

Зміна клімату 2013: фізична наукова база

Основні висновки¹ зі звіту Першої робочої групи П'ятого оціночного звіту Міжурядової групи експертів зі зміни клімату

Неофіційний переклад, підготовлено Національним Екологічним Центром України

Вступ

У звіті Першої робочої групи (П'ятого оціночного звіту МГЕЗК) розглянуто нові докази зміни клімату в минулому та прогнозовані зміни у майбутньому на основі багатьох незалежних наукових досліджень, починаючи від спостережень кліматичної системи, палеокліматичних даних, теоретичних досліджень кліматичних процесів та моделювання.

Достовірність ключових висновків цього звіту оцінюється групою авторів та характеризується якісним ступенем впевненості та, за можливістю, кількісною оцінкою ймовірності. Впевненість у достовірності результатів² базується на оцінці типу, кількості, якості та узгодженості наукових доказів (напр., розуміння процесів, теорія, дані, моделі, експертна оцінка), а також ступеню узгодженості. Оцінка ймовірності³ кількісної міри невизначеності висновків базується на статистичному аналізі спостережень, результатів моделювання чи експертних оцінок. У деяких випадках результати також сформульовано у вигляді тверджень про факти без використання ступенів невизначеності.

Спостереження змін кліматичної системи

Спостереження за кліматичною системою ґрунтуються на фізичних та біогеохімічних вимірюваннях, дистанційному зондуванні з землі та інших платформ. Глобальні спостереження розпочалися з середини 19 століття, а більш повні та різноманітні серії спостережень стали доступними починаючи від 1950. Палеокліматичні реконструкції продовжують ряди деяких показників на століття та мільйони років назад у минуле. Використання всіх цих методів надає можливість отримати повну картину варіативності та довгострокових змін в атмосфері, океані, кріосфері, та земній поверхні.

- Потепління кліматичної системи не викликає сумнівів. Починаючи з 1950 року, багато із зареєстрованих змін кліматичної системи є нетиповими або безпрецедентними за останні десятиріччя чи навіть тисячоліття. Атмосфера та океан потеплішали, сніговий та льодовиковий покрив зменшилися, рівень світового океану підвищився та збільшилися концентрації парникових газів (див. Рисунок SPM.1, SPM.2, SPM.3 та SPM.4.)
- Приповерхнева температура у кожному з останніх трьох десятиріч була вищою за всі попередні з 1850, а перше десятиріччя 21-го століття було найтеплішим (див Рис. SPM.1). У Північній півкулі період з 1983 по 2012 був, ймовірно, найтеплішим 30-ти річним періодом за останні 1400 років (середній ступінь впевненості).

¹ У даному документі наведено основні висновки з Резюме для управлінців. Повні тексти резюме та П'ятого оціночного звіту доступні за посиланням: <http://www.climatechange2013.org/>

² У звіті використано такі терміни: для характеристики наявних доказів - обмежені, середні або міцні; ступеню узгодженості - низький, середній та високий. Ступінь впевненості у результатах визначено, використовуючи п'ять характеристик: дуже низький, низький, середній, високий, дуже високий та виділено курсивом, напр., *середній ступінь впевненості*.

³ У звіті використано такі терміни для позначення оціночної ймовірності показника чи результату: практично не викликає сумнівів - 99 – 100% ймовірності, дуже ймовірно - 90 – 100%, ймовірно – 66 –100%, приблизно так само ймовірно, як і ні 33 – 66%, малоімовірно 0 – 33%, дуже малоімовірно 0 – 10%, виключно малоімовірно 0 – 1%. Додаткові терміни (надзвичайно ймовірно: 95–100%, скоріше ймовірно, ніж ні >50–100%, та надзвичайно малоімовірно – 0 – 5%) також може бути використано у разі необхідності. Оціночну ймовірність наведено курсивом, напр., *дуже ймовірно* (див. Розділ 1 П'ятого оціночного звіту та Box TS.1 стосовно більш детальної інформації).

