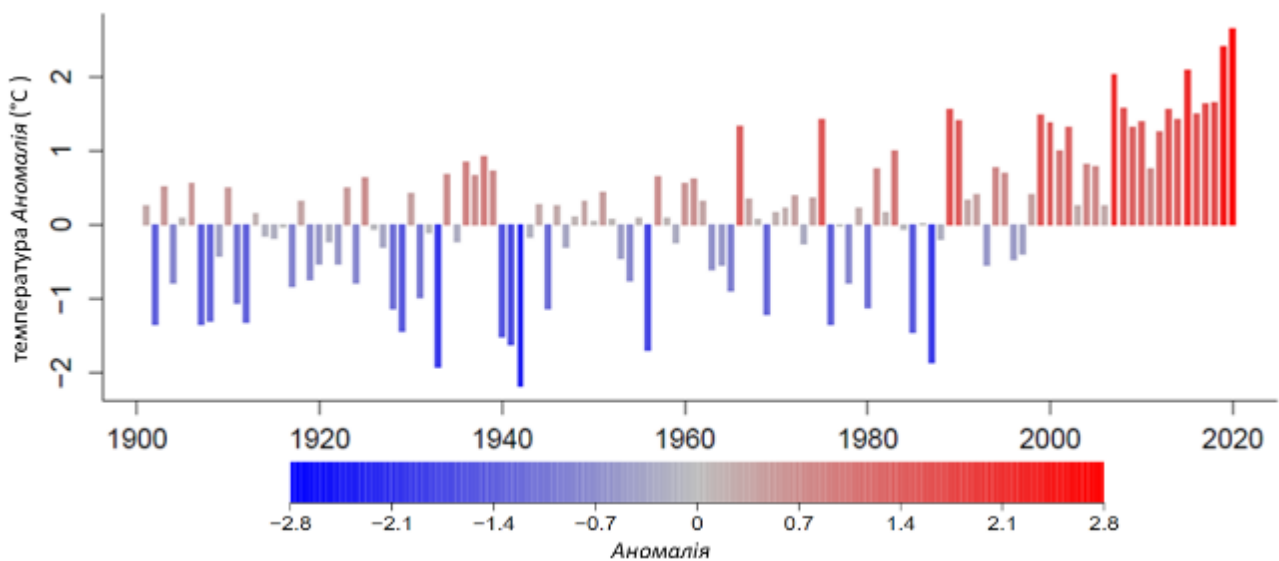


Рис. 1. Зміна річної температури в Україні з 1901 року. Роки, тепліші за середній показник базового періоду 1961-1990 років, позначено червоними стовпчиками, холодніші — синіми. Чим більший стовпчик, тим більша відмінність від середнього багаторічного показника. Значення розраховано за набором даних Берклі про температуру Землі¹.

¹ Набір даних Берклі про температуру Землі: <http://berkeleyearth.lbl.gov/auto/Regional/TAVG/Text/ukraine-TAVG-Trend.txt>

2 Сучасний клімат України

Клімат України переважно помірний із холодною зимою та теплим літом. Південні прибережні райони вздовж Чорного й Азовського морів мають субтропічний середземноморський клімат. Середня температура влітку (травень–серпень) коливається від 18°C до 22°C по всій країні (рис. 2, температура), з найтеплішими середніми показниками температури на Кримському півострові. Середні температури взимку (грудень–березень) по країні коливаються від -5°C до 2°C, з найхолоднішими показниками на північному сході³. Опади випадають цілий рік, причому в північних регіонах більша кількість опадів спостерігається влітку, а у південних – взимку (рис. 2, опади). Найбільш вологими регіонами України є північні та гірські західні райони, які характеризуються великою кількістю опадів улітку із загальним показником до 1600 мм у Карпатському регіоні та сильними снігопадами впродовж зимових місяців, водночас на півдні та південному сході країни протягом літніх місяців випадає дуже мало опадів^{3, 6, 7}. Країною протікає значна мережа річок, які впадають у Чорне море; зокрема це така велика річка, як Дніпро з притоками Прип'ять та Десна, який формує Дніпровський каскад і є важливим джерелом гідроенергії та забезпечує приблизно дві третини потреб водних ресурсів сільського господарства та промисловості, а також понад 30 мільйонів людей в Україні^{8, 9}.

2.1 Тенденції, що спостерігаються

Зміна клімату призвела до низки змін, що спостерігаються на сході Центральної Європи, включаючи Україну, де річна температура повітря за останні 30 років зросла майже на 1,5°C¹⁰ зі зростанням темпів потепління за останнє десятиліття¹¹. Потепління також розподіляється нерівномірно, причому в Україні темпи потепління вищі, ніж у прилеглих регіонах. На рисунку 2 показано, як зросла температура із часом, при цьому останні роки (позначені червоним кольором) стали тепліші за попередні (позначені синім кольором), водночас щодо опадів жодної тенденції не спостерігається. Міжрічна мінливість температури невелика, водночас найбільшою вона є впродовж зими. Натомість міжрічна мінливість опадів є набагато більш вираженою, з великими відмінностями в сумах за місяці.

Через зміни клімату на тлі зростання середньорічних температур і зміни просторового розподілу опадів, збільшується частота екстремально високих температур на сході Центральної Європи, включаючи Україну, а частота екстремальних холодів зменшується^{12, 13}. Це призводить до збільшення тривалості періодів спеки, кількості випадків нестачі води та пов'язаних із погодою перебоїв у роботі транспортних та енергетичних мереж, а також до зростання частоти затоплень, що має наслідки для таких галузей, як сільське господарство, інфраструктура та здоров'я людей^{14, 15}.

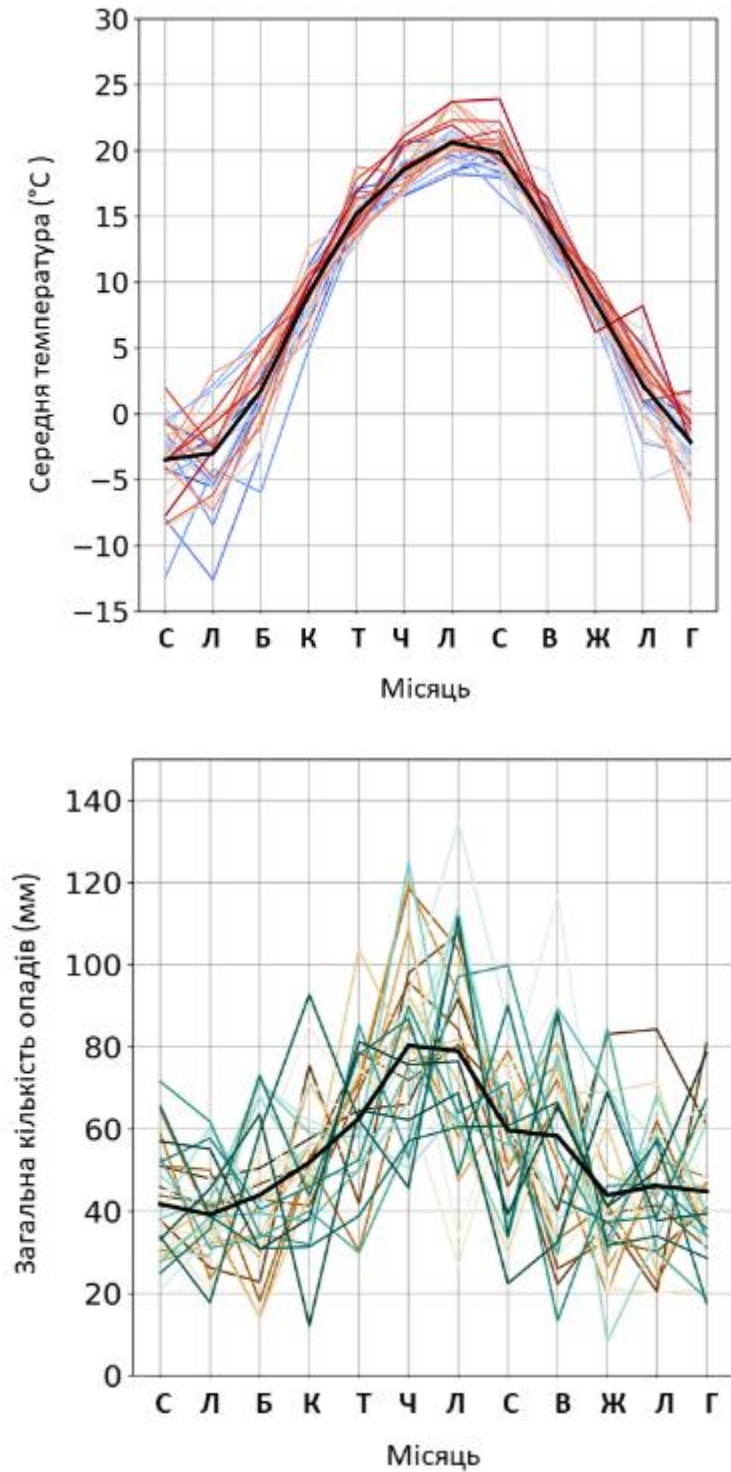


Рис. 2. Спостереження для України на основі ERA5¹⁶ дають змогу проаналізувати набір даних за 30-річний базовий період 1981–2010 рр., який використано в цьому звіті для опису середніх кліматичних показників України. На графіках показано середні місячні температури, °C (ліворуч) і місячну кількість опадів, мм (праворуч). Кожен рік зображено однією забарвленою лінією — від найбільш раннього року до найпізнішого (від синього до червоного — для температури, від коричневого до зеленого — для опадів). Потовщена чорна лінія вказує на середнє значення за 30 років.

2.2 Нещодавні небезпечні та стихійні гідрометеорологічні явища

Україна дуже вразлива до таких явищ, як дощові паводки, повені та прибережні затоплення, включаючи затоплення сільськогосподарських і міських територій, селі та грязьові потоки, а також зсуви ґрунту. Хоча зменшення снігового покриву та танення снігу навесні внаслідок тепліших зим сприяли зменшенню екстремальних повеней у всьому регіоні, включаючи Україну та прилеглі території¹⁷, за останні десятиліття Україна зазнала кількох руйнівних дощових паводків (у 1998, 2001 та 2008 роках)¹⁸. У липні 2008 року в Карпатському регіоні відбувся один з найбільших і найруйнівніших паводків, у результаті якого загинуло 47 осіб, а евакуйовано було близько 40 000^{19, 20}. У червні 2020 року паводки на заході України призвели до пошкодження понад 14 000 будинків²¹, а також завдання значної шкоди інфраструктурі, приблизно 500 км доріг було пошкоджено, а деякі магістралі зруйновано²².

У регіонах, які раніше не зазнавали посух, включаючи північні та північно-східні сільськогосподарські райони, спостерігаються посушливі умови, спричинені зростанням попиту на воду та збільшенням її дефіциту²³. Зовсім нещодавно, у період з вересня 2019 року, вищі за середні температури і тривалий дефіцит опадів на південному заході та в центрі України спричинили посуху^{24, 25} з відповідним зменшенням врожайності^{26, 27}. У 2003 та 2007 роках посуха призвела до втрат у виробництві зерна, які оцінюють у 3 млрд євро^{28, 29}. Крім того, посуха спричиняє значну ерозію ґрунту та погіршення його стану, має вплив на здоров'я, гігієну та економіку. Водночас підвищення температур зменшує кількість весняних заморозків, що позитивно позначається на врожайності зернових культур (наприклад, озимої пшениці) в аграрному секторі³⁰.

