

# Відповіді вчених Міжурядової групи експертів зі зміни клімату на найбільш поширені питання<sup>1</sup>

## Які фактори впливають на клімат Землі?

Кліматична система – складна, інтерактивна система, що складається з атмосфери, земної поверхні, снігу та льоду, інших водних об'єктів та живих організмів. Атмосферний компонент кліматичної системи найбільш очевидно характеризує клімат. Клімат часто визначають як **«усереднену погоду»**. Зазвичай клімат описують такими показниками, як середні значення та мінливість температури, кількість опадів та вітру за деякий період часу тривалістю від декількох місяців до мільйонів років (**класичний період - 30 років**). Кліматична система розвивається з часом під впливом власної динаміки та внаслідок зміни зовнішніх факторів, які впливають на клімат (їх називають факторами впливу). Зовнішні фактори включають природні явища (такі, як виверження вулканів та зміни сонячної активності), а також антропогенні зміни складу атмосфери. **Сонячна радіація** живить кліматичну систему.

**Сонячна радіація** – випромінювання Сонця, яке поширюється у вигляді електромагнітних хвиль зі швидкістю 300 000 км/с. До земної поверхні сонячна радіація доходить у вигляді прямої і розсіяної радіації. До 47 % загальної кількості радіації, що надходить до верхніх шарів атмосфери, досягає поверхні Землі та поглинається нею, 25 % затримується атмосферою — розсіюється молекулами газів та домішками.

Є три основних шляхи зміни радіаційного балансу Землі:

- зміна сонячної радіації, що надходить (наприклад, внаслідок зміни орбіти Землі або змін у самому Сонці);
- зміна тієї частки сонячної радіації, яка відбивається (її називають “альbedo”; наприклад, внаслідок змін у хмарному покриві, атмосферних частинок та рослинного покриву);
- зміна довгохвильового випромінювання Землі, яке повертається у космос (наприклад, шляхом зміни концентрації парникових газів). Клімат, у свою чергу, реагує на такі зміни як прямо, так і опосередковано через різноманітні механізми зворотного зв'язку.

Зміни різноманітних аспектів кліматичної системи - розміру льодовиків, типу та розподілу рослинності, температури атмосфери та океану, - впливають на великомасштабні циркуляційні характеристики атмосфери та океанів.

Хоча на клімат впливає багато факторів, науковці визначили, що домінуючим чинником є діяльність людини. Саме цей фактор є основною причиною потепління, яке спостерігається протягом останніх 50 років. Антропогенна зміна клімату є, головним чином, результатом зміни концентрації парникових газів у атмосфері, а також змін вмісту дрібних частинок (**аерозолів**), або, наприклад, змін у землекористуванні. Зі зміною клімату ймовірність певних типів метеорологічних явищ змінюється також. Наприклад, з підвищенням середньої температури

<sup>1</sup> Матеріали підготовлено на основі питань-відповідей з сайту МГЕЗК [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/ru/faqs.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/ru/faqs.html)

Землі почастишали й стали більш сильними такі явища, як спеки або потужні зливи, у той час як інтенсивність інших (наприклад, максимально холодних періодів) зменшилася.

Більш детальна відповідь на це питання за посиланням:  
[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/ru/faq-1-1.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/ru/faq-1-1.html)

**Аерозолі** – дрібні тверді або рідкі частинки, які затримуються в атмосфері принаймні на кілька годин. Аерозолі можуть бути природного або антропогенного походження (напр. сульфати, нітрати, пил).

### Чому танення льодовиків спричиняє ще більше потепління?

Крім того, в кліматичній системі існує безліч механізмів зворотного зв'язку, які можуть або підсилити (“позитивний зворотний зв'язок”), або послабити (“негативний зворотний зв'язок”) ефекти зміни кліматичних факторів. Наприклад, внаслідок потепління клімату Землі через підвищення концентрацій парникових газів, сніговий та льодовий покрив починають танути. В результаті цього танення оголюються більш темні земні та водні поверхні, які раніше були вкриті снігом та льодом. А ці більш темні поверхні поглинають більше тепла Землі, що спричиняє подальше потепління, тобто, має місце *цикл, що самопідсилюється*.

**Альbedo** – властивість поверхні відбивати та розсіювати випромінення (світло). Визначається як відношення потоку відбитого (розсіяного) поверхнею випромінення до потоку випромінення, що надходить. Сніговий покрив має найвище альbedo, рослинний покрив та океани мають низьке альbedo, а альbedo ґрунтового покриву може варіювати від низького до високого.

Цей механізм зворотного зв'язку, відомий як “зворотний зв'язок між льодовим покривом та альbedo” підсилює першопочаткове потепління, спричинене підвищенням рівнів концентрації парникових газів. Виявлення, розуміння та точне вимірювання зворотних зв'язків кліматичної системи є предметом вивчення великої кількості наукових досліджень

Більш детальна відповідь на це питання за посиланням:  
[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/ru/faq-1-1.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/ru/faq-1-1.html)