- Середня температура земної поверхні (температура повітря над поверхнею суходолу та поверхні моря) зросла на 0,85 °C протягом періоду з 1880 по 2012 рік, що було розраховано з використанням лінійного тренду на основі декількох окремо розроблених рядів даних. Крім того, на основі найдовшого доступного ряду даних було розраховано, що загальне підвищення середньої температури протягом періоду з 2003 по 2012 становить 0,78 °C порівняно до періоду з 1850 по 1900 рік (див. Рис. SPM.1a).
- Підвищення температури земної поверхні спостерігалось майже по всій планеті з 1901 по 2012 рік, найдовшого періоду, за якого розрахунок регіональних тенденцій є найбільш повним (див. Рис. SPM.1b).
- Зміни частоти багатьох екстремальних погодних та кліматичних явищ спостерігаються з 1950 року. *Дуже ймовірно*, що у глобальному масштабі кількість холодних днів та ночей зменшилася, а кількість теплих днів та ночей збільшилася. *Ймовірно*, що кількість регіонів, де випадки сильних опадів почастишали, є більшою, ніж регіонів, де їхня кількість знизилася.
- *Ймовірно*, що в Європі, Азії та Австралії хвилі спеки почастишали. У Північній Америці чи Європі, *ймовірно*, зросла частота або інтенсивність сильних опадів. Існує *середній ступінь впевненості* стосовно зміни сильних опадів у інших регіонах.
- Потепління океану складає найбільший внесок (більше 90%) у підвищення енергії, накопиченої кліматичною системою протягом періоду з 1971 по 2010 (*високий ступінь впевненості*). *Практично не викликає сумнівів* те, що температура верхнього шару океану (0-700 м) підвищилася з 1971 по 2010 рік (див Рис. SPM.3) та, *ймовірно*, що вона підвищилася протягом періоду з 1870-их по 1971.
- На глобальному рівні, підвищення температури океану найбільше у поверхневому шарі; нагрівання океану глибиною до 75 м відбувалося на 0,11°C кожного десятиріччя протягом періоду з 1971 по 2010 рік.
- Протягом останніх двох десятиріч льодовики Гренландії та Антарктики втрачають свою масу; льодовики продовжують танути майже по всьому світі; морський крижаний покрив в Арктиці та сніговий покрив у Північній півкулі продовжують зменшуватися (*високий ступінь впевненості*), див Рис. SPM.3.
- Існує *високий ступінь впевненості*, що, за дуже небагатьма винятками, льодовиковий покрив продовжує зменшуватися та втрачати свою масу по всьому світі. Швидкість втрати маси льодовиків, за винятком льодовиків на периферії льодовикових щитів, складала, *дуже ймовірно*, 226 Гт щороку протягом періоду з 1971 по 2009, та, *дуже ймовірно*, 275 Гт щороку протягом періоду з 1993 по 2009.
- Існує *високий ступінь впевненості*, що температура вічної мерзлоти підвищилася у більшості регіонах з початку 1980-их років. Зареєстроване потепління сягало 3 °C у низці регіонів Північної Аляски (від початку 1980-их до середини 2000-их) та до 2 °C у північних регіонах Європейської частини Росії (1971 - 2010). У останньому регіоні спостерігалось суттєве зменшення товщини та поширення вічної мерзлоти протягом періоду з 1975 по 2005 (*середній ступінь впевненості*).
- Підвищення глобального середнього рівня Світового океану з середини 19-го століття було вищим за середні значення протягом останніх двох тисячоліть (*високий ступінь впевненості*), . Глобальний середній рівень Світового океану підвищився на 0,19 м протягом періоду з 1901 по 2010 рік (див Рис. SPM.3).
- Концентрації CO₂, метану (CH₄), та оксиду нітрогену (N₂O) в атмосфері підвищилися до рівнів, що є безпрецедентними за останні 800 000 років. Концентрація CO₂ в атмосфері підвищилася на 40% від доіндустріального рівня, головним чином, внаслідок спалювання викопного палива та зміни

землекористування. Океан поглинув близько 30% антропогенних викидів оксиду вуглецю, що спричинило підвищення кислотності океану (див Рис. SPM.4).

- Атмосферні концентрації таких парникових газів, як CO₂, метан (CH₄), та оксид нітрогену (N₂O) підвищилися починаючи з 1750 року внаслідок діяльності людини. У 2011 році концентрації цих парникових газів сягнули 391 ppm⁴, 1803 ppb, 324 ppb, перевищивши доіндустріальні рівні на 40%, 150%, та 20%, відповідно.

Фактори зміни клімату

Природні та антропогенні речовини та процеси, що спричиняють дисбаланс енергетичної системи Землі, є факторами зміни клімату. Випромінювальна потужність (radiative forcing)⁵ надає кількісну оцінку зміни енергетичних потоків, спричинених зміною кліматичних факторів станом на 2011 рік порівняно до 1750 року, якщо не зазначено інше. “Позитивне” значення випромінювальної потужності свідчить про нагрівання, а “негативне” – про охолодження земної поверхні. Випромінювальна потужність оцінюється на основі in-situ та дистанційних спостережень, властивостей парникових газів та аерозолів, а також розрахунків з використанням кількісних моделей процесів, що спостерігаються.