Збільшення впродовж останнього десятиліття кількості посушливих днів у поєднанні зі зростанням температури підвищило ризик виникнення пожеж в Україні³¹. Якщо порівнювати з попереднім десятиліттям, за десятиліття з 2007 року середньорічна площа спаленої території України зросла з 4,4 тис. га до 5,9 тис. га³², що відповідає спостереженому збільшенню пожежонебезпечності в Європі³³. Швидкість знищення лісів України від пожеж зростає, і під час сезону пожеж 2020 року згоріло втричі більше території за середньорічний показник. У 2020 році тепла й суха зима та сильний весняний вітер сприяли поширенню лісових пожеж у Чорнобильській зоні відчуження, де згоріло майже 11,5 тис. гектарів^{34, 35}.

Поточний військовий конфлікт на сході України призвів до знищення лісів і сільськогосподарських угідь, потенційно посиливши інтенсивність і наслідки лісових пожеж³⁶. Військовий конфлікт також завдав значного стресу громадам регіону через зниження якості води та її доступності у зв'язку з руйнуванням шахт для видобутку корисних копалин³⁷. У 2020 році у зоні конфлікту пожежники намагалися стримати поширення лісових пожеж, які знищили майно та спричинили евакуацію багатьох сіл в районі Луганська³⁸. Поточний військовий конфлікт ще більше зменшує доступні ресурси для реагування на погодні явища зі значними наслідками, коли вони такі трапляються, тим самим зменшуючи адаптаційні можливості та підриваючи стійкість.



3 Проекції майбутнього клімату України

На цей час є вагома доказова база для розуміння майбутніх змін клімату в Україні, розроблена за допомогою послідовних етапів досліджень із застосуванням моделювання, включених до звітів про оцінку Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (IPCC)³⁹, останній із яких — Шостий оцінювальний звіт (AR6) 2021 року⁵, а також регіональних досліджень із моделювання, таких як EURO-CORDEX⁴⁰. Ці дослідження розглядають реакцію кліматичної системи, представлену у складних кліматичних моделях, на різні темпи зміни концентрацій парникових газів (ПГ) в атмосфері, які зазвичай називають сценаріями концентраційⁱⁱ.

За останнє десятиліття було досягнуто значних успіхів у науковому розумінні та відображенні процесів у кліматичних моделях, а також значні технологічні удосконалення суперкомп'ютерної інфраструктури, завдяки чому моделі можуть працювати швидше та з більшою роздільною здатністю. Покращення глобальних кліматичних моделей означає, що наслідки в регіональних масштабах, наприклад, для України, можуть бути краще зрозумілі вченими. Ці досягнення дали змогу краще усвідомити чутливість нашого клімату до змін факторів, що впливають на клімат (наприклад, парникових газів), а кліматичні моделі останнього покоління, використовувані для отримання результатів в межах звіту IPCC AR6, свідчать про те, що наслідки можуть бути більш екстремальними або настати раніше, ніж вважалося до цього⁴¹. Для осіб, які ухвалюють рішення, це означає, що виникла нагальніша потреба готуватися до цього більш екстремального потенційного майбутнього.

3.1 Що таке проекції зміни клімату?

Проекція зміни клімату — це змодельована реакція кліматичної системи на майбутній сценарій зміни концентрації ПГ та інші фактори, що впливають на клімат (наприклад, забруднювачі атмосфери). Проекції змін клімату складаються з використанням кліматичних «моделей»; складних математичних моделей атмосфери, океану та суші з використанням високопродуктивних комп'ютерів.

Майбутні зміни концентрації ПГ в атмосфері залежать від вибору, зробленого та реалізованого урядами й людьми по всьому світу (наприклад, демографічний і соціально-економічний розвиток, технологічні зміни)³⁹, а також від того, як природні системи, такі як океани та ліси, справлятимуться зі збільшенням викидів ПГ. Учені вирішують цю невизначеність, моделюючи різні ймовірні сценарії викидів ПГ та аерозолів (повітряно-крапельні частинки, як-от пил або дим) під час експериментів із моделювання клімату. Зазвичай проекції змін клімату — це вибірка низки майбутніх сценаріїв, включаючи як сценарії, за яких буде докладено зусилля для істотного обмеження викидів ПГ, зумовлених людиною (наприклад, відповідно до Паризької угоди РКЗК ООН⁴²), так і сценарії, за яких кількість викидів продовжує збільшуватися або скорочується дуже повільно.

Репрезентативні траєкторії концентрацій (RCP), використовувані в описаних тут експериментах із моделювання клімату, — це часові ряди змін концентрацій ПГ, аерозолів і хімічно активних газів, що виникають внаслідок викидів та змін у землекористуванні⁴³. Слово репрезентативні означає, що кожен RCP забезпечує лише один із багатьох можливих сценаріїв викидів і землекористування, які можуть призвести до певного «радіаційного впливу» (тобто зміни потоку енергії в атмосфері, що вимірюється у ватах на квадратний метр), зумовленого збільшенням ПГ до кінця XXI століття. Потенційно може бути багато різних сценаріїв викидів, які призводитимуть до єдиного RCP.

ⁱⁱДля отримання додаткової інформації про сценарії концентрації парникових газів див. керівництво Met Office щодо репрезентативних траєкторій концентрацій:

<https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/research/ukcp/ukcp18-guidance---representative-concentration-pathways.pdf>

Проекції зазвичай представляють як зміни у статистиці майбутнього клімату, такі як зміна середньої температури, розрахована на 30-річний період у майбутньому порівняно з базовим кліматом за 30-річний період у недавньому минулому. Через щорічні природні коливання (наприклад, після спекотного літа може бути прохолодне літо) для обрахунку середніх показників температури, опадів та інших змінних використовують стандартні 30-річні кліматологічні періоди. Для порівняння також розраховують додаткові статистичні дані, такі як кількість теплових хвиль, що відбулися протягом 30-річного періоду. Такі 30-річні кліматичні статистичні дані можуть бути розраховані в будь-якому просторовому масштабі (наприклад, на місцевому, національному чи глобальному рівнях) як для історичних періодів, відомих як «базові», так і для майбутніх періодів на часових горизонтах, які цікавлять осіб, що ухвалюють рішення. Задля сприяння в координації та порівнянні досліджень і звітності в усьому світі Всесвітня метеорологічна організація (ВМО) визначає стандартні історичні базові періоди⁴⁴. А IPCC визначає майбутні періоди, що становлять інтерес для складання проєкцій, оновлюючи їх для кожної наступної серії звітів про оцінку IPCC. На сьогодні більшість рецензованої літератури, присвяченої дослідженню впливу зміни клімату, було опубліковано із застосуванням базового сценарію 1981–2010 рр., використаного ВМО та в П'ятому звіті про оцінку IPCC, що містить проєкції зміни клімату на основі різних RCP.

3.2 Проекції зміни клімату України

У цьому звіті проєкції зміни температури та кількості опадів для України взято переважно з кліматичних моделей, використаних у П'ятому звіті про оцінку зміни клімату IPCC (AR5) — результати моделювання, проведеного для етапу 5 Проєкту взаємного порівняння пов'язаних моделей (CMIP5)ⁱⁱⁱ. Результати доповнено новими висновками, зробленими на основі оцінок останнього покоління проєкцій кліматичних моделей, використаних у IPCC AR6, у глобальному та регіональному масштабах.

Таблиця 1. Проекції річних і сезонних змін температури приземного повітря для України. Зміни відносно базового періоду 1981–2010 рр. й наведені в діапазоні 10-го та 90-го процентилів, отриманих за допомогою ансамбля з 31 кліматичної моделі CMIP5, розрахованого як середнє просторове значення для України для RCP4.5 (позначено синім) та RCP8.5 (позначено червоним) сценаріїв концентрації ПГ. Дані про зміни наведено в розрізі двох майбутніх періодів — середини століття, що позначає 2050-ті роки (середній показник за період 2041–2070 рр.), і кінця століття — 2080-ті роки (середній показник за період 2071–2100 рр.).

Зміни температури (°C)				
Сезон	2050-ті, RCP4.5	2050-ті, RCP8.5	2080-ті, RCP4.5	2080-ті, RCP8.5
Груд.–лют.	+0.7 до +3.3	+1.6 до +4.2	+1.6 до +4.3	+3.5 до +7.3
Берез.–трав.	+0.8 до +2.9	+1.5 до +3.8	+1.3 до +3.3	+2.7 до +5.7
Черв.–серп.	+1.3 до +3.5	+1.7 до +4.9	+1.4 до +4.5	+3.3 до +7.7
Верес.–листоп.	+1.1 до +2.8	+1.8 до +3.9	+1.6 до +3.4	+3.4 до +6.2
Річні	+1.2 до +3.0	+1.7 до +4.1	+1.6 до +3.5	+3.4 до +6.2

Проекції зміни подано для середини XXI століття (2050-і роки, 30-річний період із 2041 до 2070 року) і кінця XXI століття (2080-ті роки, 30-річний період із 2071 до 2100 року) за сценаріями помірної (RCP4.5) і високої концентрації ПГ (RCP8.5) порівняно з 30-річною базовою лінією 1981–2010 років. Незважаючи на те що точний рівень потепління залежить як від кількості викидів ПГ, так і від швидкості скорочення викидів протягом століття⁴⁵, сценарій високої концентрації ПГ загалом відповідає глобальному потеплінню наприкінці XXI століття між 3°C і 5°C, а сценарій помірної концентрації ПГ із глобальним потеплінням від 2,5°C до 3°C⁴⁶. Додатковий сценарій концентрації ПГ (RCP2.6) передбачає значне пом'якшення наслідків завдяки скороченню викидів, у результаті якого

ⁱⁱⁱ Детальніше про моделі CMIP5 та аналіз, проведений для України в межах цього звіту, див. Додаток до спільних звітів про ризики Met Office, ODI та FCDO за посиланням: <https://www.metoffice.gov.uk/services/government/international-development/climate-risk-reports>

показник глобального потепління наприкінці століття становитиме $1,7^{\circ}\text{C} - 1,8^{\circ}\text{C}$, що відповідає намірам щодо стримування глобального потепління на позначці значно нижчій за 2°C ⁴⁷. Регіональні оцінки впливу зміни клімату за цим сценарієм обмежені, але інформацію було внесено до звіту в тих випадках, коли відповідні дані є в літературі.

Висновки про зміни температури в Україні наведено в таблиці 1, а про зміни рівня опадів — у таблиці 2. Щоб продемонструвати регіональні відмінності у просторових моделях по всій Україні, результати із чотирьох обраних кліматичних моделей за сценарієм високої концентрації ПГ (RCP8.5) показано на рисунку 3 (моделі було обрано як такі, що широко охоплюють діапазон потенційних майбутніх змін, а не з огляду на їх більшу надійність за інші).