### Чому вчені можуть передбачити зміни клімату на 50 років, а точну погоду на найближчі кілька тижнів – ні?

Клімат зазвичай визначають як усереднений погодний режим протягом тривалого проміжку часу. Синоптичні спостереження, а саме – статистика погодних змін протягом певного періоду, дозволяють виявити зміну клімату. І хоча погода та клімат тісно пов'язані між собою, між ними є й важливі відмінності. Зазвичай погоду та клімат плутають, коли запитують у науковців, як їм вдається передбачити клімат на 50 років уперед, якщо вони не можуть передбачити погоду на декілька тижнів. Хаотичний характер погоди унеможливлює її прогнозування більш, ніж на декілька днів. Прогнозування ж змін клімату (тобто довготривалого усередненого погодного режиму) внаслідок змін складу атмосфери або інших факторів – зовсім інше та більш реальне завдання. Проведемо аналогію: неможливо передбачити вік смерті тієї чи іншої людини, однак можна впевнено стверджувати, що середній вік смерті чоловіків у промислово розвинених країнах становить близько 75 років. Ще однією розповсюдженою помилкою стосовно цих питань є думка про те, що холодна зима або похолодання на окремій території планети свідчать проти глобального потепління. Завжди існують екстремуми тепла та холоду, хоча їхня частота та інтенсивність також змінюються внаслідок зміни клімату. Якщо ж погоду

«усереднити» за часом та простором, стане очевидним, що середня температура на Землі підвищується.

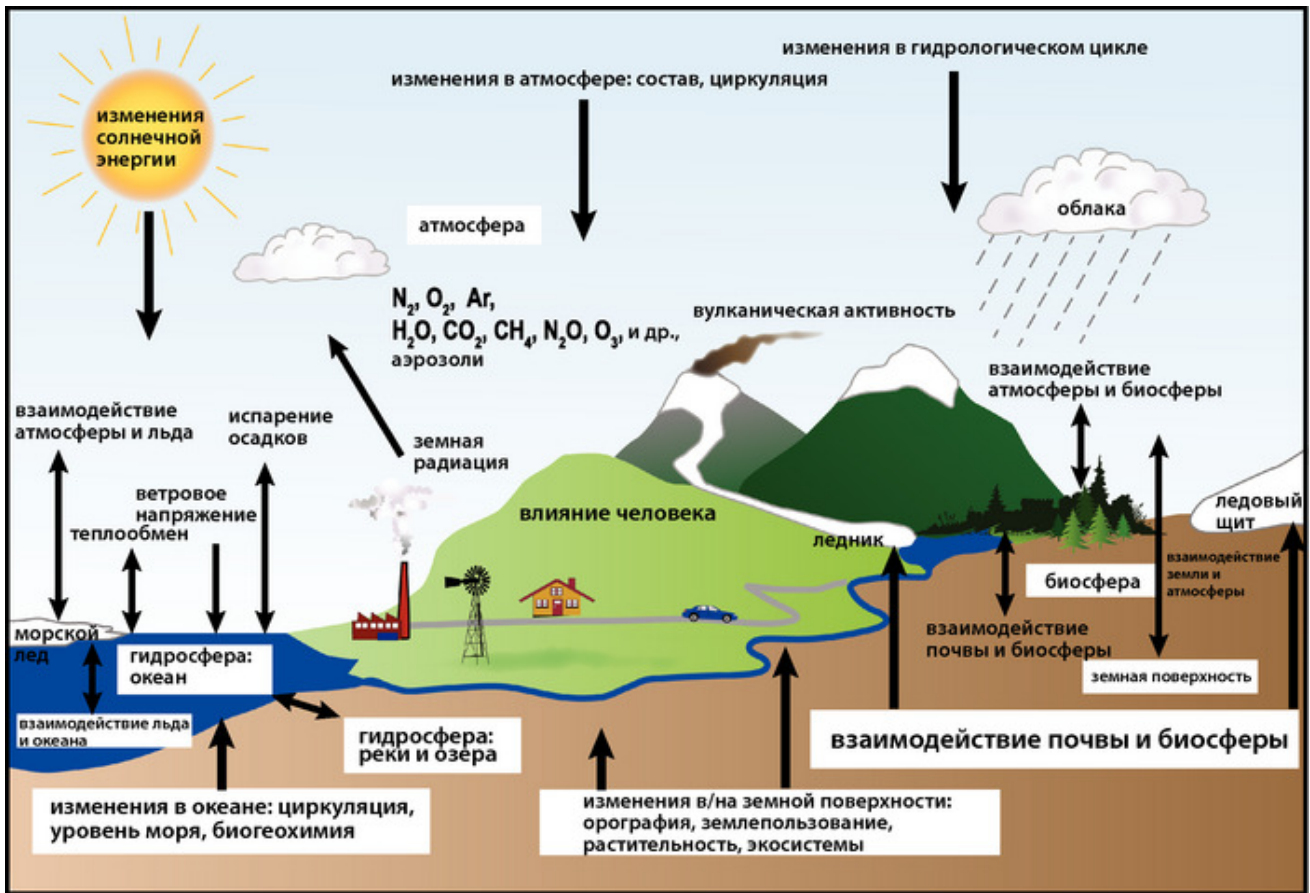


Рис.1. Схематичне зображення компонентів кліматичної системи, їх процесів та взаємодії

Метеорологи докладають величезних зусиль для спостереження, розуміння та передбачення щоденної еволюції погодних систем. Застосовуючи методи, що базуються на фізичних законах (наприклад, стосовно руху повітряних мас, охолодження чи нагрівання повітря, випаровування вологи, утворення опадів) метеорологи зазвичай можуть успішно передбачати погоду на кілька днів. Значним фактором, що обмежує передбачуваність погоди більш, ніж на декілька днів, є притаманна атмосфері динамічність. У 1960-х роках Едвард Лоренц виявив, що дуже незначні відмінності початкових умов призводять до суттєво відмінних результатів прогнозів.

Це так званий «ефект метелика»: помах крил метелика (чи будь-яке інше незначне явище) в одному місці можуть, у принципі, згодом змінити погодну ситуацію в якомусь іншому місці. В основі цього ефекту є теорія хаосу, що вивчає питання, як незначні зміни деяких параметрів можуть призвести до очевидної випадковості у складних системах.