Основні висновки щодо факторів впливу на зміну клімату :

- Сукупна випромінювальна потужність (ВП) є “позитивною”, це призвело до поглинання енергії кліматичною системою. Зростання атмосферної концентрації CO₂ з 1750 року становить найбільший внесок у підвищення сукупної випромінювальної потужності (див Рис. SPM.5).
- Сукупна антропогенна ВП відносно 1750 року складає 2,29 Вт/м²; починаючи від 1970 року вона почала зростати більш стрімко, ніж у попередні десятиліття. Найточніша оцінка сукупної ВП на 2011 рік є на 43% вищою за значення, наведене у Четвертому оціночному звіті для 2005 року. Це пов’язано з продовженням зростання концентрацій більшості парникових газів та більш точними оцінками ВП аерозолів, що вказують на слабший охолоджувальний ефект (“негативна” ВП), ніж вважалося раніше.
- Випромінювальна потужність вулканічних аерозолів у стратосфері може мати значний вплив на кліматичну систему протягом декількох років після виверження вулканів. Кілька невеликих вивержень протягом 2008 - 2011 років призвели до зміни випромінювальної потужності на – 0,11 Вт/м², приблизно подвоївши випромінювальну потужність вулканічних аерозолів протягом 1999 - 2002 років.
- ВП сонячного випромінювання оцінено на рівні 0,05 Вт/м². Супутникові спостереження змін сукупного сонячного випромінювання протягом періоду з 1978 по 2011 свідчать про те, що останній мінімум сонячної активності був меншим за два попередніх. В результаті, між останнім мінімумом сонячної активності у 2008 та мінімумом у 1986 році ВП становить 0,04 Вт/м².
- Сукупна природна ВП, внаслідок зміни сонячного випромінювання та стратосферних вулканічних аерозолів, має лише незначний вплив на чисту ВП протягом останнього століття, за винятком періодів одразу після великих вулканічних вивержень.

⁴ ppm (parts per million/частинок на мільйон) або ppb (parts per billion/частинок на мільярд) є співвідношенням кількості молекул газу до загальної кількості молекул сухого повітря. Наприклад, 300 ppm означає 300 молекул газу на мільйон молекул сухого повітря.

⁵ Випромінювальна потужність (radiative forcing) визначає силу впливу певного фактору на енергетичний баланс Землі та оцінюється у одиницях Вт/м².

Розуміння кліматичної системи та її останні зміни

Розуміння кліматичної системи досягається у результаті комбінування спостережень, досліджень процесів зворотного зв'язку та моделювання. Оцінка здатності кліматичних моделей відтворювати останні кліматичні зміни передбачає розгляд стану всіх змодельованих кліматичних компонентів на початку моделювання, а також природних та антропогенних факторів, використаних у моделі. Порівняно з попереднім Четвертим оціночним звітом, більш детальні та довші ряди спостережень та покращені кліматичні моделі дозволяють пояснити вплив людської діяльності на виявлені зміни більшої кількості компонентів кліматичної системи.

Основні висновки щодо розуміння кліматичної системи:

- Вплив людської діяльності на кліматичну систему є очевидним. Це видно з підвищення концентрацій парникових газів, “*позитивної*” випромінювальної потужності, спостереженого потепління та розуміння кліматичної системи.
- Відбулося вдосконалення кліматичних моделей, порівняно до моделей, використаних у Четвертому оціночному звіті. Існує *дуже високий ступінь впевненості*, що кліматичні моделі відтворюють температурні характеристики та тренди континентального масштабу, зокрема більш стрімке потепління, починаючи з середини 20-го століття та похолодання одразу після великих вулканічних вивержень.
- Існує *високий ступінь впевненості*, що моделювання довгострокових змін кліматичної системи генерує тренд зміни глобальної середньої температури земної поверхні протягом періоду з 1951 до 2012 року, що узгоджується зі спостереженнями. Однак, є відмінності між змодельованими та спостережуваними трендами протягом коротких періодів у 10-15 років (напр., з 1998 по 2012 рік).
- Уповільнення нагрівання земної поверхні, що спостерігається протягом 1998 - 2012 років порівняно до 1951 - 2012 років, у рівній мірі спричинене зменшенням тенденції до зростання випромінювальної потужності, а також охолоджувального впливу, пов'язаного із природною мінливістю клімату, яка включає можливий перерозподіл тепла в океані (*середній ступінь впевненості*). Зменшення тенденції до зростання випромінювальної потужності зумовлене, головним чином, вулканічними виверженнями та фазою зниження сонячної активності у 11-річному циклі. Крім того, можуть мати місце недоліки у моделюванні кліматичних факторів та, в деяких моделях, переоцінка впливу збільшення викидів парникових газів та інших антропогенних факторів (головним чином, аерозолів).
- На регіональному рівні впевненість у здатності моделей відтворювати зміни температури земної поверхні є меншою, ніж на великих масштабах. Однак, існує *високий ступінь впевненості*, що з часів публікації Четвертого оціночного звіту моделювання регіональної температури земної поверхні вдосконалилося.
- Досягнуто значного прогресу в оцінці екстремальних погодних та кліматичних явищ з часів публікації Четвертого оціночного звіту. Моделювання середніх глобальних тенденцій частоти екстремально теплих чи холодних днів та ночей протягом другої половини 20-го століття в цілому узгоджується зі спостереженнями.
- З часу опублікування Четвертого оціночного звіту відбулося деяке вдосконалення у відтворенні характеристик опадів континентального масштабу. На регіональному рівні моделювання опадів відбувається не так вдало, а їхня оцінка ускладнюється невизначеностями у спостереженнях.
- Кліматичні моделі враховують вже більше процесів (порівняно до Четвертого оціночного звіту), що характеризують вплив хмар та аерозолів, а також взаємодію між ними, однак існує *низький ступінь впевненості* у представленні та кількісній оцінці цих процесів у моделях.
- Спостереження, моделювання зміни температури, зворотних зв'язків кліматичної системи та змін енергетичного бюджету Землі разом надають впевненість щодо величини глобального потепління у відповідь на минулі та майбутні фактори впливу.
- Врівноважена чутливості клімату (equilibrium climate sensitivity) надає кількісну оцінку реакції кліматичної системи на постійний рівень випромінювальної потужності у багатостолітньому