3.2.1 Зміни середніх та екстремальних температур

Очікується, що до 2050-х років середня температура по Україні може зрости порівняно з кінцем ХХ століття на $1,2^{\circ}\text{C} - 3,0^{\circ}\text{C}$ за сценарієм помірної концентрації ПГ (RCP4.5) і $1,7^{\circ}\text{C} - 4,1^{\circ}\text{C}$ — за сценарієм високої концентрації ПГ (RCP8.5) (див. рядок «Річні» таблиці 1). Водночас до 2080-х років середня температура може зрости порівняно з кінцем ХХ століття на $1,6^{\circ}\text{C} - 3,5^{\circ}\text{C}$ за сценарієм помірної концентрації ПГ (RCP4.5) та $3,4^{\circ}\text{C} - 6,2^{\circ}\text{C}$ — за сценарієм високої концентрації ПГ (RCP8.5) (див. рядок «Річні» таблиці 1).

Таблиця 2. Проекції річних і сезонних змін суми опадів для України за порами року; розраховуються щорічно. Зміни відносно базового періоду 1981–2010 рр. й наведені в діапазоні 10-го та 90-го перцентилів, отриманих за допомогою ансамблю з 31 кліматичної моделі СМІР5, розрахованого як середнє просторове значення для України для RCP4.5 (позначено синім) та RCP8.5 (позначено червоним) сценаріїв концентрації ПГ. Дані про зміни наведено в розрізі двох майбутніх періодів — середини століття, що позначає 2050-ті роки (середній показник за період 2041–2070 рр.), і кінця століття — 2080-ті роки (середній показник за період 2071–2100 рр.).

Зміни сум опадів (%)				
Сезон	2050-ті, RCP4.5	2050-ті, RCP8.5	2080-ті, RCP4.5	2080-ті, RCP8.5
Груд.-лют.	-1 до +15	-2 до +17	0 до +20	0 до +28
Берез.-трав.	-5 до +22	-4 до +22	-2 до +23	-6 до +27
Черв.-серп.	-20 до +14	-26 до +10	-19 до +10	-44 до +6
Верес.-листоп.	-8 до +11	-13 до +13	-11 до +15	-17 до +11
Річні	0 до +10	-6 до +10	+1 до +12	-7 до +14

На рисунку 3 показано проєкції для України просторових змін, пов'язаних із різними рівнями глобального потепління. Згідно з даними, слід очікувати, що центр і північ України зазнають найбільших темпів потепління, тоді як у прибережних регіонах цей процес буде повільнішим через пом'якшуючий вплив Чорного й Азовського морів.

Очікується також, що за всіма сценаріями концентрації ПГ частота та інтенсивність екстремальних температур протягом ХХІ століття зростатимуть, зі збільшенням кількості дуже спекотних днів і теплих ночей, а також теплих періодів^{39, 48, 49}. Наприклад, за сценарієм високої концентрації ПГ в Донецькій області ймовірно є збільшення кількості спекотних днів із температурою понад 35°C ⁵⁰. На цей час у Донецькій області в середньому спостерігається 1 такий день на рік. Проте очікується, що до кінця століття ця кількість може зрости до майже 20 днів на рік.

За прогнозами, протягом найближчих десятиліть потепління призведе до зменшення кількості днів із від'ємною температурою, а в деяких областях їх не буде взагалі^{49, 51}. Строки досягнення цих порогових значень залежать від швидкості потепління, причому за сценаріїв високої концентрації ПГ це станеться

раніше. Зменшення днів із від'ємною температурою відбудеться швидше у понад 1,5 рази до 2080-х років за сценарієм високої концентрації ПГ, ніж за сценарієм помірної концентрації ПГ⁵⁰.

3.2.2 Зміни середніх та екстремальних опадів

Очікувані зміни кількості опадів в Україні варіюються залежно від сезону, водночас до середини XXI століття сезонні зміни може бути складно відрізнити від наявної щорічної мінливості. За всіма сценаріями концентрації ПГ більшість моделей до 2080-х років засвідчують імовірність значного зменшення літніх опадів на півдні та південному сході України і збільшення зимових опадів на півночі України (див. сезонні зміни сум опадів у таблиці 2 та просторові зміни на рисунку 3), хоча також можливою є майже повна відсутність змін в опадах у ці пори року. Дані свідчать про більшу ймовірність зменшення кількості опадів у прибережних регіонах і збільшення на півночі України в теплішому світі (рис. 3).

Незважаючи на широкий діапазон можливих майбутніх змін середньої кількості опадів, очікується, що екстремальні опади в усі пори року можуть стати інтенсивнішими^{49, 52}, що спричинюватиме збільшення поверхневого стоку і дощових паводків за всіма сценаріями концентрації ПГ⁵¹. Збільшення кількості найвологіших днів у році на 10% – 25% до кінця століття є можливим за всіма сценаріями концентрації ПГ, причому істотніше збільшення очікується за вищим сценарієм^{49, 50}.

3.2.3 Гідрологічні зміни

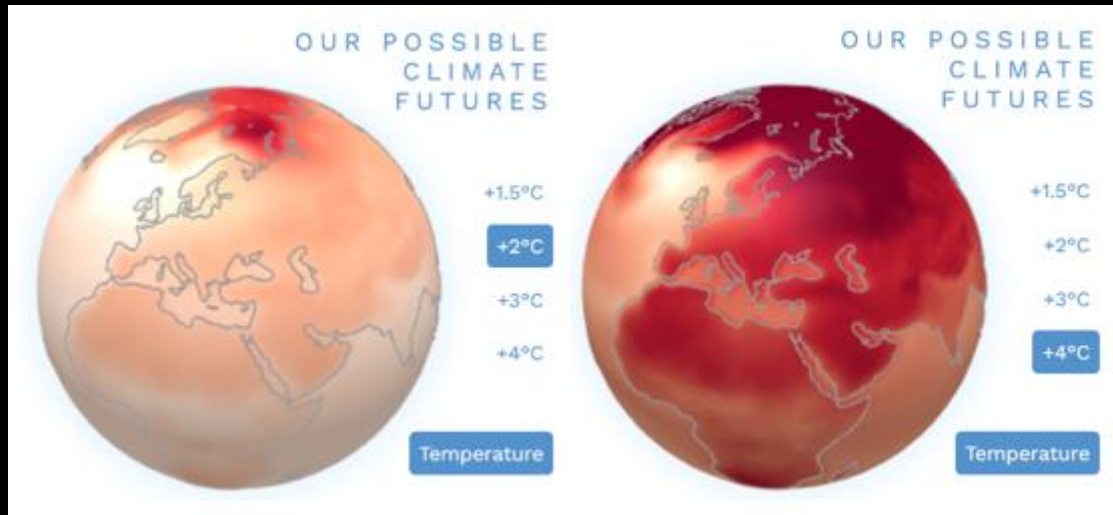
Зменшення середньої загальної кількості опадів, спричинене значним скороченням кількості опадів улітку, а також зменшенням снігового покриву, змінить строки та об'єм стоку з гірських районів і може зменшити ризик річкових повеней^{17, 49, 52}. Очікується, що стік і поповнення підземних вод також зменшаться за більшості сценаріїв концентрації ПГ, що пов'язано зі зменшенням річної кількості опадів та випаровуванням, яке, за прогнозами, зростатиме з підвищенням температури⁵¹. Це призведе до зменшення вмісту вологи у ґрунті та подальшої деградації земель і степів по всій Україні, а також потенційно до триваліших і більш суворих умов посухи^{53, 54}.

3.2.4 Пожежонебезпека

Очікується, що погодні умови, що можуть спричинити загоряння та тривалі пожежі, почастишають⁵¹ зі збільшенням частини року, коли умови найбільше сприяють виникненню пожеж через підвищення температури та висихання ландшафту. Прогнозоване зростання кількості спекотних днів разом з очікуваними змінами в режимі опадів в Україні може значно збільшити ризик пожеж у майбутньому. За результатами останніх досліджень було виявлено кілька регіонів України, зокрема Херсонська, Луганська, Київська, Донецька, Запорізька та Дніпропетровська області, які є вразливими до лісових пожеж^{31, 55}.



3.3 Як проявиться глобальне потепління на 2°C або 4°C в Україні?

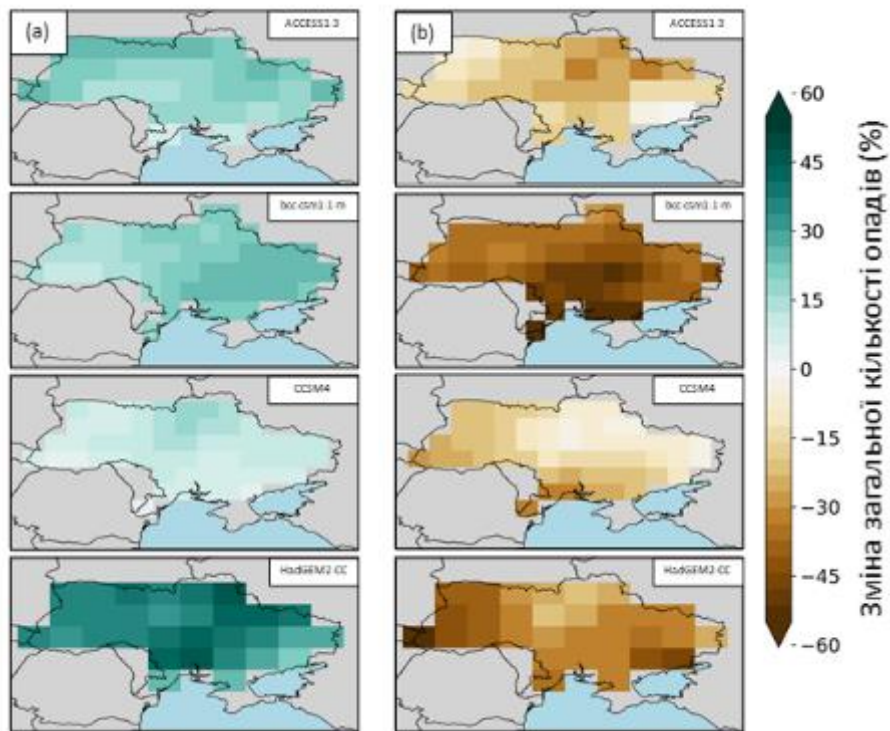


Зображення з Інтерактивного атласу IPCC AR6: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

Із підвищенням температури вплив проявляється по всій земній кулі нерівномірно. В останні десятиліття схід Центральної Європи зазнавав більшого потепління, ніж навколишні регіони, зокрема вищий рівень потепління характерний для України. Відповідно до Паризької угоди РКЗК ООН уряди зобов'язалися стримувати глобальне потепління в межах показника значно нижче за 2°C порівняно з доіндустріальними рівнями, але останні звіти IPCC та оцінки очікуваних викидів засвідчують, що нинішні наміри недостатньо для унеможливлення потепління більш як на 4°C¹²⁴. Тому важливо врахувати, як зростання глобальної середньої температури на 2°C або 4°C вплине на Україну.

Згідно з дослідженнями, у разі глобального потепління на 2°C, на сході Центральної Європи потепління буде більшим, ніж глобальне середнє значення, зокрема йдеться про підвищення температури на 3°C взимку та більш інтенсивну й частішу екстремальну спеку¹²⁵. Аналіз результатів моделювання засвідчує, що за умови глобального потепління на 4°C регіональні відмінності регіонального потепління й сезонні зміни опадів додатково зростуть, при цьому екстремальна спека, яка раніше траплялася раз на 50 років, відбуватиметься майже щороку⁵. У разі зростання температури на 4°C у світі можливе переміщення географічних зон до 400 км у напрямку полюсів, що серйозно вплине на унікальні гірські екосистеми України та призведе до масового погіршення здоров'я та порушення біорізноманіття екосистем^{126,127}.

