

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра екологічного права і контролю

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: **«Вплив зміни клімату на формування і розвиток екологічних проблем»**

Виконав: студент 2 курсу, групи МЕК – 2
Спеціальності 101 «Екологія»
Спеціалізація «Екологічний контроль та аудит»
Гега Максим Федорович

Керівник к.геогр.н., доц.
Бургаз Олексій Анатолійович

Рецензент к.геогр.н.
Сущенко Андрій Іванович

АНОТАЦІЯ

Вплив зміни клімату на формування і розвиток екологічних проблем.

Гега Максим Федорович.

У 1980-1990-і роки тема глобальних кліматичних змін стала одним з головних предметів досліджень і бурхливих дискусій вчених, а також стурбованості держав і їхніх політичних лідерів.

Зміни глобального клімату на Землі відбувались на протязі усієї геологічної історії планети. Головною особливістю кліматичних змін сьогодення є те, що вони відбуваються дуже швидко. Це робить неможливим, в багатьох випадках, пристосування до них елементів навколишнього середовища, в тому числі людини. Це вимагає вироблення і прийняття заходів по адаптації до цих змін і пом'якшення їх наслідків. У порівнянні з іншими глобальними екологічними проблемами кліматичну проблему відрізняє особливо складний комплексний багатокомпонентний характер.

Мета роботи – визначення впливу кліматичних змін на розвиток екологічних проблем.

Методика дослідження – системний аналіз наявної інформації щодо можливого негативного впливу кліматичних змін на довкілля в цілому та людину, зокрема.

Робота складається з 3 розділів, посилання на 36 джерел. Загальний обсяг магістерської роботи 78 сторінок.

Ключові слова: клімат, глобальне потепління, парникові гази, глобальні екологічні проблеми.

SUMMARY

The climate change impact on the formation and development of environmental issues.

Gega Maxim Fedorovich.

In the 1980s and 1990s, the theme global climate change has become one of the main subjects of research and heated discussion of scientists, as well as concerns of states and their political leaders.

The changes in the global climate on Earth occurred throughout the entire geological history of the planet. The main feature of the climate change of the present is that they occur very quickly. This makes it impossible, in many cases, to adapt to them environment elements, including human beings. This requires the development and adoption of measures to adapt to these changes and mitigate their consequences. Compared with other global environmental problems, the climatic problem is particularly complicated, complex and multicomponent.

The purpose of the work is to determine the climate change impact on the environmental problems development.

The research methodology is a systematic analysis of available information about the possible negative impact of climate change on the environment as a whole and on humans, in particular.

Master's qualification work consists of abstract, introduction, three chapters, conclusions and list of references. Total volume of work is 78 pages.

Keywords: climate, global warming, greenhouse gases, global environmental issues.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ОСНОВНІ ФАКТОРИ ФОРМУВАННЯ КЛІМАТУ.....	8
1.1 Поняття клімату та кліматичної системи.....	8
1.2 Мінливість клімату.....	11
1.3 Сучасні кліматичні зміни.....	14
2 СУЧАСНІ ТЕОРІЇ ЗМІНИ КЛІМАТУ.....	19
2.1 Астрономічні причини кліматичних змін.....	21
2.2 Вплив вулканічної діяльності на клімат.....	26
2.3 Парниковий ефект.....	35
3 НЕГАТИВНІ НАСЛІДКИ ЗМІНИ КЛІМАТУ.....	50
3.1 Наслідки майбутніх змін клімату.....	57
3.2 Наслідки для регіонів.....	61
3.3 Вплив змін клімату на глобальну безпеку.....	65
ВИСНОВКИ.....	73
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	75

ВСТУП

Питання екології стають сьогодні одним з офіційно визнаних пріоритетів розвитку більшості країн світу.

У 1980-1990-і роки тема глобальних кліматичних змін стала одним з головних предметів досліджень і бурхливих дискусій вчених, а також стурбованості держав і їхніх політичних лідерів. Аrenoю вираження їх думок стали, в першу чергу, конференції сторін Рамкової конвенції ООН зі зміни клімату (РКЗК ООН) з обговоренням фундаментальних доповідей фахівців Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК).