часовому масштабі. Врівноважена чутливості клімату (ВЧК) визначається, як зміна глобальної середньої температури земної поверхні у стані рівноваги кліматичної системи, спричиненої подвоєнням атмосферної концентрації CO₂. ВЧК, ймовірно, має значення у межах від 1,5°C до 4,5°C (високий ступінь впевненості); надзвичайно мало ймовірно, - менше 1°C (високий ступінь впевненості) та, дуже мало ймовірно, - більше за 6°C (середній ступінь впевненості). Таким чином, нижча межа оціненого інтервалу ймовірності є меншою за 2 °С, наведених у Четвертому оціночному звіті, але верхня межа залишилася такою ж. Дана оцінка відображає покращене розуміння кліматичної системи, розширені температурні вимірювання в атмосфері та океані, а також нові оцінки випромінювальної потужності.

- Вплив людської діяльності було виявлено у потеплінні атмосфери та океану, у змінах глобального кругообігу води, у зменшенні снігового та льодовикового покриву, у підвищенні глобального середнього рівня Світового океану та змінах деяких екстремальних кліматичних явищ. З часів публікації Четвертого оціночного звіту докази впливу людської діяльності зросли. Надзвичайно ймовірно, що людська діяльність є домінуючим чинником потепління, що спостерігається з середини 20-го століття.
- *Надзвичайно ймовірно*, що більше 50% підвищення середньої глобальної температури земної поверхні, що спостерігалось з 1952-го по 2010 рік, спричинене зростанням антропогенних викидів парникових газів та інших антропогенних факторів.
- Внесок парникових газів у підвищення глобальної середньої температури земної поверхні є, ймовірно, у межах від 0,5°C до 1,3 °С протягом періоду 1951 – 2010 рр. Вплив інших антропогенних факторів, включно з охолоджуючим ефектом аерозолів, ймовірно, є у межах від –0,6°C до 0,1 °С. Внесок природних факторів є, ймовірно, у межах від –0,1°C до 0,1°C, а природної мінливості, ймовірно, - у межах від –0,1°C до 0,1°C. Сукупний вплив цих факторів відповідає потеплінню приблизно від 0,6°C до 0,7°C, яке спостерігалось протягом цього періоду.

Зміна клімату на глобальному та регіональному рівнях у майбутньому

Зміни кліматичної системи прогнозуються на основі низки кліматичних моделей, - простих кліматичних моделей, моделей середньої складності, комплексних кліматичних моделей та моделей земної системи. Ці моделі імітують кліматичну систему на основі низки сценаріїв зміни антропогенних факторів. Новий набір сценаріїв (Representative Concentration Pathways - RCP⁶) було використано для нових модельних симуляцій у рамках проекту Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) Всесвітньої програми досліджень клімату (World Climate Research Programme). У всіх сценаріях RCP атмосферна концентрація CO₂ є вищою за сьогоднішній рівень унаслідок зростання сукупних викидів CO₂ протягом 21-го століття. У цьому резюме наведено прогнози до кінця 21-го століття (2081-2100) порівняно до періоду з 1986-2005, якщо не вказано інше.

Основні висновки щодо майбутньої зміни клімату на глобальному та регіональному рівнях:

- Збільшення кількості викидів парникових газів призведе до подальшого потепління клімату та змін усіх компонентів кліматичної системи. Обмеження кліматичних змін потребує значних та сталих скорочень викидів парникових газів.
- *Ймовірно*, що до кінця 21-го століття підвищення температури буде більшим за 1,5 °С, порівняно до періоду з 1850 по 1900 рік, окрім сценарію RCP2,6. *Ймовірно*, що підвищення температури буде вищим за 2°C для сценаріїв RCP 6,0 та RCP 8,5, та, *скоріше ймовірно, ніж ні*, перевищить 2°C для сценарію RCP 4,5. Згідно всіх сценаріїв, окрім RCP2,6, підвищення температури продовжиться й після 2100 року. Глобальне потепління й надалі буде характеризуватися як міжрічною, так і десятирічною мінливістю та не буде однорідним у різних регіонах.
- *Практично не викликає сумнівів* той факт, що зі зростанням середньої глобальної температури буде більше теплих, ніж холодних температурних екстремумів як у добовому, так і сезонному