- (a) Відсоткова зміна загальної кількості зимових опадів (груд.-лют.) згідно з RCP8.5 за 2080-ті роки порівняно з 1981-2010 роками
 (b) Відсоткова зміна загальної кількості літніх опадів (черв.-серп.) згідно з RCP8.5 за 2080-ті роки порівняно з 1981-2010 роками



- (c) Зміна середньої зимової температури (груд.-лют.) згідно з RCP8.5 за 2080-ті роки порівняно з 1981-2010 роками
 (d) Зміна середньої літньої температури (черв.-серп.) згідно з RCP8.5 за 2080-ті роки порівняно з 1981-2010 роками

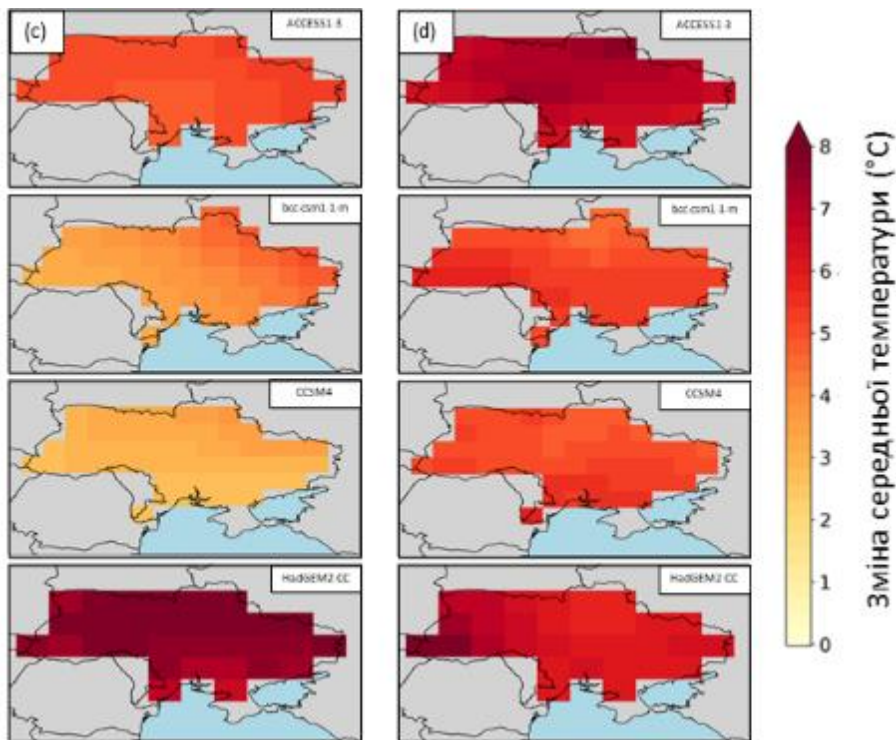


Рис. 3. Карти, що показують проєкції змін за сценарієм високої концентрації ПГ (RCP8.5) для зимових та літніх опадів (дані a та b) і температур (цифри c та d) для України згідно з 4 обраними моделями CMIP5, що є репрезентативними прикладами ймовірної просторової мінливості в майбутньому. Зміни показано для періоду кінця XXI ст., що позначається 2080-ми роками (у середньому за період 2071–2100 рр.), порівняно з базовим періодом 1981–2010 рр.

4 Минулі та майбутні наслідки зміни клімату для ключових секторів

У цьому розділі узагальнено інформацію з наявних публікацій про минулі та майбутні наслідки зміни клімату в Україні та прилеглому регіоні для ключових секторів. За можливості було взято результати, що стосуються конкретно України. Там, де результатів для конкретної країни немає, наведено відповідні результати щодо ширшого регіону Центральної та Східної Європи, частиною якого є Україна. Основні наслідки для кожного сектору узагальнено на початку цього звіту.

Адаптація до впливу зміни клімату є критичною для захисту суспільства та вразливих громад. У той час як надання рекомендацій щодо специфічних заходів адаптації для України не є метою цього звіту, у кожен розділ було включено приклади адаптаційних заходів у Великій Британії та деінде, аби продемонструвати, як описані впливи можна врахувати, хоча й у різних контекстах.

4.1 Сільське господарство та продовольча безпека

Україна є важливим експортером зерна, зокрема пшениці, та іншої сільськогосподарської продукції до Європи та решти світу. Аграрний сектор є значним роботодавцем, насамперед у сільськогосподарських регіонах на південному сході. У найближчій перспективі прогнозоване підвищення температури може збільшити врожайність, тобто продовжити період вегетації деяких зернових культур і збільшити врожайність на півночі⁵⁶. Однак ці переваги можуть бути знівельовані в разі перевищення важливих порогових значень потепління для окремих культур. В умовах теплішого клімату зростатиме частота випадків екстремальної спеки, а це в поєднанні зі збільшенням частоти й інтенсивності посух на півдні країни може мати загальний негативний вплив^{57,58}. Дослідження продемонстрували, що зрошення може задовольнити підвищений попит на воду для сільського господарства, пов'язаний зі зростанням температурних показників і збільшенням випаровування³⁰, хоча значною мірою це залежить від наявності водних ресурсів.

Впродовж 2010-х років сільськогосподарське виробництво в Україні через малу кількість опадів та сильну посуху неодноразово зазнавало значних втрат врожаю овочевих і зернових культур. Подібні втрати врожаю очікуються продовжуватися й надалі, що матиме серйозні наслідки для глобальної продовольчої безпеки⁵⁸. Південні регіони України з і так сухим і теплим кліматом теплішають швидше, ніж решта країни, і вже зазнали значних змін у сезонній мінливості опадів зі збільшенням загальної кількості опадів узимку та зменшенням влітку⁵⁹. Ці зміни в сезонній мінливості опадів у поєднанні з підвищенням температури спричиняють зростання випаровування та створюють дефіцит води⁶⁰, що ускладнює землеробство, яке залежить від зрошення, у районах, де спостерігається мала кількість опадів і часті екстремальні високі температури влітку, що спричиняють водний і тепловий стрес. Понад третина сільськогосподарських угідь в Україні у спекотні та посушливі періоди вже знаходиться під впливом водного стресу в поєднанні з ерозією від паводків і вітру на голих ґрунтах⁶¹. Зменшення доступності води для рослин через збільшення посушливості та зменшення поживних речовин ґрунту можуть обмежити потенційний приріст продуктивності від збільшення концентрації CO₂⁶², хоча це залишається сферою активних досліджень⁶³. Згідно з проєкціями майбутніх змін клімату, зменшення кількості опадів улітку та підвищення температури в поєднанні зі збільшенням частоти випадків екстремальної спеки посилять зазначені ризики для сільськогосподарського виробництва.

Врахування впливу зміни клімату на сільське господарство та продовольчу безпеку вимагає проведення адаптаційних дій на різних рівнях — від політики національного рівня до окремих домогосподарств. Як приклад, Met Office надає інформацію в рамках партнерства з Китаєм щодо кліматичного сервісу (Climate Science for Service Partnership China)⁶⁴ про оцінку ризику посухи для врожаю кукурудзи в Північно-Східному сільськогосподарському регіоні, вказуючи, що поточний ризик посухи вищий, ніж передбачалося раніше⁶⁵. Фермери та місцеві органи влади використовують цю

інформацію для планування із врахуванням ризиків посухи, використовуючи ефективніші технології поливу або висаджуючи посухостійкі сорти культур. [Водні ресурси та паводкові ризики](#)

Очікується, що в теплішому кліматі зміниться сезонний стік річок по всій Україні, зокрема він зменшиться порівняно з теперішнім навесні та збільшиться восени і влітку. Наприклад, моделювання стоку в басейні Південного Бугу в умовах майбутнього потепління свідчить про скорочення весняного стоку до 50%⁶⁶. Це відповідає очікуваному зменшенню весняного стоку в басейнах річок Східної та Центральної Європи, що пов'язано зі зменшенням кількості снігу в тепліші зимові місяці та кількості опадів протягом літньої половини року^{17, 67}. На півдні високозрошувані сільськогосподарські угіддя Херсонської області дедалі більше наражаються на потенційне збільшення посушливості (зменшення кількості опадів, підвищення температури, збільшення випаровування)⁶⁸. У регіонах України, які вже відчують водний стрес і зменшення максимуму річного ходу загальної кількості опадів із зменшенням наповнення підземних вод, спостерігається збільшення частоти тривалих хвиль спеки із подовженням літнього сезону^{6, 12, 69}.

Незважаючи на те що сезонні зміни в кількості опадів різняться по країні, очікується, що випадки екстремальних опадів можуть почастишати скрізь⁵², причому більш інтенсивні опади можуть збільшити частоту дощових паводків. Очікується, що щорічні втрати від повеней по всій Європі можуть збільшитись у п'ять разів до 2050-х років, а до 2080-х — у сімнадцять, що підкреслює необхідність держав формувати стійкість до паводків⁷⁰. Зміни у кількості опадів у величезній мережі річок, водозборів і водоносних горизонтів в Україні можуть призвести до сценаріїв з високим ризиком затоплень. В Україні річкові повені на цей час становлять серйозний ризик по всій країні, оскільки вони можуть завдати значної шкоди та загрожувати життю людей, однак очікуване зменшення кількості талого снігу навесні призведе до зменшення найінтенсивніших 100-річних річкових повеней¹⁷. Подальша урбанізація в умовах посилення опадів унаслідок зміни клімату може збільшити ризик виникнення дощових паводків, які потребують заходів протидії задля мінімізації шкоди для економіки, довкілля та суспільства як від прямих (наприклад, пошкодження інфраструктури, загроза життю), так і непрямих (наприклад, закриття підприємств та переміщення людей) втрат.

Вплив зміни клімату для різноманітних кліматичних та екологічних систем також посилює наявні загрози. Наприклад, у Карпатах, навіть з тим, що зменшилася кількість опадів у літній сезон (що призвело до дефіциту води в регіоні), одночасно взимку через інтенсивніші опади та зменшення снігового покриву збільшилися ризики повеней і пов'язаних із ними наслідків, як-от зсуви та ерозія ґрунту⁷¹.

Управління водними ресурсами у межах басейнів вимагає стратегічного планування та координації між різноманітними партнерами, що представляють водокористувачів. У басейні Дунаю, який знаходиться в межах 19 країн, включно з Україною, Стратегія кліматичної адаптації для басейну річки Дунай об'єднує останні наукові розуміння про те, як зміна клімату може вплинути на безпеку та якість води, та визначає можливі адаптаційні заходи⁷². План був прийнятий Міжнародною комісією із захисту річки Дунай (ICPDR) і містить рекомендації щодо вдосконалення систем раннього оповіщення у відповідь на очікуване збільшення таких гідрологічних екстремальних ситуацій, як затоплення, а також заходів у межах басейну для зменшення впливу паводкових явищ і формування стійкості до посухи, таких як відновлення чутливих до режиму зволоження екосистем⁷³.