Тим не менш, теорія хаосу не передбачає повної відсутності порядку. Наприклад, незначна зміна умов на ранньому етапі історії може змінити день, коли відбудеться буревій, або точну траєкторію його руху, однак середня температура та кількість опадів (тобто клімат) у цьому регіоні на даний період залишаться незмінними.

Прогнозування зміни клімату внаслідок змін концентрації парникових газів на 50 років уперед – набагато простіше завдання, ніж прогнозування погоди на декілька тижнів. Інакше кажучи, довготермінові коливання, викликані змінами у складі атмосфери, передбачити набагато легше, ніж окремі погодні явища. Приклад: ми не можемо передбачити результату одного кидання монети або кістки, але можемо передбачити статистичну поведінку великої кількості таких спроб.

Більш детальна відповідь на це питання за посиланням:

[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/ru/faq-1-2.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/ru/faq-1-2.html)

## Що таке парниковий ефект?

Сонце живить клімат Землі, випромінюючи енергію на дуже коротких хвилях, переважно у видимій або майже видимій (ультрафіолетовій) частині спектру. Приблизно третина сонячної енергії, що досягає верхніх шарів атмосфери Землі, відбивається назад у космос. Решту поглинають земна поверхня та, меншою мірою, атмосфера. Аби врівноважити ту енергію, яку вона поглинає, Земля має випромінювати таку ж кількість енергії у космос. Оскільки Земля значно холодніша за Сонце, вона випромінює енергію на суттєво довших хвилях, переважно в інфрачервоній частині спектру (див. рис. 1). Більша частина цього теплового випромінювання, що йде від суходолу та океану, поглинає атмосфера (у тому числі, хмари), після чого знову спрямовує його на Землю. Це явище має назву парникового ефекту. Скляні стіни парнику зменшують повітряний потік та підвищують температуру повітря всередині парнику. Так само, але завдяки іншому фізичному процесу, поверхня Землі нагрівається завдяки парниковому ефекту. Без природного парникового ефекту середня температура на поверхні планети була б нижчою за точку замерзання води. Таким чином, природний парниковий ефект робить можливим життя на Землі. Однак, діяльність людини, головним чином, спалювання викопних видів палива та вирубування лісів, значно посилила природний парниковий ефект, що, у свою чергу, призвело до глобального потепління.

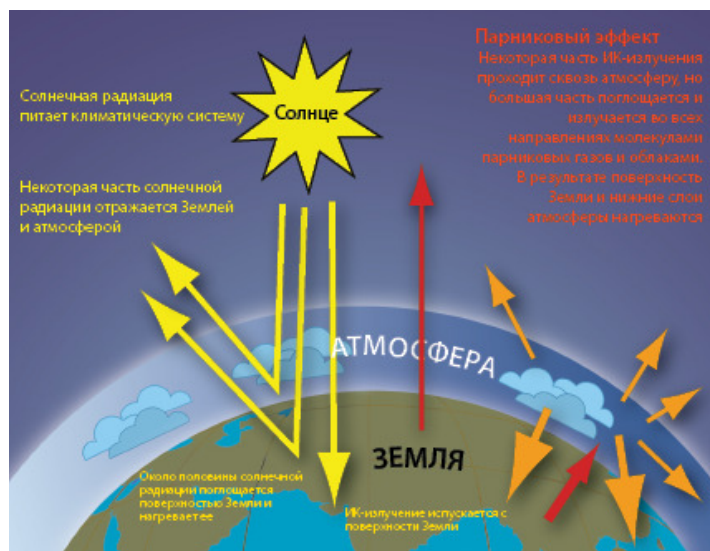


Рис. 2. Ідеалізована модель природного парникового ефекту

Діяльність людини посилює парниковий ефект унаслідок підвищення концентрації парникових газів. Найважливіший парниковий газ - водяна пара, а другий за значенням – вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>). Метан, оксид нітрогену, деякі інші гази, що є присутніми у атмосфері у невеликих кількостях, також сприяють парниковому ефекту. Об'єм викидів вуглекислого газу в атмосферу в

індустріальну епоху збільшився приблизно на 35%. Відомо, що це збільшення викликане діяльністю людини, здебільшого спаленням викопних палив та вирубуванням лісів. Отже, людство значно змінило хімічний склад атмосфери, що, у свою чергу, суттєво вплинуло на клімат.

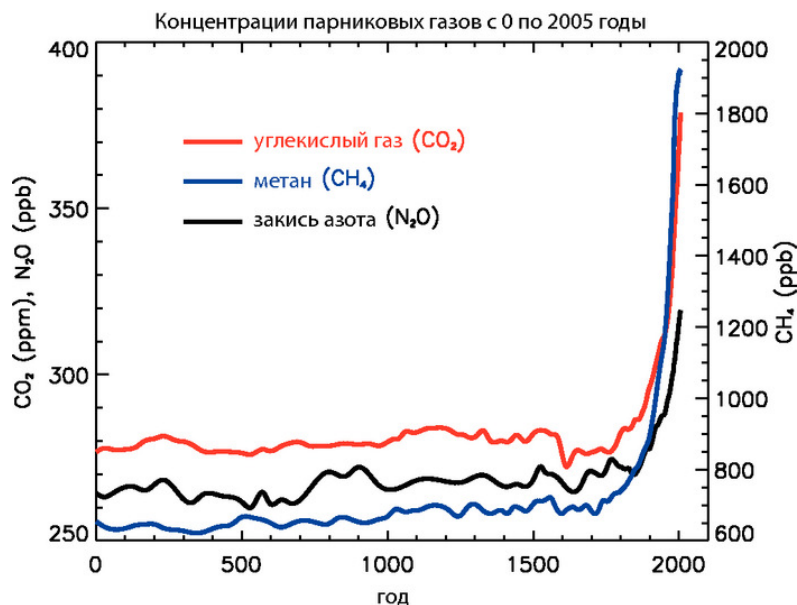
Більш детальна відповідь на це питання за посиланням:

[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/ru/faq-1-3.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/ru/faq-1-3.html)

## Як діяльність людини впливає на зміну клімату?

Діяльність людини сприяє зміні клімату та призводить до зміни концентрації парникових газів, дрібних частинок (аерозолів) та хмарності. Найбільш суттєвим фактором впливу є спалювання викопних палив, за якого до атмосфери потрапляє вуглекислий газ. Парникові гази та аерозолі впливають на клімат через зміну сонячного випромінювання, що надходить, та інфрачервоного (теплого) випромінювання, що відбивається, які є частиною енергетичного балансу Землі. Зміна концентрації або властивостей цих газів та аерозолів у атмосфері може призвести до потепління або охолодження кліматичної системи. З початку індустріальної епохи (близько 1750 р.) загальним ефектом впливу діяльності людини на клімат стало його потепління. Вплив людини на клімат протягом цього періоду значно перевищує наслідки природних процесів, таких, як зміни сонячної активності або виверження вулканів.

Діяльність людини призводить до викидів чотирьох основних парникових газів: вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ), метану ( $\text{CH}_4$ ), оксиду нітрогену ( $\text{N}_2\text{O}$ ) та галоїдовуглеводнів (групи газів, до якої входять фтор, хлор та бром). У індустріальну епоху відбулося значне збільшення концентрації всіх цих газів (див. рис. 1). Окрім того, спалювання викопних палив та біомаси збільшило концентрацію аерозолів із вмістом сполук сірки, органічних сполук та сажі.



**Рис. 3.** Концентрації важливих довгоживучих (таких, що не руйнуються довгий час) парникових газів у атмосфері за останні 2000 років. Зростання після 1750 року викликане діяльністю людини в індустріальну епоху. Одиниці концентрації – «частинки на мільйон» (ppm) або «частинки на мільярд» (ppb) - означають кількість молекул парникового газу на мільйон або мільярд молекул повітря у зразку атмосферного повітря, відповідно.

- Зростання викидів вуглекислого газу стало результатом збільшення використання викопних палив у транспортній галузі, в опаленні та охолодженні будівель та у

виробництві цементу й іншої продукції. Вирубування лісів призводить до вивільнення CO<sub>2</sub> та зменшує його поглинання рослинами. Вуглекислий газ вивільняється також й у природних процесах, як то перегниванні рослинної маси.

- Викиди метану збільшилися в результаті діяльності людини, пов'язаної із сільським господарством, розподілом природного газу та накопиченням звалищ побутових відходів. Метан також вивільняється й завдяки природним процесам, що відбуваються, наприклад, на водно-болотних угіддях.
- Викиди оксиду нітрогену також є наслідком людської діяльності, зокрема, використання добрив та спалювання викопних палив. Також N<sub>2</sub>O вивільняється під час природних процесів у ґрунтах та океанах.
- Концентрація галоїдовуглеводнів зросла, головним чином, завдяки людській діяльності. Незначний внесок додають також природні процеси. Серед основних галоїдовуглеводнів – фреони (наприклад, ХФВ-11 та ХФВ-12), які широко вживалися як охолоджуючі речовини та в інших промислових процесах, доки не було встановлено, що їх викиди призводять до руйнування озонового шару у стратосфері. Викиди фреонів зменшуються завдяки запровадженню міжнародних стандартів (що забороняють їх використання), розроблених з метою захисту озонового шару.

Більш детальна відповідь на це питання за посиланням:

[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/ru/faq-2-1.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/ru/faq-2-1.html)

## Наскільки значним є вплив людини на зміну клімату порівняно з природними явищами?

Вплив фактору, який може призвести до зміни клімату (наприклад, парниковий газ), часто оцінюють з точки зору його випромінювальної потужності. **Випромінювальна потужність – це міра того, як змінюється енергетичний баланс системи Земля-атмосфера, коли змінюються фактори, що впливають на клімат.** Слово «випромінювальна» використовується тому, що ці фактори змінюють баланс між сонячною радіацією, яка надходить, та інфрачервоним випромінюванням у атмосфері, що відбивається від Землі. Цей випромінювальний баланс керує температурою поверхні Землі.

Випромінювальна потужність зазвичай кількісно вимірюється як «швидкість зміни енергії на одиницю площі Землі, виміряна у верхніх шарах атмосфери» у одиницях Вт/м<sup>2</sup>. Якщо випромінювальна потужність фактору або групи факторів визначається як «позитивна», то енергія системи Земля-атмосфера в кінцевому підсумку зростає, призводячи до потепління системи. Якщо ж випромінювальна потужність є «негативною», то навпаки, енергія зменшиться, що призведе до охолодження системи. Для кліматологів важливими завданнями є, по-перше, виявлення всіх факторів, що впливають на клімат та механізмів, за допомогою яких ці фактори здійснюють вплив. По-друге, - кількісно виміряти випромінювальну потужність кожного фактору та оцінити сумарну випромінювальну потужність групи факторів.