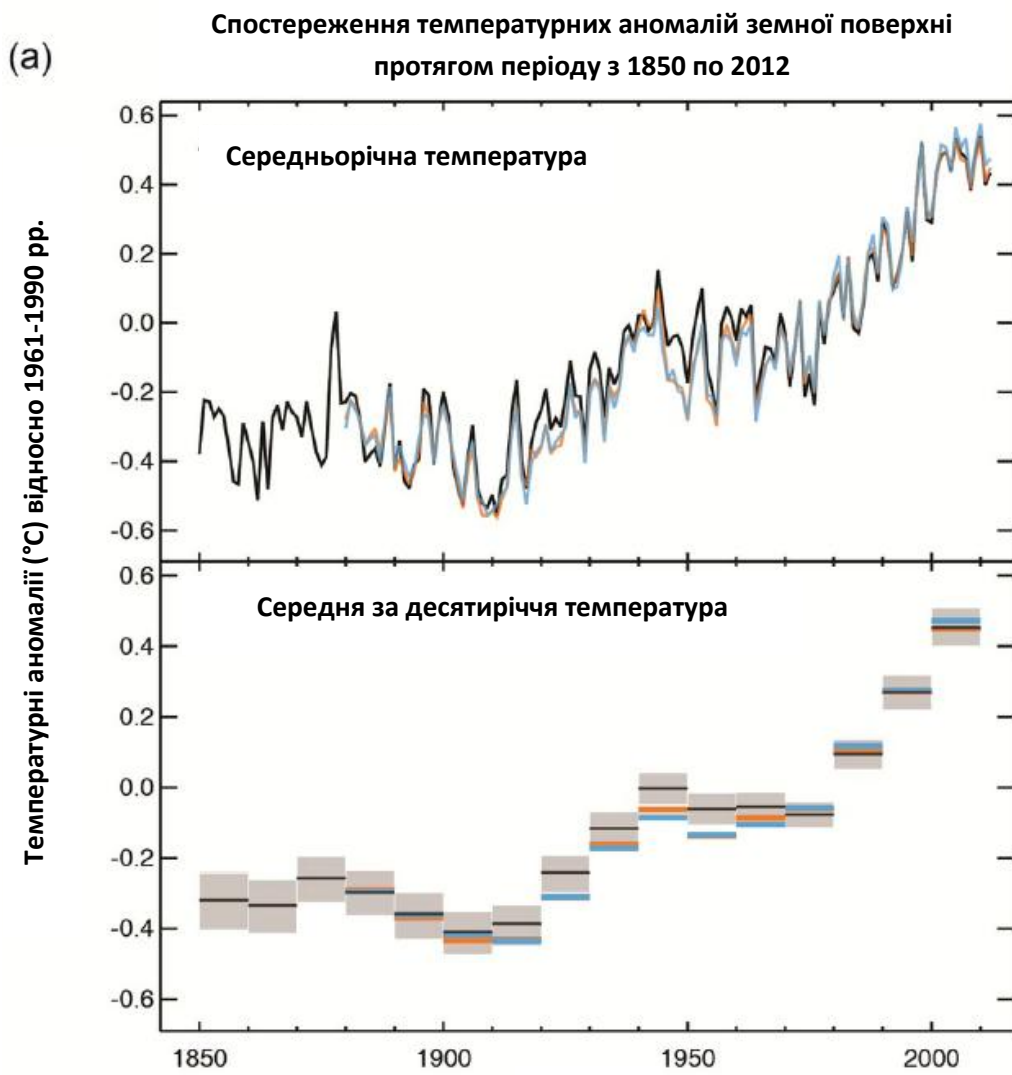
⁶ Сценарії - Representative Concentration Pathways (RCPs) – визначено за приблизним сукупним радіаційним впливом для 2100 порівняно до 1750 року: 2,6 Вт/м² для RCP2,6; 4,5 Вт/м² для RCP 4,5; 6,0 Вт/м² для RCP 6,0 та 8,5 Вт/м² для RCP 8,5.

вимірах. *Дуже ймовірно*, що хвилі спеки відбуватимуться частіше і триватимуть довший час. Холодні зимові екстремуми також подекуди матимуть місце.