4.3 Здоров'я людей

Зміна клімату вже створює додатковий стрес для систем охорони здоров'я. З глобальним потеплінням зростатимуть випадки втрат життя, хвороб та зменшення продуктивності, пов'язані з тепловими хвилями та похолоданнями, пожежами, посухою і повенями. Є чітка залежність між екстремальними

спекотними та холодними температурами і смертністю⁷⁴; зміна клімату зменшує частоту екстремальних холодів і збільшує частоту екстремальної спеки. Екстремальні температури значно більше впливають на людей похилого віку та осіб із низькими доходами, які проживають у поганих житлових умовах та не можуть використовувати дорогу енергію для охолодження⁷⁴. Хвороби, які зазвичай асоціюються з тропічними регіонами, як-от малярія, що передається через укуси комарів, і лихоманка Денге, можуть переміститися в інші регіони, оскільки з підвищенням температури змінюються і кліматичні зони⁷⁵, створюючи нові загрози для здоров'я людей в Україні. На національному рівні особам, які ухвалюють рішення, доведеться пристосовуватися до суміжних ризиків, пов'язаних із наслідками щодо якості води та повітря, появою переносників хвороб, небезпечних для людей, а також із загрозами для водопостачання та врожаю. Показники у сфері охорони здоров'я являтимуть собою комбінацію цих впливів, пов'язаних із кліматом, і заходів, спрямованих на формування стійкості через соціальні фактори, наприклад за допомогою прогресу в лікуванні хвороб і поліпшення умов проживання та якості повітря.

З глобальним потеплінням зростатиме кількість людей, що зазнають впливу екстремальної спеки й вологості у дні, коли температура змоченого термометра (показник теплового стресу під прямим сонячним промінням) перевищує 33°C, коли висока вологість зменшує можливості людей охолоджуватися та призводить до теплового стресу⁷⁶. Зростання міського населення призведе до того, що дедалі більше людей страждатиме від погіршення якості повітря та постане перед необхідністю адаптувати опалення й охолодження будівель, які на цей час погано пристосовані до очікуваних майбутніх умов. Багато з найбільш уразливих груп населення, зокрема жінки, працівники, що виконують роботи на відкритому повітрі, люди з низькими доходами та бездомні, дедалі частіше зазнаватимуть негативних наслідків для здоров'я, пов'язаних із екстремальними температурами⁷⁷.

В Україні погана якість і забруднення повітря справляють на здоров'я людей значний вплив. Смертність, пов'язана із забрудненням повітря, становить ~6% від загальної смертності (~27 000 смертельних випадків на рік)⁷⁸, при цьому Україна посідає 4-те місце в Європі за рейтингом смертності від усіх видів забруднення, серед яких переважає забруднення повітря⁷⁹. Очікується, що зміна клімату вплине на здоров'я людей безпосередньо через збільшення дрібних частинок і забруднювачів, а також опосередковано – через виробництво вторинних забруднювачів, включаючи озон, що може мати згубний вплив на врожайність сільськогосподарських культур⁸⁰. Погана якість повітря в Україні пов'язана із забрудненням від виробництва електроенергії, старінням промислової інфраструктури та видобутком вугілля, а також димом від лісових пожеж, що підвищує рівень забруднення повітря в літній сезон пожеж⁸¹.

Для підвищення стійкості у містах управлінці потребують місцево актуальну інформацію про небезпечні явища сьогодення і також вплив спеки у майбутньому, щоб формувати політичні та адаптаційні рішення. У Великій Британії міські ради обмежені в ресурсах, і багато з них не мають спеціально призначеного фахівця з адаптації або співробітників із науковою освітою для інтерпретації національної кліматичної інформації для своєї місцевості. Інформаційні бюлетені для міст, розроблені Met Office у співпраці з кількома міськими радами Великої Британії у формі «міських пакетів»⁸², були спроектовані для використання міськими радами для підвищення обізнаності про поточні та майбутні небезпечні кліматичні явища, які мають відношення до їхніх міст, і надання ключових висновків про такі небезпечні явища, як спека, опади та підвищення рівня моря, і як вони можуть змінитися у майбутньому за усіма сценаріями. Ради співпрацюють із міськими органами охорони здоров'я над розробкою систем раннього попередження громадськості про прогнозовані періоди екстремальної спеки, щоб зменшити тепловий стрес, а також розглядають стратегії пасивної адаптації, такі як збільшення крон дерев і зелених зон для охолодження міського середовища.

4.4 Міста та міське середовище

Приблизно дві третини населення України проживають у містах та міських районах⁸³, перед якими стоять унікальні виклики, пов'язані зі зміною клімату. Наприклад, міські середовища, що містять непроникні поверхні, можуть збільшити ризик повеней. На міські території також впливає ефект міського теплового острова, що призводить до більш високих температур порівняно з навколишніми сільськими районами. Хвилі спеки^{iv}, високі температури й пов'язані з ними острови тепла та їх вплив, як-от тепловий стрес, є серйозним ризиком для здоров'я людей у містах України. За останні десятиліття в Україні зросла кількість хвиль спеки влітку⁸⁴. Наприклад, у Києві за 30 років (з 1991 року) їх кількість збільшилася на 142% (із 7 до 17 випадків)⁸⁵. До хвороб, пов'язаних зі спекою, належать тепловий удар, теплова втома та теплове виснаження, а найбільш вразливими до захворювань, пов'язаних із спекою, є люди з груп підвищеного ризику як от особи, що страждають на хронічні захворювання, літні люди та діти. Для того, щоб зрозуміти вразливість у майбутньому міст та міських територій до підвищення температури і збільшення кількості хвиль спеки, потрібні додаткові дослідження.

Дощові паводки, що посилюються через зростання урбанізації та кількості випадків сильних опадів, імовірно, стануть серйозною проблемою для міст України, а також у Центральній і Східній Європі⁸⁶. Паводки також можуть мати значний вплив на якість води, спричинити проблеми зі здоров'ям людей, перебої в промисловості та транспорті й руйнування інфраструктури.

Адаптація в містах необхідна з огляду на низку кліматичних небезпек. Наприклад, у Великій Британії у гирлі Темзи, де розташований Лондон, припливи з одночасною дією погодних систем низького тиску можуть спричинити підтоплення⁸⁷. Ділянки низин (заплави) в гирлі зазнавали б значного ризику затоплення, якби їх не захищали засоби протидії повеням. Гирло Темзи містить важливу інфраструктуру, включаючи лондонське метро, і цей район щорічно вносить 250 мільярдів фунтів стерлінгів в економіку Великої Британії, що робить його важливим центром комерції. Задля посилення стійкості до підвищення рівня моря та збільшення ризику припливних повеней у гирлі Темзи уряд Великої Британії розробив план адаптації для моніторингу та управління ризиками для цієї інфраструктури до кінця цього століття⁸⁸. Він включає в себе програму моніторингу та оновлення засобів захисту від повеней, таких як протипаводкові дамби та набережні насипи, які є невід'ємною частиною ландшафту Темзи. У міру виконання робіт із захисту від повеней з'являться інші можливості, які включають кращий доступ населення до річки, створення місць проживання та збільшення соціальних, економічних і комерційних переваг, які надає річка.



4.5 Екосистеми та біорізноманіття

Україна — глобально важливий сільськогосподарський виробник, а також місце екологічно значущих лісових і лісостепових регіонів. Здоров'я екосистем, особливо лісів, є життєво важливим для

^{iv} Тут теплову хвилю потрібно розуміти як тривалий період спекотної погоди порівняно з очікуваними умовами місцевості в ту чи іншу пору року, що може супроводжуватися високою вологістю.

забезпечення продуктивності та функціонування сільськогосподарських угідь і водних мереж, а також є корисним для здоров'я людей^{61, 89}. Останнім часом в Україні зросла частка лісових площ, уражених шкідниками та хворобами. Упродовж 2001–2010 рр. постраждало 5–6% загальної площі лісів, а в період 2011–2020 рр. цей показник збільшився до 8%⁹⁰. Таке зростання можна частково пояснити підвищенням температури, зміною кількості опадів і додатковими факторами, що спричиняють стрес для лісів та інших екосистем, оскільки клімат змінюється поза їх здатністю адаптуватися. Наприклад, зменшення снігового покриву, пов'язане зі зміною клімату, у поєднанні зі зміною практики використання земель у Карпатському регіоні має згубний вплив на рідкісні види альпійських рослин⁹¹. У Карпатах також зафіксовано збільшення як літніх хвиль спеки, так і зимових хвиль морозу, які разом зі збільшенням частоти, тривалості та інтенсивності посухи можуть загрожувати унікальній біосфері⁹². Значною антропогенною загрозою для українських лісів є їх вирубка для сільського господарства або в результаті конфлікту. Знеліснення пов'язують також зі збільшенням кількості випадків повеней і пожеж та завданими збитками, які, за прогнозами, теж можуть зрости внаслідок зміни клімату^{93, 94}. Морські екосистеми та біорізноманіття Чорного й Азовського морів також перебувають під загрозою зміни клімату, зокрема потепління більше ніж на 1°C за останні 20 років, а до кінця століття, ймовірно, – до 5°C може порушити усталене функціонування системи⁹⁵.

В інших гірських екосистемах, що підтримують унікальну флору та фауну, адаптаційні заходи було сконцентровано навколо побудови стійкості до зміни клімату через лісовідновлення та збільшення біорізноманіття. У лісах Кеунья хребта Вілканота, Перу, місцеві громади здійснюють лісовідновлення регіону місцевими видами дерев⁹⁶. Місцеві види вже адаптовані до умов регіону і дозволяють утримувати та рівномірно постачати водні ресурси впродовж року природним чином. Додаткова вигода полягає у сприянні екотуризму в регіоні, що, в свою чергу, приносить додаткові ресурси, підвищує обізнаність про виклики, з якими стикається регіон, і підвищує унікальну культурну цінність громад.

4.6 Енергетика та інфраструктура

Україна має важливий ресурсний сектор, є ключовою транзитною країною для розподілу природного газу, а також має великий виробничий і переробний сектор, особливо у виробництві сталі. Екстремальні погодні явища, включаючи повені та хвилі спеки, знижують продуктивність і порушують роботу транспортних мереж, затримують рух товарів, збільшують витрати та створюють тиск на ланцюги постачання. Крім того, порти й ланцюги постачання є вразливими до збільшення частоти штормових хвиль, екстремальних опадів і підвищення рівня моря внаслідок зміни клімату⁹⁷.

Стимування глобального підвищення температури в межах показника «значно нижче 2°C» згідно з Паризькою угодою потребує від усіх країн істотного скорочення викидів вуглецю⁴². Україна є значним європейським виробником вуглеводнів і до 2030 року пообіцяла скоротити викиди на 65% проти рівня 1990 року⁹⁸. Уряд України нещодавно приєднався до альянсу Powering Past Coal Alliance і проводить перемовини про терміни поступової відмови від вугілля та значного скорочення ядерної генерації^{99–101}. Український уряд нещодавно взяв на себе зобов'язання поступово припинити видобуток вугілля та істотно скоротити виробництво атомної енергії до 2050 року¹⁰². Вугільна та ядерна генерація енергії в Україні споживає велику кількість води для охолодження в регіонах, які вже відчувають дефіцит води¹⁰³. Очікуване збільшення випадків водного стресу зі зростанням глобальних температур та зменшенням кількості опадів чинить тиск на виробництво енергії як з погляду ефективності виробництва електроенергії, так і з погляду ролі сектору як значного споживача води¹⁰⁴. Наприклад, виробництво електроенергії з парових турбін зменшується приблизно на 0,2–0,3% на градус, а зниження ефективності використання ядерної енергії ще більше — 0,4–0,6% на градус, потребуючи значного додаткового виробництва для задоволення попиту⁹⁷. Зниження ефективності наявної

енергетичної інфраструктури, наприклад у градирнях, уже спостерігалось під час хвиль спеки, що посилюється збільшенням попиту на енергію для охолодження. Значна частина житлового фонду та іншої інфраструктури України старіє, тож вона могла б мати користь від зусиль щодо підвищення енергоефективності з подвійною вигодою — зменшення споживання енергії та посилення стійкості як до хвиль спеки, так і морозу та до екстремальних температур.