Необхідно визнати, що сьогодні серед вчених і експертів немає єдиної думки щодо причин цього явища. Існують дві точки зору на процес зміни температури. Згідно з однією з них мова йде про природні циклічних коливаннях температури. інша точка зору пов'язує потепління з діяльністю людини, так званим антропогенним фактором. Можливі наслідки змін клімату, пов'язані з антропогенним фактором, знаходять вираз в зміні середніх значень температур, підйомі рівня морів, зміні погоди, збільшення кількості і розмаху стихійних лих і чому іншому.

І природні зміни, і діяльність людини необхідно враховувати при розгляді питань, пов'язаних зі зміною клімату в глобальному масштабі. При цьому антропогенні фактори в останні 50 років мають більш істотний характер, ніж природні коливання температури.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є визначення впливу кліматичних змін на розвиток екологічних проблем.

1 ОСНОВНІ ФАКТОРИ ФОРМУВАННЯ КЛІМАТУ

1.1 Поняття клімату та кліматичної системи

Клімат в широкому сенсі є узагальнення станів погоди, і представляється набором умов погоди в заданій області простору в заданий інтервал часу.

Кліматоутворюючі процеси проходять в конкретних географічних умовах земної кулі. В низьких і високих широтах, над сушею і над морем, над рівнинами і над горами кліматоутворюючі процеси протікають по-різному, тобто мають свою географічну специфіку [1].

Основними географічними кліматоутворюючими чинниками є:

- географічна широта;
- висота над рівнем моря;
- розподіл суходолу і водних просторів;
- орографія поверхні суші;
- океанічні течії;
- рослинний, сніговий, льодовиковий покрив;
- діяльність людини [1].

Першим і дуже важливим фактором клімату є географічна широта. Від неї залежить зональність в розподілі елементів клімату. Сонячна радіація поступає на верхню межу атмосфери в прямій залежності від географічної широти, яка визначає полуденну висоту Сонця і тривалість випромінювання за сезонами року. З тієї самої причини зональність лежить в основі розподілу температури повітря. Але цей розподіл залежить також і від циркуляційних умов. Водночас, і в загальній циркуляції має місце певна зональність (яка в свою чергу викликана зональністю у розподілі температури). Можна згадати, що такий суто кінематичний фактор загальної циркуляції атмосфери, як сила Коріоліса, залежить від географічної широти [1].

Висота над рівнем моря також є географічним фактором, що визначає клімат. Атмосферний тиск з висотою падає, сонячна радіація і ефективно випромінювання збільшуються, температура, як правило, знижується, масова частка водяної пари також зменшується. Висота змінює вертикальний розподіл практично всіх метеорологічних величин, тому дуже суттєво впливає на клімат і закономірності його розподілу на земній кулі, викликаючи явище висотної кліматичної зональності.

Розподіл суходолу та океанів на поверхні планети є ефективним кліматотворним фактором. Саме з ним пов'язаний поділ кліматичних типів на морські та континентальні. На зональність розподілу температури та опадів, а також інших метеорологічних величин впливає розподіл суші та моря. З ним же пов'язане утворення та позиціонування баричних центрів дії атмосфери: субтропічні зони високого тиску розвиваються над материками влітку, в помірних широтах над материками чітко виражене переважання високого тиску взимку та низького влітку. Це ускладнює систему загальної циркуляції атмосфери, а отже, і кліматичних умов на Землі [2].

На кліматичні умови в горах впливає не лише висота місцевості над рівнем моря, але й орографічні умови - висота і напрям гірських хребтів, експозиція схилів відносно розподілу світла і переважаючих вітрів, ширина долин і кривизна поверхні. Затримуючи перенос мас холодного чи теплого повітря, гори створюють більш чи менш різкі розділи в розподілі температури у великому географічному масштабі. Над горами виникають рухи повітряних течій і особливі форми хмар. Над нагрітими схилами гір також посилюється конвекція і як наслідок – хмароутворення [2].

Океанічні течії створюють особливо різкі відмінності в температурному режимі поверхні моря і тим самим впливають на розподіл температури повітря та на атмосферну циркуляцію. Стійкість океанічних течій призводить до того, що їх вплив на атмосферу має кліматичне значення. Відзначимо, зокрема, вплив Гольфстріму на клімат Півночі Європи, Перуанської та Бенгальської течій - на утворення пустель Атакама та

Наміб відповідно, вплив теплої течії Ель-Ніньо на клімат і господарство Південної Америки. Над районами холодних течій збільшується повторюваність туманів (особливо проявляється біля Ньюфаундленда) [1].