- Зміни глобального кругообігу води у відповідь на потепління клімату протягом 21-го століття не будуть однорідними. Збільшиться контраст між сезонною середньою кількістю опадів сухих та вологих регіонів, а також між сухими та вологими сезонами, однак можуть бути регіональні винятки.
- Згідно всіх розглянутих сценаріїв прогнозується нагрівання світового океану протягом 21-го століття. Відбуватиметься передача тепла від поверхні до глибини океану, що вплине на його циркуляцію.
- *Дуже ймовірно*, що арктичний льодовиковий покрив продовжуватиме танути, а сніговий покрив Північної півкулі зменшиться зі зростанням глобальної середньої температури протягом 21-го століття. Обсяг льодовиків продовжить зменшуватися.
- Глобальний середній рівень Світового океану протягом 21-го століття підвищуватиметься. Згідно всіх розглянутих сценаріїв, швидкість зростання рівня світового океану, *дуже ймовірно*, перевищить ту, що спостерігалася протягом періоду з 1971 по 2010 рік, у зв'язку зі збільшенням нагрівання океану, а також втратою маси льодовиків та льодовикових щитів.
- Існує *високий ступінь впевненості*, що, внаслідок впливу зміни клімату на процеси вуглецевого циклу, відбудеться збільшення концентрації CO₂ в атмосфері. Подальше поглинання вуглецю океаном призведе до підвищення кислотності останнього.
- Сукупні викиди CO₂, головним чином, визначають підвищення глобальної середньої температури земної поверхні до кінця 21-го століття. Навіть якщо антропогенні викиди CO₂ припиняться більшість компонентів кліматичної системи змінюватиметься упродовж століть.
- Щоб обмежити потепління в межах 2°C (порівняно до 1861-1880 рр.), спричинене лише антропогенними викидами CO₂ з ймовірністю >33%, >50%, та >66%, необхідно, аби сукупні викиди CO₂ залишилися на рівні від 0 до приблизно 1560 Гт С⁷, від 0 до приблизно 1210 Гт С, від 0 до приблизно 1000 Гт С (порівняно до 1861-1880 рр.), відповідно. Верхні межі цих викидів необхідно знизити приблизно на 880 Гт С, 840 Гт С, та 800 ГтС, відповідно, для врахування інших, крім CO₂ факторів впливу (як за сценарієм RCP2,6). Станом на 2011 рік вже було здійснено викиди обсягом 531 Гт С.
- Велика частина антропогенної зміни клімату спричинена викидами CO₂ є незворотною протягом століть чи тисячоліть (за винятком ситуації, якщо поглинання CO₂ буде більшим за його викиди протягом тривалого періоду часу). Після повного припинення антропогенних викидів CO₂ температура земної поверхні майже постійно залишиться на підвищеному рівні протягом багатьох століть. Враховуючи довготривалість передачі тепла з поверхні океану до його глибини, нагрівання океану продовжиться протягом століть. Залежно від сценарію, від 15% до 40% викидів CO₂ залишиться в атмосфері більше ніж 1000 років.
- Для протидії зміні клімату було запропоновано методи так званої геоінженерії, яка має на меті заплановано впливати на кліматичну систему. Брак доказів робить неможливим комплексну кількісну оцінку як методів видалення діоксиду вуглецю (Carbon dioxide removal – CDR), так і методів управління сонячною радіацією (Solar Radiation Management – SRM), а також їхнього впливу на кліматичну систему. Методи CDR мають біогеохімічні та технологічні обмеження для потенційного використання на глобальному рівні. Бракує інформації для оцінки, наскільки можуть бути зменшені викиди CO₂ протягом століття шляхом їх вилучення з атмосфери. Моделювання свідчить про те, що SRM-методи мають потенціал значно компенсувати підвищення глобальної температури, однак, вони можуть змінити кругообіг води та не компенсують збільшення кислотності океану. Якщо використання методів SRM буде припинене з будь-яких причин, існує *висока ймовірність*, що глобальна температура земної поверхні підвищиться дуже швидко до значень, що відповідають концентрації парникових газів. Методи CDR та SRM матимуть побічні ефекти та довгострокові наслідки на глобальному рівні.

⁷ ГтС - Гігатона вуглецю.

Рисунок SPM.1.



(b) **Зміна температури земної поверхні з 1901 по 2012 рік**

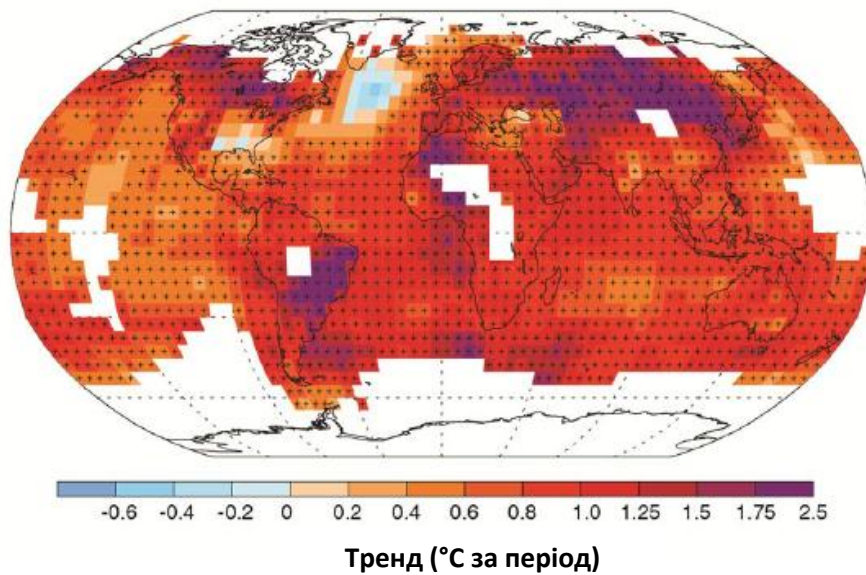


Рисунок SPM.2.