### Випромінювальна потужність факторів, на які впливає діяльність людини.

Збільшення концентрації парникових газів, яке є найбільш очевидним антропогенним фактором, спричиняє «позитивний» вплив на енергетичний баланс, оскільки кожен газ поглинає висхідне інфрачервоне випромінювання в атмосфері. За цей період найбільший вплив з усіх

парникових газів викликало збільшення вмісту CO<sub>2</sub>. Потеплінню також сприяло збільшення вмісту тропосферного озону, у той час як зменшення кількості стратосферного озону сприяло охолодженню.

Аерозольні частинки безпосередньо впливають на випромінювальну потужність шляхом відображення та поглинання сонячного та інфрачервоного випромінювання в атмосфері. Деякі аерозолі зумовлюють “позитивний” вплив, деякі ж – “негативний”. Сукупна пряма випромінювальна потужність усіх типів аерозолів є “негативною”. Аерозолі також спричиняють охолоджувальний ефект опосередковано, через зміни властивостей хмар. Крім того, діяльність людини з початку індустріальної епохи змінила характер поверхні суходолу по всій планеті, головним чином, шляхом зміни землекористування.

Загалом, сукупний ефект від всіх антропогенних чинників має випромінювальну потужність, тобто, викликає потепління на 2,3 Вт/м<sup>2</sup> від 1750 року (за даними П’ятої оціночної доповіді).

### **Випромінювальна потужність природних факторів**

До природних факторів впливу належать зміни сонячної активності та вибухові виверження вулканів. Потік сонячної енергії в індустріальну епоху поступово зростає, створюючи невелику “позитивну” випромінювальну потужність. Цей вплив доповнює циклічні зміни сонячної радіації, які відбуваються згідно 11-річного циклу. Сонячна енергія безпосередньо нагріває кліматичну систему та може також впливати на надлишок у атмосфері деяких парникових газів, таких, як стратосферний озон. Вибухові виверження вулканів можуть створювати короткочасний (2-3 роки) “негативний” вплив через підвищення температури внаслідок викидів сульфатного аерозолу у стратосферу.

Різниця зміни випромінювальної потужності, спричиненої природними факторами, між теперішнім часом та початком індустріальної епохи є вкрай незначною, порівняно з відмінностями випромінювальної потужності, яка виникла завдяки діяльності людини. Тому, на даний момент, випромінювальна потужність, спричинена діяльністю людини, є набагато важливішою для теперішніх та майбутніх змін клімату, ніж зміни випромінювальної потужності внаслідок природних факторів.

Кілька невеликих вивержень протягом 2008-2011 років призвели до охолодження кліматичної системи на - 0,10 Вт/м<sup>2</sup>, вдвічі збільшивши випромінювальну потужність вулканічних аерозолів протягом 1999-2002 років (за даними П’ятої оціночної доповіді).

Найточніша оцінка випромінювальної потужності внаслідок зміни сукупного сонячного випромінювання протягом індустріальної ери складає 0,05 Вт/м<sup>2</sup> (за даними П’ятої оціночної доповіді).

Таким чином, антропогенні фактори мають набагато більший вплив на зміну клімату, ніж природні.

Більш детальна відповідь на це питання за посиланням:

[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/ru/faq-2-1.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/ru/faq-2-1.html)

## Чи змінилися екстремальні явища, такі, як хвилі спеки, посухи, повені, буревії?

З 1950 року кількість хвиль спеки збільшилася та скрізь відбулися зміни у бік збільшення кількості теплих ночей. Кількість регіонів, охоплених посухою, збільшилася також, оскільки кількість опадів над суходолом зменшилася несуттєво, у той час як випаровування внаслідок більш теплих умов збільшилося. У цілому кількість щоденних випадків сильних опадів, що призвели до повеней, збільшилася, але не повсюди. Частота тропічних буревіїв з року в рік суттєво змінюється, однак є докази того, що їхня потужність та тривалість у порівнянні з 1970-ми роками збільшилася. У нетропічних регіонах зміна траєкторій та потужності циклонів демонструють зміну основних характеристик атмосферної циркуляції, такої, як Північноатлантичне коливання.

За останні 50 років у відібраних для досліджень регіонах суходолу спостерігається значне зменшення річної кількості холодних ночей та, відповідно, значне збільшення теплих. Зменшення кількості холодних днів та збільшення спекотних, зазвичай, є менш помітним, хоча й спостерігається повсюдно.

Яскравою ознакою зміни екстремальних показників є спостереження зростання кількості випадків потужних опадів у середніх широтах протягом останніх 50 років. Випадки вкрай потужних опадів також почастишали, однак результати досліджень є лише з декількох регіонів.

Зміна частоти та інтенсивності тропічних буревіїв та ураганів маскується значною природною мінливістю. Ель-Ніньо – Південне коливання - значно впливає на розташування та активність тропічних буревіїв по всьому світі. У глобальному масштабі оцінки потенційної руйнівної дії ураганів демонструють суттєву висхідну тенденцію з середини 1970-х років, а також тенденцію у напрямку збільшення тривалості буревіїв та їхньої сили. При цьому така активність міцно пов'язана з температурою поверхні тропічних морів. Кількість ураганів 4 та 5-ї категорій з 1970 року зросла приблизно на 75%. Найбільше зростання зареєстроване у північній та південно-західній частинах Тихого океану та в Індійському океані. При цьому кількість ураганів у Північній Атлантиці у 9 з 11 останніх років також перевищувала норму, кульмінацією ж став рекордний сезон 2005 року.