Десятиліття видобутку корисних копалин позначилися на безпеці та якості води в Україні, зокрема затоплення та забруднення з відкритих і невикористовуваних шахт вплинули на запаси підземних вод та якість побутової води. Наприклад, Донбас уже зазнав забруднення підземних і річкових вод, а також ґрунтів через діяльність в регіоні підприємств важкої промисловості та наслідки бойових дій¹⁰⁵. Зміна клімату посилює ці поточні проблеми: потепління в майбутньому, що підвищить дефіцит води на Донбасі та у прилеглих регіонах, посилить тиск на наявні водні мережі, унаслідок чого дедалі більша частина населення потерпає від постачання забрудненої води.

Дефіцит води через зміни клімату вимагатиме ефективного управління водними ресурсами та стратегічного планування для керування залежною від води енергетичною інфраструктурою, такою як гідроенергетика та генерація ядерної енергії. У Каліфорнії дефіцит води, викликаний нинішньою посухою, вже впливає на постачання енергії через зменшення гідроенергетичної генерації, бо стратегії управління водними ресурсами надають пріоритет використанню води для поливу¹⁰⁶. Аби покращити стійкість енергетичного сектору до майбутніх посушливих умов, Каліфорнія збільшила генерацію сонячної та вітрової енергії в енергетичній системі¹⁰⁷. Залучення таких технологій, як сонячна та вітрова генерація енергії не тільки покращує стійкість енергетичних ресурсів до посухи, а також зменшує тиск на ресурс води на користь іншим споживачам, зокрема для побутового та сільськогосподарського використання.



5 Наскрізнi проблеми

5.1 Економічна вартість зміни клімату

Зміна клімату призведе до економічних витрат протягом найближчих десятиліть, оскільки країнам доводиться справлятися з новими кліматичними умовами та явищами, а також вживати запобіжних заходів для зменшення викидів й адаптації. Також зі зростанням загроз в сценаріях концентрації ПГ збільшуватимуться й макроекономічні наслідки зміни клімату¹⁰⁸. Зусилля, спрямовані на адаптацію до зміни клімату, як-от оновлення інфраструктури та посилення захисту для більшої стійкості, розроблення політики та ініціатив щодо зменшення впливу, а також збільшення спроможності країни реагувати на катастрофи та відновлюватися після них, можуть істотно зменшити прямі втрати. Є вагомі докази того, що заходи з адаптації, спрямовані на посилення адаптаційного потенціалу і стійкості в будівельному секторі та інших енерго- й капіталомістких галузях, допоможуть запобігти найбільшим втратам¹⁰⁹. Оцінка впливу і вразливості до кліматичних змін у Європі підкреслила, що через шкоду, пов'язану зі зміною клімату, найбільше постраждає критична інфраструктура в енергетичному і транспортному секторах Центральної та Східної Європи, а також довкілля, зокрема Карпати, і туристична галузь⁸⁶. Україна займає міцну позицію: за нещодавньою оцінкою вона належить до країн із найменшою схильністю до глобального впливу та найнижчою вразливістю багатогалузевого розвитку до впливу зміни клімату¹¹⁰. Це свідчить про те, що посилення стійкості буде корисним для України як на регіональному, так і на глобальному рівні, створюючи можливості для зростання та покращення її регіональних показників.

5.2 Роль військового конфлікту та гендеру в загостренні впливу кліматичних змін

Вплив кліматичних змін на суспільство та заходи боротьби з його наслідками тепер і в майбутньому мають бути гендерно чутливими, оскільки є дані про те, що зміни клімату впливають на жінок і дівчат більшою мірою^{48, 111}. У Центральній і Східній Європі збільшення старіння населення, випадків переміщення через конфлікти та тривалої економічної міграція за межі країни можуть зменшити ресурси і спроможність до адаптації та стійкості^{112, 113}. Зміна клімату вже посилює виклики, з якими стикаються громади, що переживають військовий конфлікт або у зв'язку з ним вимушені переселятися, скорочуючи тим самим ресурси, необхідні для підтримки основних послуг, включаючи правосуддя, освіту й охорону здоров'я, зменшуючи доступ жінок до послуг охорони здоров'я дітей та сім'ї, а також збільшуючи вразливість до сексуального насильства³⁷. Гендерні ролі та суспільні очікування щодо жінок і чоловіків у громадах та у процесах ухвалення рішень можуть призвести до того, що від наслідків катастроф значно більше страждатимуть ті, хто зазнає нерівності¹¹⁴. Східна Європа, як регіональний лідер, покращила представленість жінок у міжнародних делегаціях до РКЗК ООН (наприклад); проте представництво жінок на керівних посадах та в радах компаній у всьому світі залишається дуже низьким¹¹⁴. В Україні вживають заходів щодо збільшення частки жінок, залучених до мирних переговорів³⁷. Залучення жінок до вирішення військового конфлікту та процесу розбудови миру Рада з прав людини визнала вирішальним елементом успіху, а участь жінок у переговорах й ухваленні рішень може допомогти в запобіганні конфліктам¹¹⁵.

6 Ініціативи, пов'язані із заходами щодо боротьби зі зміною клімату в Україні

Україна є учасницею кількох регіональних ініціатив, спрямованих на розуміння та реагування на нові ризики, пов'язані зі зміною клімату, а також на визначення та використання можливостей. У липні 2021 року Уряд України затвердив нову ціль кліматичної політики до 2030 р. — скорочення викидів ПГ на 65% проти рівня 1990 року¹¹⁶. Ініціатива EU4Climate підтримує впровадження НВВ в Україні з орієнтацією на інновації в енергетичному секторі¹¹⁷. Україну визначено як ключового партнера в Європейському альянсі за чистий водень з можливістю використання водню для трансформації українського енергетичного сектору¹¹⁸. Поряд з енергетичною реформою Україна бере участь у програмі ПРООН Climate Promise («Кліматичні обіцянки»)^у, зміцнюючи політичну та суспільну волю до заходів, спрямованих на боротьбу зі зміною клімату, і сприяючи прозорості та підзвітності. На національному рівні український Уряд розпочав діалог із ЄС щодо можливостей України в межах «Європейської зеленої угоди» для побудови більш екологічної економіки, включаючи не тільки енергетичну реформу, а й збереження лісів, підвищення продуктивності сільського господарства та покращення показників здоров'я людей.

Організації та аналітичні центри, що діють в Україні, активно працюють над підвищенням обізнаності про вплив зміни клімату на життя та засоби існування, а нещодавні заходи підкреслили важливість ефективного спілкування з громадськістю та на рівні місцевих органів влади¹¹⁹. Спільні вразливості та ризики, спричинені зростанням частоти екстремальних погодних явищ, як-от нещодавні руйнівні лісові пожежі в Чорнобилі та Луганську у 2020 році^{34, 36}, забезпечують спільну основу для мирних переговорів щодо спірних територій.

За оцінками, через COVID викиди ПГ в Україні за 2020 рік будуть меншими на 11% від очікуваних⁹⁸. Багато країн, включаючи Україну, використовують соціальні та промислові зміни, спричинені пандемією, як можливість «відновити екологічність» за рахунок економіки стимулювати інвестиції в екологічну політику та технології. Вартість бездіяльності та переваги якнайшвидшої адаптації очевидні: економічні оцінки витрат демонструють, що пікові витрати більші та досягаються раніше, якщо вжиття заходів відбувається із затримкою¹²⁰.

7 Прогалини у знаннях та дослідженнях для підтримки стійкості України

Цей звіт узагальнює наявні знання про тенденції та зміни клімату в Україні, що стосуються адаптації та пом'якшення відповідних наслідків. Однак у знаннях і дослідженнях є прогалини, які потребують уваги для вжиття ефективних і своєчасних національних та субнаціональних заходів, спрямованих на подолання поточних і нових кліматичних ризиків.

Підготовка до екстремальних погодних явищ і катастроф, пов'язаних із кліматом, та реагування на них потребують ефективного моніторингу й систем раннього попередження, які будуть інтегровані в управління надзвичайними ситуаціями та служби, а також довгострокового адаптаційного планування, інтегрованого у процес ухвалення економічних рішень. Стабільне та постійне ресурсне забезпечення мереж моніторингу довкілля є ключовим елементом формування готовності та швидкого й

^у Програма ПРООН Climate Promise («Кліматичні обіцянки»): <https://www.undp.org/climate-promise>

ефективного реагування. Розуміння поточного й майбутнього впливу на громадян України потребує актуальної інформації про демографічні показники населення (де проживають люди, якого впливу вони зазнають), а також достовірних даних про стан природних ресурсів України¹²¹. Це може допомогти українському Уряду вживати політичних заходів, спрямованих на посилення стійкості та зменшення ризиків по всій країні. Подвійні переваги комплексного моніторингу довкілля в поєднанні з демографічною інформацією полягають у тому, що громадяни матимуть користь у вигляді своєчасного реагування на катастрофи, мінімізації смертельних випадків і втрати засобів до існування, а також у вигляді того, що політичні ініціативи є стратегічними й орієнтованими на регіони та групи, де вони можуть бути найбільш ефективні. Наприклад, моніторинг якості, температури та вологості повітря може надати інформацію для систем раннього попередження та повідомлень, які стосуються громадського здоров'я, для пом'якшення впливу хвиль спеки.

Дослідження в Україні засвідчують, що потрібно робити більше для залучення політиків на місцевому рівні до вирішення наявних загроз, а також координування послідовного національного підходу до заходів, спрямованих на протидію зміні клімату¹¹⁹. В останньому звіті IPCC зазначено, що хоча скорочення глобальних викидів для обмеження глобального потепління до 1,5°C все ще в межах досяжності, не можна виключати потепління на 4°C або й більше¹²². Тому країни повинні впевнитись, що адаптаційне планування враховує ці вищі рівні потепління як частину своєї оцінки ризику та реагування на зміну клімату. Ігнорування цього може призвести до значних втрат від наслідків зміни клімату, натомість чим раніше буде вжито заходів, тим більшим буде зменшення такого ризику¹²³.

Знання, здобуті під час збору даних для цього звіту, свідчать про необхідність розроблення більш адаптованих кліматичних проєкцій і досліджень впливів, зосереджених конкретно на Україні. Детальні національні оцінки ризиків зміни клімату потрібні для надання інформації в різних регіонах і секторах задля підвищення обізнаності про ризики та спрямування ухвалення рішень щодо адаптації. Для цього необхідні інвестиції та координація національних наукових і дослідницьких можливостей у сфері кліматології, моделювання та багатопрофільних і міждисциплінарних досліджень, що охоплюють різноманітні суміжні галузі (наприклад, економіку, гідрологію, екологію та інженерію), потенційно відображаючи сфери уваги оцінювальних звітів IPCC — тобто фізична наука, вразливість соціально-економічних і природних систем, а також варіанти зменшення викидів й адаптації. Крім того, для кращого розуміння й оцінки впливу на місцевому рівні необхідно розвинути можливості кліматичних служб. Ключову роль мають відігравати національні установи, такі як Український гідрометеорологічний інститут, а також інші організації, які можуть розширити дослідження щодо впливу зміни клімату.