Спостереження зміни кількості опадів над суходолом

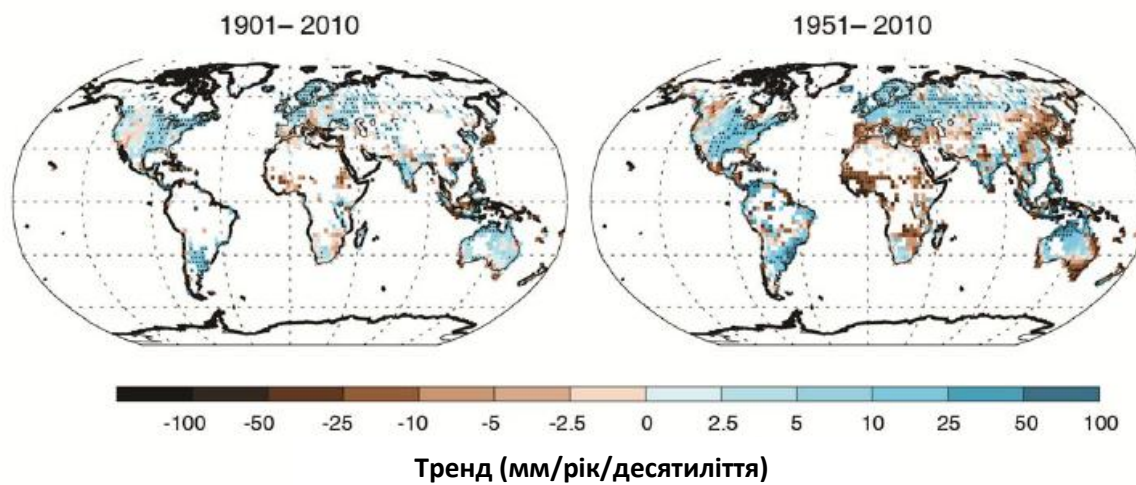


Рисунок SPM.3.