Більш детальна відповідь на це питання за посиланням:  
[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/ru/faq-3-3.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/ru/faq-3-3.html)

## Що викликало льодовикові періоди та інші важливі зміни клімату до індустріальної епохи?

Клімат на Землі змінювався в усі часи, зокрема задовго до того, як на нього почала впливати діяльність людини. Досягнуто значного прогресу в розумінні причин та механізмів цих змін. Зміни радіаційного балансу Землі були основним фактором змін клімату в минулому, але причини таких змін є різними. Для кожного випадку – чи то льодовикові періоди, потепління у часи динозаврів, коливання у минулому тисячолітті – конкретні причини слід встановлювати окремо. У багатьох випадках зараз це можна зробити з високою впевненістю, а велику кількість минулих змін можна відновити за допомогою кількісних моделей.

Починаючи з льодовикових періодів, що відбувалися регулярними циклами протягом останніх майже трьох мільйонів років, маємо переконливі докази того, що вони пов'язані з регулярними змінами в орбіті обертання Землі навколо Сонця, так званими циклами Міланковича. Ці цикли



змінюють кількість сонячної радіації, що поступає, на кожній широті у кожному пору року (але навряд чи впливають на глобальний середньорічний показник), їх можна розрахувати з астрономічною точністю. Ще досі відбуваються дискусії стосовно того, наскільки точно це відповідає початку та завершенню льодовикових періодів. Однак, у багатьох дослідженнях йдеться про те, що кількість сонячного світла влітку на північних континентах має вирішальну роль: якщо вона знижується до критичного рівня, то сніг з попередньої зими влітку не тане. У міру накопичення чимдалі більшої кількості снігових мас льодовиковий щит починає зростати. Моделювання клімату підтверджує, що льодовиковий період дійсно може розпочатися подібним чином, а за допомогою простих концептуальних моделей на основі орбітальних змін відтворені успішні «ретроспективні прогнози» початків минулих зледенінь. Наступне значне зниження літньої інсоляції на півночі, аналогічне тому, яке почалося після льодовикових періодів, розпочнеться через 30 000 років.

Атмосферний вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ) також відіграє важливу роль у льодовикових періодах, хоча й не є їх головною причиною. Дані кернів антарктичного льоду демонструють, що концентрація  $\text{CO}_2$  у холодні льодовикові часи є низькою (~190 ppm), а у теплі міжльодовикові – високою (~280 ppm). Вміст  $\text{CO}_2$  у атмосфері пов'язаний з температурними змінами в Антарктиді із запізненням на декілька століть. Більше того, невелике початкове охолодження через цикли Миланковича згодом посилюється із зниженням концентрації  $\text{CO}_2$ . Моделювання клімату льодовикового періоду надає реалістичні результати лише за умови врахування ролі вуглекислого газу.

У історії клімату були й набагато тепліші часи – протягом більшості з минулих 500 млн. років на Землі, ймовірно, взагалі не було льодовикових щитів (геологи можуть встановити це за відмітками, які крига залишає на породи), на відміну від сьогодення, коли Гренландія та Антарктика вкриті кригою. Дані про вміст парникових газів більше мільйона років тому (тобто такі, що стосуються періоду поза межами досягнення антарктичних льодових кернів), є великою мірою невизначеними. Однак, аналіз геологічних зразків демонструє, що теплі безльодовикові періоди співпадають з періодами високого вмісту  $\text{CO}_2$  у атмосфері. Якщо розглянути шкалу з розрішенням у мільйони років, то можна побачити, що рівні  $\text{CO}_2$  змінюються завдяки тектонічній активності, а це впливає на швидкість обміну вуглекислим газом між океаном та атмосферою з одного боку та твердою поверхнею - з іншого.

Ще одна вірогідна причина кліматичних змін у минулому – зміни кількості енергії, що випромінює Сонце. Виміри за останні десятиріччя демонструють, що потік сонячної енергії у 11-річному циклі дещо змінюється (приблизно на 0,1%). Спостереження за плямами на Сонці (датовані ще XVII століттям), а також дані щодо ізотопів, генерованих космічним випромінюванням, надають докази про більш довготривалі зміни сонячної активності. Співставлення даних та моделювання демонструють, що коливання сонячної та вулканічної активності, ймовірно, були головними причинами кліматичних коливань у минулому тисячолітті, до початку індустріальної епохи.

Ці приклади слугують ілюстрацією того, що різні зміни клімату в минулому були викликані різними причинами. Той факт, що природні фактори зумовлювали зміни клімату в минулому, не означає, що теперішня зміна клімату є природною. Так само, якщо лісові пожежі з давніх часів виникають завдяки природним причинам, наприклад, ударам блискавки, ще не означає, що пожежі не можуть виникнути завдяки недбалості туристів.

Більш детальна відповідь на це питання за посиланням:

[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/ru/faq-6-1.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/ru/faq-6-1.html)

## Чи є надійними моделі, за допомогою яких прогнозують майбутні зміни клімату?

Існують достатні докази того, що моделі надають достовірні кількісні оцінки майбутніх кліматичних змін, особливо у континентальному масштабі та ширше. Така впевненість ґрунтується на тому, що: (1) моделі побудовано на загально визнаних фізичних принципах, (2) моделі здатні відтворювати особливості нинішнього клімату та його зміни у минулому. Впевненість у результатах моделювання для деяких кліматичних змінних (наприклад, температури) є вищою, ніж для інших (наприклад, кількості опадів). Протягом декількох десятиріч моделі послідовно демонструють достовірну й однозначну картину значного потепління, як реакції на збільшення концентрації парникових газів.