Зрештою, на всіх рівнях — від шкіл і широкої громадськості до керівників підприємств та урядовців — необхідна освіта і просвіта щодо зміни клімату, її наслідків і потенційних заходів реагування. Покращення розуміння суспільством проблем зміни клімату допоможе отримати необхідні відповіді. У навчанні, інформуванні та стимулюванні діалогу¹¹⁹ важливу роль відіграють засоби масової інформації, а також інші організації та платформи, які сприяють поінформованості та освіченості щодо зміни клімату й довкілля.



Література

1. Met Office Hadley Centre. *Impacts of Climate Change - Ukraine*. (2010).
2. WMO. *State of the Global Climate 2020*. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21880#.YJfRi3VKiHt (2021).
3. World Bank. Climate Change Knowledge Portal: Ukraine. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/ukraine> (2021).
4. OECD. Monitoring the Energy Strategy of Ukraine 2035. 1–74 (2020).
5. IPCC. Summary for Policymakers. in *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (eds. Masson-Delmotte, V. et al.) (2021).
6. Didovets, I. et al. Climate change impact on water availability of main river basins in Ukraine. *J. Hydrol. Reg. Stud.* **32**, 100761 (2020).
7. Ministry of Environment and Natural Resources of Ukraine, State Service of Ukraine of Emergencies, National Academy of Sciences of Ukraine, Ukrainian Hydrometeorological Institute & Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. *VI National Communication of Ukraine on Climate Change*. (2012).
8. Khilchevskiy, V. et al. Hydrographic characteristic of ponds distribution in Ukraine - Basin and regional features. *J. Water L. Dev.* **46**, 140–145 (2020).
9. Pidlisnyuk, V., Borisuyk, M. & Pidlisnyuk, I. Sustainable use of water resources: Perspective for Ukraine. *Sustain. Dev.* (1999).
10. Lindsey, R. & Dahlman, L. Climate Change: Global Temperature. *NOAA Climate News* (2021).
11. Copernicus Climate Change Service. *European State of the Climate 2020*. (2020).
12. IPCC. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (Cambridge University Press, 2012).
13. Sillmann, J., Kharin, V. V., Zhang, X., Zwiers, F. W. & Bronaugh, D. Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 1. Model evaluation in the present climate. *J. Geophys. Res. Atmos.* **118**, 1716–1733 (2013).
14. WEF. *The Global Risks Report 2020 Insight Report 15th Edition*. *Weforum.Org* <https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2019> (2020).
15. McLennan, M. *The Global Risks Report 2021 16th Edition Strategic Partners*. (2021).
16. Copernicus Climate Change Service (C3S). ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate . Copernicus Climate. (2017).
17. Blöschl, G. et al. Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature* **573**, 108–111 (2019).
18. Kovalets, I. V., Kivva, S. L. & Udovenko, O. I. Usage of the WRF/DHSMV model chain for simulation of extreme floods in mountainous areas: a pilot study for the Uzh River Basin in the Ukrainian Carpathians. *Nat. Hazards* **75**, 2049–2063 (2015).
19. World Health Organization. Floods in Moldova, Romania and Ukraine (summer 2008). <https://www.euro.who.int/en/health-topics/health-emergencies/from-disaster-preparedness-and-response/policy/response/floods-2008> (2021).
20. Didovets, I. et al. Climate change impact on regional floods in the Carpathian region. *J. Hydrol. Reg. Stud.* **22**, 100590 (2019).
21. Emergency Management Service. Flooding in western Ukraine, June 2020. *Copernicus EMS - European Flood Awareness System* <https://www.efas.eu/en/news/flooding-western-ukraine-june-2020> (2020).
22. Bezpiatchuk, Z. Ukraine floods: Why climate change and logging are blamed. *BBC World News* (2020).
23. Nikolayeva, L. et al. *Climate Change and Security in Eastern Europe: Republic of Belarus, Republic of Moldova, Ukraine Regional Assessment*. <https://www.osce.org/files/f/documents/8/1/355496.pdf> (2016).
24. Barbosa, P. et al. *Droughts in Europe and worldwide 2019-2020*. *EUR 30719 EN* (2021).
25. Semenova, I. Some Meteorological Aspects of Severe Agricultural Drought in the Northern Black Sea Region in 2019–2020. *Environ. Sci. Proc. 2021, Vol. 8, Page 18 8*, 18 (2021).
26. EU Science Hub. Severe drought in south-eastern Europe . *EU Science Hub* <https://ec.europa.eu/jrc/en/science-update/severe-drought-south-eastern-europe> (2020).
27. Hurska, A. The Risk of Water Shortage and Implications for Ukraine's Security. *Eurasia Dly. Monit.* **17**, (2020).
28. Walz, Y. et al. Understanding and reducing agricultural drought risk: Examples from South Africa and Ukraine, Policy Report No. 3. (2018).
29. Adamenko, T. *Agricultural drought monitoring in Ukraine: Presentation during EvIDENz Workshop 2017*. (2017).
30. Vogel, E. et al. The effects of climate extremes on global agricultural yields. *Environ. Res. Lett.* **14**, 054010 (2019).
31. Balabukh, V. & Malytska, L. Impact of climate change on natural fire danger in Ukraine. *Idojaras* **121**, 453–477 (2017).
32. Melnyk, Y. & Voron, V. Tendencies of Fire Development in the Forests of Ukraine. *Environ. Sci. Proc.* **3**, (2021).
33. Khabarov, N. et al. Forest fires and adaptation options in Europe. *Reg. Environ. Chang.* **16**, 21–30 (2016).
34. Deutsche Welle. Chernobyl fires still burning on anniversary of accident . *Deutsche Welle* <https://www.dw.com/en/chernobyl-fires-still-burning-on-anniversary-of-accident/a-53253968> (2020).

35. Filtenborg, E. & Weichert, S. Chernobyl fires: how neglected forests, poor coordination and old equipment could spark disaster. *Euronews* (2020).
36. Bezruk, T. Climate change, war and forest fires in eastern Ukraine. *Open Democracy* (2021).
37. CSSF. Agenda of the Ukraine Stabilisation Mechanism Strategic Design Workshop. 7-8 June, 2021. (2021).
38. Euronews. At least nine killed as forest fires rage in eastern Ukraine. *Euronews* <https://www.euronews.com/2020/10/01/at-least-nine-killed-as-forest-fires-rage-in-eastern-ukraine> (2020).
39. Stocker, T. F. *et al.* Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. *CEUR Workshop Proc.* **1542**, 33–36 (2015).
40. Jacob, D. *et al.* EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg. Environ. Chang.* **14**, 563–578 (2014).
41. Palmer, T. E., Booth, B. B. B. & McSweeney, C. F. How does the CMIP6 ensemble change the picture for European climate projections? *Environ. Res. Lett.* **16**, 094042 (2021).
42. UNFCCC. Paris Agreement. Conf Parties its twenty-first Sess 32FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1. (2015).
43. Moss, R. H. *et al.* The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* **463**, 747–56 (2010).
44. World Meteorological Organization. New Two-Tier approach on “climate normals”. *WMO News* (2015).
45. Rogelj, J. *et al.* Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. in *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change*, (eds. Masson-Delmotte, V. *et al.*) (Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2018).
46. O’Neill, B. C. *et al.* The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geosci. Model Dev.* **9**, 3461–3482 (2016).
47. van Vuuren, D. P. *et al.* RCP2.6: Exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2°C. *Clim. Change* **109**, 95–116 (2011).
48. IPCC. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (Cambridge University Press, 2014).
49. Coppola, E. *et al.* Assessment of the European Climate Projections as Simulated by the Large EURO-CORDEX Regional and Global Climate Model Ensemble. *J. Geophys. Res. Atmos.* **126**, e2019JD032356 (2021).
50. Gutiérrez, J. M. *et al.* Atlas. in *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (eds. Masson-Delmotte, V. *et al.*) (2021).
51. Kovats, R. S. *et al.* Europe. in *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (eds. Barros, V. R. *et al.*) 1267-1326. (Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014).
52. Huo, R. *et al.* Extreme Precipitation Changes in Europe from the Last Millennium to the End of the Twenty-First Century. *J. Clim.* **34**, 567–588 (2021).
53. Hirschi, M. *et al.* Observational evidence for soil-moisture impact on hot extremes in southeastern Europe. *Nat. Geosci.* **2010 41** **4**, 17–21 (2010).
54. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. *GAR Special Report on Drought 2021*. <https://www.undrr.org/publication/gar-special-report-drought-2021> (2021).
55. Sydorenko, S. H. & Sydorenko, S. V. Analysis of fire risks in Ukrainian forests as a prerequisite for a national forest-fire zoning. *For. For. Melior.* 91–101 (2020) doi:10.33220/1026-3365.137.2020.91.
56. Arias, P. A. *et al.* Technical Summary. in *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds. Masson-Delmotte, V. *et al.*) (Cambridge University Press. In Press, 2021).
57. Vdovenko, S. A. & Palamarchuk, I. I. Climate change and its effect on the formation of vegetable plant yield in the conditions of Ukraine. *Sci. heritage.* **56**, 12–16 (2020).
58. Araujo-Enciso, S. R. & Fellmann, T. Yield Variability and Harvest Failures in Russia, Ukraine and Kazakhstan and Their Possible Impact on Food Security in the Middle East and North Africa. *J. Agric. Econ.* **71**, 493–516 (2020).
59. Zapukhliak, L. An Investigation of Recent Climate Change in Southern Ukraine. Thesis. (Georgia State University, 2020).
60. Tarariko, O., Iliencko, T., Kuchma, T. & Velychko, V. Long-term prediction of climate change impact on the productivity of grain crops in Ukraine using satellite data. *Agric. Sci. Pract.* **4**, 3–13 (2017).
61. Shvidenko, A. Z. *et al.* Terrestrial ecosystems and their change. in *Regional Environmental Changes in Siberia and their Global Consequences* (eds. Groisman, P. Y. & Gutman, G.) 171–249 (Springer, 2013). doi:10.1007/978-94-007-4569-8_6.
62. Taub, D. Effects of Rising Atmospheric Concentrations of Carbon Dioxide on Plants. *Nat. Educ. Knowl.* **3**, 21 (2010).
63. van der Kooi, C. J., Reich, M., Löw, M., De Kok, L. J. & Tausz, M. Growth and yield stimulation under elevated CO₂ and drought: A meta-analysis on crops. *Environ. Exp. Bot.* **122**, 150–157 (2016).
64. Hewitt, C. D. *et al.* The Process and Benefits of Developing Prototype Climate Services—Examples in China. *J. Meteorol. Res.*