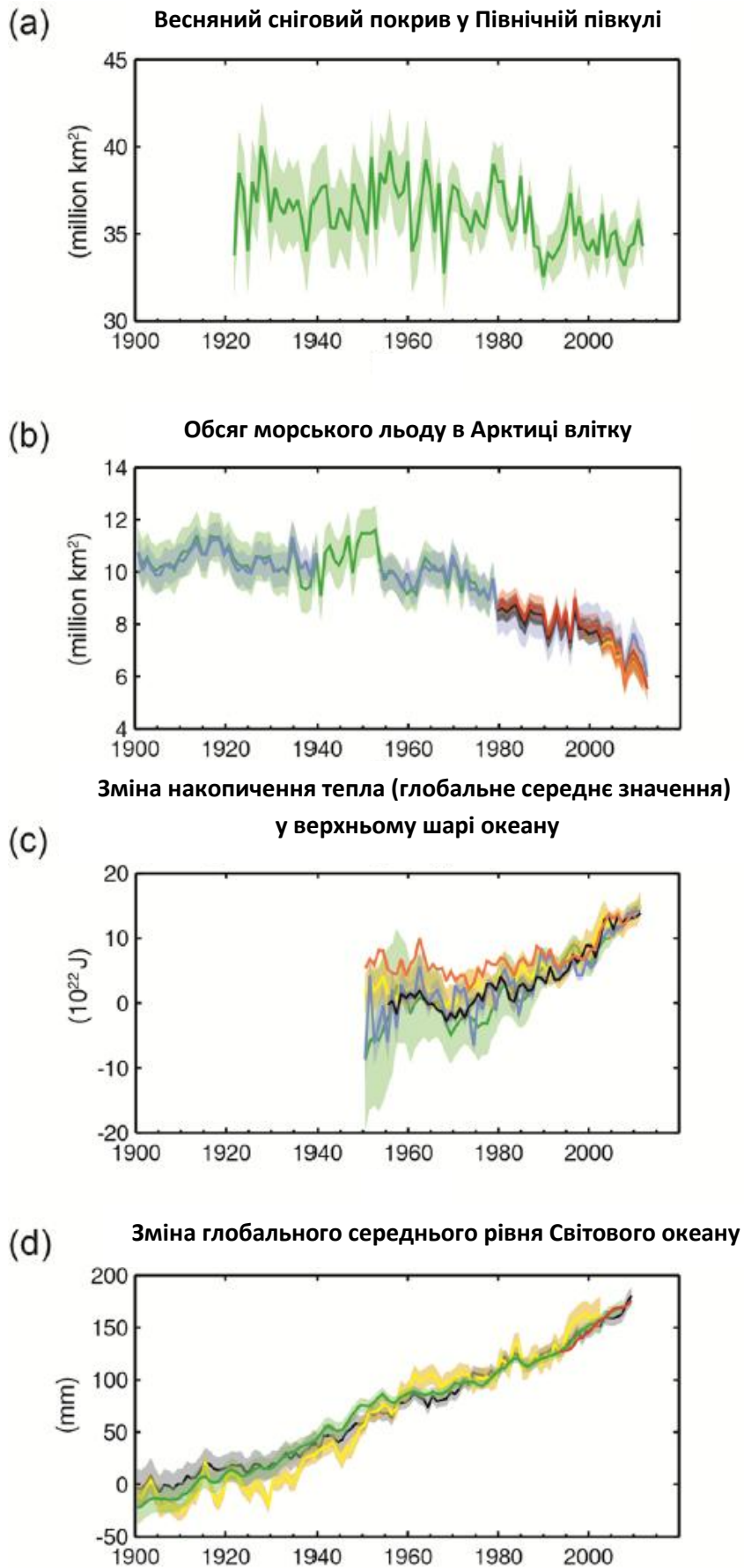


Рисунок SPM.4.

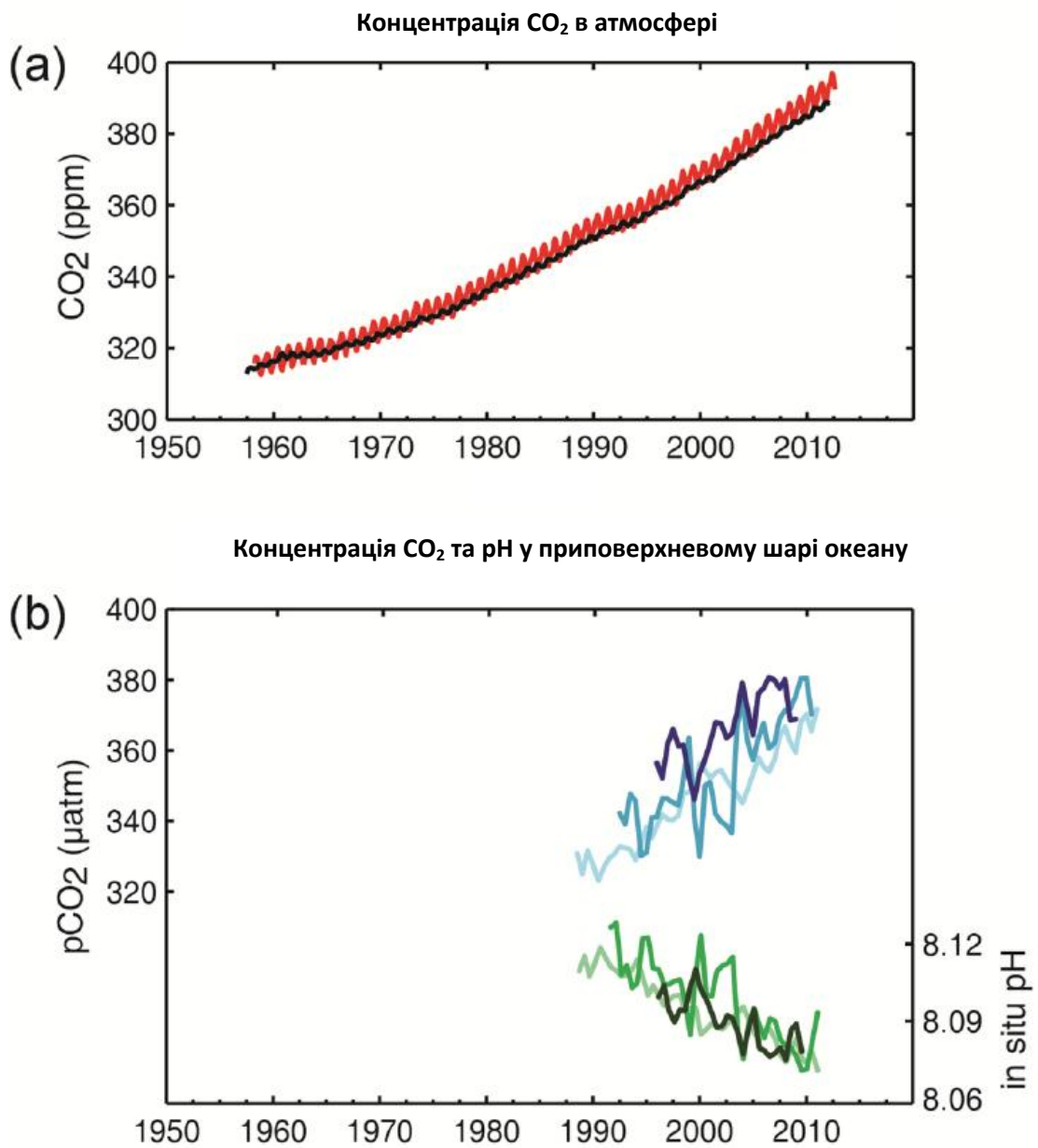


Рисунок SPM.5.