Моделі клімату – це математичні уявлення кліматичної системи, втілені у вигляді програм, для роботи яких необхідні потужні комп'ютери. Одне з джерел впевненості у моделях полягає в тому, що моделі ґрунтуються на доведених фізичних законах, наприклад, на законах збереження маси, енергії та імпульсу, а також на великій кількості спостережень.

Ще одне з джерел впевненості – здатність моделей імітувати важливі аспекти теперішнього клімату. Моделі постійно оцінюють шляхом порівняння їхніх результатів зі спостереженнями за атмосферою, океаном, кріосферою та земною поверхнею. Моделі демонструють значну здатність до представлення багатьох важливих середніх показників клімату, таких, як великомасштабні розподіли атмосферної температури, опадів, радіації, вітру, океанічних температур, течій та морського крижаного покриву.

Третє джерело впевненості базується на здатності моделей відтворювати особливості клімату минулого та його зміни. За допомогою моделей імітується клімат давніх часів, наприклад, теплий клімат середнього голоцену (6 000 років тому), або останнього льодовикового максимуму (21 000 років тому).

Моделі можуть імітувати й багато аспектів зміни клімату, що спостерігаються, згідно результатів вимірювань. Ось приклад: глобальний температурний тренд за останнє століття можна змодельовати з високою точністю, якщо врахувати як антропогенні, так і природні фактори, що впливають на клімат. Моделі також відтворюють інші зміни, що спостерігаються - більш інтенсивне підвищення нічної температури, ніж денної, значніший ступінь потепління в Арктиці, незначне короткочасне глобальне похолодання у результаті потужних вивержень вулканів (наприклад, вулкану Пінатубо у 1991 році (див. Рис. 4). Змодельовані проєкції глобальної температури за останні два десятиріччя також в загальних рисах узгоджуються зі спостереженнями за цей період.

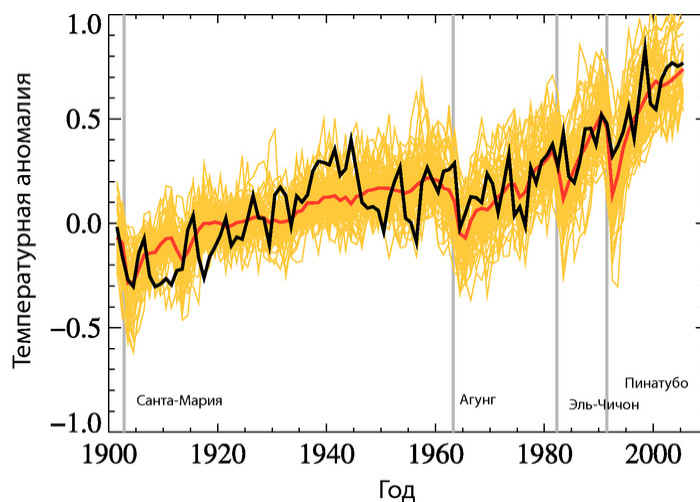


Рис. 4. Глобальні приповерхневі температури протягом XX століття за результатами спостережень (чорний) та отримані за 58-и імітаціями у 14-ти різних моделях клімату, що базуються на природних та антропогенних факторах впливу на клімат (жовтий). Показано також середнє значення усіх цих результатів (червона лінія). Температурні аномалії показано відносно середнього значення за 1901-1950 роки. Вертикальні сірі лінії позначають час потужних вивержень вулканів.

Незважаючи на деякі неточності, моделі одноставно передбачають суттєве потепління клімату внаслідок підвищення вмісту парникових газів. Це співпадає з незалежними оцінками, отриманими з інших джерел, наприклад, зі спостережень за зміною клімату або реконструкцій клімату за минулі періоди.

Оскільки впевненість у змінах, передбачених глобальними моделями, за менших масштабів знижується, то для досліджень змін клімату на регіональному та локальному рівнях розроблено інші методи, наприклад, моделі регіонального клімату або методи зменшення масштабу. Оскільки глобальні моделі продовжують розвиватися, а їх розрішення — покращуватися, вони стають більш корисними для дослідження важливих особливостей меншого масштабу, наприклад, змін екстремальних погодних явищ. Крім того, очікуються подальші вдосконалення у представленні регіонального масштабу завдяки зростанню обчислювальної потужності комп'ютерів. Серед прикладів — нещодавнє включення у ряд глобальних моделей клімату реакцій рослин, океанічних, біологічних та хімічних взаємодій, а також динаміки крижаних щитів.

Підсумовуючи, зауважимо, що впевненість у моделях полягає у їх фізичній основі та здатності відтворювати клімат, що спостерігається та його зміни у минулі періоди. Моделі виявились надзвичайно важливими інструментами для імітування та розуміння клімату; є значна впевненість у тому, що вони спроможні надати достовірні кількісні оцінки майбутньої зміни клімату, особливо за більших масштабів. Поки що у моделей є й суттєві недоліки (наприклад, у представленні впливу хмар), які призводять до деяких неточностей прогнозованої зміни клімату, а також у його регіональних характеристиках. Тим не менш, за декілька десятиріч розвитку моделей, вони незмінно демонструють достовірну та однозначну картину значного потепління клімату внаслідок підвищення вмісту парникових газів.

Більш детальна відповідь на це питання за посиланням:

[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/ru/faq-8-1.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/ru/faq-8-1.html)

## Якщо зменшити викиди парникових газів, як швидко знизиться їхня концентрація в атмосфері?

Зміна концентрації парникових газів у атмосфері у відповідності зі зменшенням викидів залежить від хімічних та фізичних процесів, що усувають ці гази з атмосфери. Концентрація деяких парникових газів, у відповідь на зменшення викидів, знижується майже миттєво, а інших - може продовжувати зростати протягом століть, навіть за умови скорочення викидів.