- 34**, 893–903 (2020).
65. New, S. & Jia, H. *Risk to Food Security in China under Climate Change*. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-19-0096.1> (2021) doi:10.1175/JAMC-D-19-0096.1.
 66. Ovcharuk, V. *et al.* Extreme hydrological phenomena in the forest steppe and steppe zones of Ukraine under the climate change. in *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences* vol. 383 229–235 (Copernicus GmbH, 2020).
 67. Bormann, H. Runoff regime changes in German rivers due to climate change. *Erdkunde* **64**, 257–279 (2010).
 68. Vozhehova, R., Lykhovyd, P. & Biliaieva, I. Aridity assessment and forecast for kherson oblast (Ukraine) at the climate change. *EurAsian J. Biosci.* **14**, 1455–1462 (2020).
 69. Taylor, R. G. *et al.* Ground water and climate change. *Nat. Clim. Chang.* **3**, 322–329 (2013).
 70. Nicklin, H., Leicher, A. M., Dieperink, C. & Van Leeuwen, K. Understanding the Costs of Inaction—An Assessment of Pluvial Flood Damages in Two European Cities. *Water* **11**, (2019).
 71. Alberton, M. *et al.* *Outlook on climate change adaptation in the Carpatian mountains*. (2017).
 72. Oakes, R., O'Hara, S. & Marsh, J. *Danube Basin Regional Study. Final report to Copernicus Climate Change Service (C3S)* (2021).
 73. ICPDR. *ICPDR Strategy on adaptation to climate change*. <http://www.icpdr.org> (2012).
 74. Carleton, T. A. *et al.* Valuing the Global Mortality Consequences of Climate Change Accounting for Adaptation Costs and Benefits. *Natl. Bur. Econ. Res. Work. Pap. Ser. No. 27599*, (2020).
 75. Tjaden, N. B., Caminade, C., Beierkuhnlein, C. & Thomas, S. M. Mosquito-Borne Diseases: Advances in Modelling Climate-Change Impacts. *Trends Parasitol.* **34**, 227–245 (2018).
 76. Li, D., Yuan, J. & Kopp, R. E. Escalating global exposure to compound heat-humidity extremes with warming. *Environ. Res. Lett.* **15**, 064003 (2020).
 77. Heinrich Böll Stiftung. *Climate Justice: How Can Vulnerable Groups in Ukraine Adapt to Climate Change? In: Climate (In)Justice: The Impact of Climate Change on Vulnerable Social Groups in Ukrainian Cities*. <https://ua.boell.org/en/2020/11/30/climate-justice-how-can-vulnerable-groups-ukraine-adapt-climate-change> (2020).
 78. Strukova, E., Golub, A. & Markandya, A. Air Pollution Costs in Ukraine. *Environ. Econ.* **2**, (2011).
 79. Fuller, R., Sandilya, K. & Hanrahan, D. Pollution and health metrics: global, regional, and country analysis. December 2019. *Sci. News* (2019).
 80. Orru, H., Ebi, K. L. & Forsberg, B. The Interplay of Climate Change and Air Pollution on Health. *Curr. Environ. Heal. Reports* **2017 44 4**, 504–513 (2017).
 81. IAMAT. Ukraine: Air Pollution. *International Association for Medical Assistance to Travellers* <https://www.iamat.org/country/ukraine/risk/air-pollution#> (2020).
 82. UK Climate Resilience Programme. Urban Climate Services pilot helps fill evidence gap on heat. <https://www.ukclimateresilience.org/news-events/urban-climate-services-pilot-helps-fill-evidence-gap-on-heat/> (2021).
 83. World Bank. Cities in Europe and Central Asia: Ukraine. (2014).
 84. Kostyrko, I. *et al.* Investigation of the different heat waves indices applicability for the territory of Ukraine. in *EGU General Assembly 2020, Online, 4–8 May* (EGU2020-13662, 2020).
 85. Shevchenko, O. Human Thermal Comfort Conditions during Heat Wave Events in Kyiv, Ukraine. *Environ. Res. Eng. Manag.* **77**, 99–110 (2021).
 86. European Environment Agency. *Climate change, impacts and vulnerability in Europe. An indicator-based report*. <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016> (2017).
 87. UK Environment Agency. *Thames Estuary 2100: 10-Year Review monitoring key findings*. <https://www.gov.uk/government/publications/thames-estuary-2100-te2100/thames-estuary-2100-key-findings-from-the-monitoring-review> (2021).
 88. UK Environment Agency. Thames Estuary TE2100 Plan. (2012).
 89. Ten Brink, P. *et al.* The Health and Social Benefits of Nature and Biodiversity Protection. (2016).
 90. Shvidenko, A., Buksha, I., Krakovska, S. & Lakyda, P. Vulnerability of Ukrainian Forests to Climate Change. *Sustainability* **9**, 1152 (2017).
 91. Kobiv, Y. Response of rare alpine plant species to climate change in the Ukrainian Carpathians. *Folia Geobot.* **52**, 217–226 (2017).
 92. Spinoni, J. *et al.* Heat and cold waves trends in the Carpathian Region from 1961 to 2010. *Int. J. Climatol.* **35**, 4197–4209 (2015).
 93. IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (2021).
 94. Doerr, S. H. & Santín, C. Global trends in wildfire and its impacts: perceptions versus realities in a changing world. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* **371**, (2016).
 95. Sakalli, A. & Başusta, N. Sea surface temperature change in the Black Sea under climate change: A simulation of the sea surface temperature up to 2100. *Int. J. Climatol.* **38**, 4687–4698 (2018).
 96. Baigun, R., Hegoburu, C. & Aguilera, J. J. *Conservation of Queuña forests (Polylepis spp.) of Vilcanota range, Peru. Adaptation*

- At Altitude* <https://adaptationaltitude.org/solutions-portal/conservation-of-queuna-forests-polylepis-spp-of-vilcanota-range-peru> (2021).
97. Becker, A., Ng, A. K. Y., McEvoy, D. & Mullett, J. Implications of climate change for shipping: Ports and supply chains. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang.* **9**, e508 (2018).
 98. Climate Action Tracker. Ukraine Country Summary. *Climate Action Tracker* <https://climateactiontracker.org/countries/ukraine/>.
 99. Ministry of Energy and Environmental Protection Ukraine. Концепції «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року (Ukraine Green Deal). <https://climatepolicydatabase.org/policies/ukraine-green-deal-2020-2050> (2020).
 100. Franke, A. COP26: Ukraine aims for 2035 coal phaseout as more European nations join alliance. *S&P Global Platts* <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/electric-power/110421-cop26-ukraine-aims-for-2035-coal-phaseout-as-more-european-nations-join-alliance> (2021).
 101. Ecoaction. Ukrainian government wobbles on the coal phase-out date. *Ecoaction* <https://en.ecoaction.org.ua/ua-govt-wobbles-on-the-coal.html> (2021).
 102. Holland, R. A. *et al.* Global impacts of energy demand on the freshwater resources of nations. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **112**, E6707–E6716 (2015).
 103. Behrens, P., van Vliet, M. T. H., Nanninga, T., Walsh, B. & Rodrigues, J. F. D. Climate change and the vulnerability of electricity generation to water stress in the European Union. *Nat. Energy* **2017 28 2**, 1–7 (2017).
 104. Klimenko, V. V., Fedotova, E. V. & Tereshin, A. G. Vulnerability of the Russian power industry to the climate change. *Energy* **142**, 1010–1022 (2018).
 105. Yakovliev, Y. & Chumachenko, S. *Ecological Threats in Donbas, Ukraine*. <https://ceobs.org/wp-content/uploads/2020/04/Ecological-Threats-in-Donbas.pdf> (2017).
 106. Gleick, P. *Impacts of California's Five-Year (2012-2016) Drought on Hydroelectricity Generation*. [www.pacinst.org.](http://www.pacinst.org/) (2017).
 107. He, X. *et al.* Solar and wind energy enhances drought resilience and groundwater sustainability. *Nat. Commun.* **2019 101 10**, 1–8 (2019).
 108. COACCH. *The Economic Cost of Climate Change in Europe: Synthesis Report on COACCH Interim Results*. (2019).
 109. Schinko, T. *et al.* Economy-wide effects of coastal flooding due to sea level rise: a multi-model simultaneous treatment of mitigation, adaptation, and residual impacts. *Environ. Res. Commun.* **2**, 015002 (2020).
 110. Byers, E. *et al.* Global exposure and vulnerability to multi-sector development and climate change hotspots. *Environ. Res. Lett.* **13**, 055012 (2018).
 111. Pelter, Z. & Capraro, C. Climate Justice for All : putting gender justice at the heart of. *Time for Climate Justice* (2015).
 112. Foresight. *Migration and Global Environmental Change. Future Challenges and Opportunities. Government Office for Science* https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/287717/11-1116-migration-and-global-environmental-change.pdf (2011).
 113. SLYCAN Trust. *Briefing Note: Human Mobility in Nationally Determined Contributions. Human Mobility in the Context of Climate Change #4*. (2021).
 114. Pearse, R. Gender and climate change. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang.* **8**, e451 (2017).
 115. OHCHR. Women's human rights and gender-related in situations of conflict. *United Nations Human Rights Office of the High Commissioner* <https://www.ohchr.org/en/Issues/Women/WRGS/Pages/PeaceAndSecurity.aspx> (2021).
 116. Bushovska, A. Ukraine Seeks a 65% Reduction in Greenhouse Gas Emissions Compared to 1990 Levels by 2030. *Climate Scorecard* <https://www.climatescorecard.org/2021/07/ukraine-seeks-a-65-reduction-in-greenhouse-gas-emissions-compared-to-1990-levels-by-2030/> (2021).
 117. UNDP. EU4Climate: Ukraine. *United Nations Development Program* <https://eu4climate.eu/ukraine/>.
 118. Mission of Ukraine to the European Union. European Green Deal. <https://ukraine-eu.mfa.gov.ua/en/2633-relations/galuzeve-spivrobitnictvo/klimat-yevropejska-zelena-ugoda> (2021).
 119. DIF. Key Climate Change Issues in Ukraine: Media, Establishment and Civic Dimensions. 33 (2021).
 120. Sanderson, B. M. & O'Neill, B. C. Assessing the costs of historical inaction on climate change. *Sci. Rep.* **10**, 9173 (2020).
 121. Shevchenko, H., Petrusenko, M., Burkynskyi, B. & Khumarova, N. 'SDGs and the ability to manage change within the European green deal: The case of Ukraine' ARTICLE INFO. *Probl. Perspect. Manag.* **19**, 2021.
 122. Forster, P. What does the IPCC report mean for the UK's climate policy? *Climate Change Committee News and Insights* (2021).
 123. McKenna, C. M., Maycock, A. C., Forster, P. M., Smith, C. J. & Tokarska, K. B. Stringent mitigation substantially reduces risk of unprecedented near-term warming rates. *Nat. Clim. Chang.* **2020 112 11**, 126–131 (2020).
 124. United Nations Environment Programme. *Emissions Gap Report*. <http://www.un.org/Depts/Cartographic/english/htmain.htm> (2019).
 125. Vautard, R. *et al.* The European climate under a 2 °C global warming. *Environ. Res. Lett.* **9**, 034006 (2014).
 126. Barnosky, A. D. *et al.* Approaching a state shift in Earth's biosphere. *Nature* **486**, 52–58 (2012).
 127. The World Bank. *Turn Down the Heat: Why a 4°C Warmer World Must Be Avoided - Executive Summary*. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/11860> (2012).