Концентрація парникового газу залежить від конкуренції між інтенсивністю його викидів та швидкістю процесів, які видаляють його з атмосфери. Наприклад, обмін вуглекислим газом між атмосферою, океаном та суходолом здійснюється через атмосферно-океанічний газообмін, хімічні (наприклад, вивітрювання) та біологічні (фотосинтез) процеси. Хоча більше половини викидів  $\text{CO}_2$  зараз видаляється з атмосфери протягом максимум століття, деяка його частина (близько 20%) все ж залишається в атмосфері протягом тисячоліть. Завдяки малій швидкості процесів видалення, концентрація  $\text{CO}_2$  в атмосфері у довготерміновій перспективі зростатиме, навіть якщо викиди, порівняно з нинішнім рівнем, суттєво скоротяться. Метан ( $\text{CH}_4$ ) видаляється з атмосфери хімічними процесами, а оксид нітрогену ( $\text{N}_2\text{O}$ ) та деякі галоїдовуглеводні руйнуються у верхніх шарах атмосфери сонячною радіацією. Усі ці процеси відбуваються у різних часових масштабах – від кількох років до тисячоліть. Якщо для  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  та інших незначних газових домішок, таких, як гідрохлорфторвуглеводень-22 (ГХФВ-22, охолоджувальна рідина), термін існування можна визначити, то термін існування  $\text{CO}_2$  визначити неможливо.

Зміна концентрації будь-яких незначних газових домішок частково залежить від динаміки їх викидів у часі. Якщо з часом викиди зростають, то концентрація у атмосфері також зростатиме, незалежно від терміну існування газу в атмосфері. Якщо ж вжити заходи зі скорочення викидів, то концентрація такої домішки залежатиме від відносних змін не лише у викидах, але й у процесі видалення. На Рис. 5. продемонстровано, як термін існування та процеси видалення впливають на динаміку концентрацій за скорочення викидів.

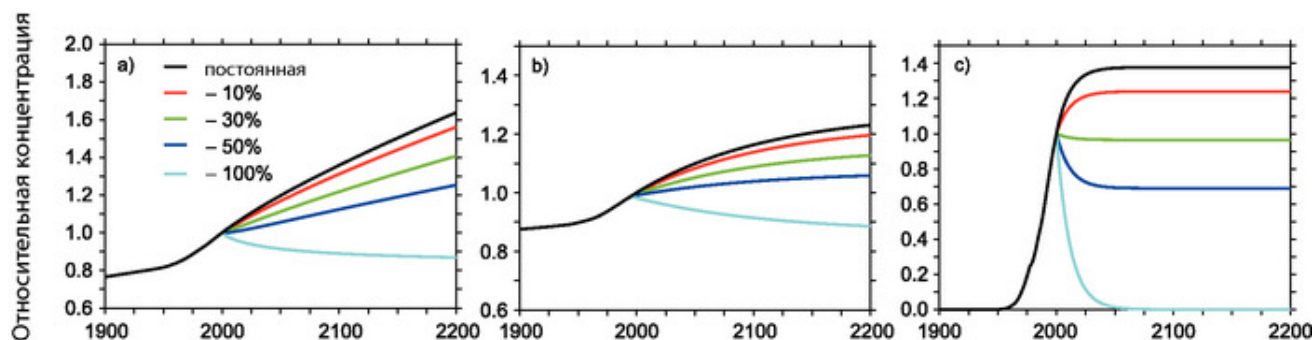


Рис. 5. (а) - Змодельовано зміни концентрації  $\text{CO}_2$  в атмосфері відносно нинішнього рівня: - за стабілізації викидів на нинішньому рівні (чорний), - за зменшення викидів на 10% (червоний), - на 30% (зелений), - на 50% (синій), - на 100% (голубий); (b) - так само, як у (а), для незначної газової домішки з терміном існування 120 років, за впливу природних та антропогенних чинників; (с) - так само, як у (а), для незначної газової домішки з терміном існування 12 років, за впливу виключно антропогенних чинників.

Отже, інтенсивність викидів  $\text{CO}_2$  на сьогодні значно перевищує темпи його природного видалення, а це означає, що невелике або помірне скорочення викидів не призведе до стабілізації його концентрації, а лише зменшить швидкість її зростання у майбутні десятиріччя. Скорочення викидів вуглекислого газу на 10% призведе до зниження темпів зростання концентрації на 10%, скорочення на 30% - аналогічним чином знизить темпи зростання концентрації на 30%. Скорочення викидів на 50% могло б стабілізувати концентрацію  $\text{CO}_2$ , але

менш, ніж на десятиріччя. Після того концентрація  $\text{CO}_2$  знову почала збільшуватись, оскільки накопичувачі на суходолі та в океані скорочуються завдяки добре відомим хімічним та біологічним втручанням. За деякими оцінками, повне припинення викидів вуглекислого газу призведе до повільного зниження його концентрації в атмосфері протягом XXI століття приблизно на 40 ppm.

Абсолютно інакшою є ситуація з незначними газовими домішками, що мають чітко визначений термін існування. Наприклад стабілізація концентрації  $\text{N}_2\text{O}$  на рівні, близькому до сучасного, потребує скорочення викидів більш, ніж на 50% (рис. 5b).

Більш детальна відповідь на це питання за посиланням:

[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/ru/faq-10-3.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/ru/faq-10-3.html)