Густий трав'яний покрив зменшує добову амплітуду температури ґрунту і знижує її середню температуру. Вплив рослинного покриву має здебільшого мікрокліматичне значення. Сніговий покрив зменшує втрату тепла поверхнею і коливання її температури. Навесні на танення снігового покриву витрачається велика кількість атмосферного тепла. Над сніговим покривом виникають часті та сильні інверсії температури (взимку пов'язані з радіаційним охолодженням, а навесні - з таненням снігу). Велике альбедо снігу призводить до посилення розсіяної радіації і тим самим збільшує сумарну радіацію і освітленість [2].

В якості стандартного (базового) періоду для оцінювання кліматичних змінних, що характеризують поточний або сучасний клімат, за рекомендацією Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) використовується період в 30 років, зокрема 1961-1990 рр. В даний час продовжують використовувати даний період в якості базового, і середнє саме цього періоду за замовчуванням називають «нормою», а відхилення від норми - «аномалією».

Відповідно до [3] «Кліматична система» означає сукупність атмосфери, гідросфери, біосфери і геосфери і їх взаємодію.

Таким чином можна стверджувати, що поняття «глобальний клімат» включає в себе характеристики стану режимів температури і вологості, руху, циркуляції потоків в атмосфері і в океані. Об'єднання всіх елементів оболонки нашої планети, таких як атмосфера, океан, суша, біосфера і кріосфера, де відбуваються процеси перерозподілу теплових потоків між різними регіонами і становить її кліматичну систему.

1.2 Мінливість клімату

Спектр змін метеорологічних і океанологічних величин є безперервним; як для більшості неперіодичних процесів, щільність його прямує до нескінченності лише для періодичних складових і їх гармонік - річної та добової компонент. При цьому внесок мінливості, пов'язаної з періодичними процесами, в загальну дисперсію є кінцевим і може бути оцінений для річного та добового ходу, якщо відомі їх амплітуди [4].

Спираючись на класифікацію А. С. Мони́на [5], як на найбільш повну класифікацію коливань метеорологічних і океанографічних параметрів в залежності від їх масштабів, ми прийняли наступну практичну класифікацію масштабів мінливості характеристик кліматичної системи.

1. Мікрометеорологічна мінливість - від часток секунди до хвилин [5].
2. Мезометеорологічна мінливість - від декількох хвилин до годин.
3. Мінливість, відповідна синоптичним процесам, - від кількох годин до двох-трьох тижнів. Усередині цього інтервалу масштабів можливо індивідуальне прогнозування і опис основних синоптичних об'єктів, які характеризують погоду і її зміни. За верхню межу інтервалу часто приймають масштаб передбачуваності індивідуальних синоптичних процесів, який оцінюється в два-три тижні [5].
4. Кліматична мінливість - від трьох тижнів до декількох десятиліть. Мінливість цього масштабу, прийнятого нами за внутрішній тимчасовий масштаб кліматичної системи, характеризує внутрікліматическіє коливання, або кліматичну мінливість, або флуктуації клімату. Верхню межу масштабу кліматичної мінливості в багатьох практичних випадках доцільно прийняти рівною інтервалу близько трьох десятиліть. Зокрема, інтервал 30 років прийнятий ВМО за стандартний період для оцінки «кліматичних норм» (з 1961 по 1990 р в даний час) [5].

Масштаби більше десятиліть характеризують зміни клімату. У цій області також доцільно ввести додаткові групи часових масштабів.

5. Міжвікова мінливість.
6. Мінливість типу малого льодовикового періоду.
7. Мінливість, відповідна льодовиковим періодам [5].

У програмі КЛІВАР (CLIVAR), яка є основним компонентом Всесвітньої програми досліджень клімату, як об'єкт досліджень названа кліматична мінливість, що відповідає наступним трьом інтервалам часу [4]:

- від сезону до року (Seasonal to Interannual);
- від року до десятиріччя (Annual to Decadal);
- від десятиліття до сторіччя (Decadal to Centennial).

Таким чином, мінливість, відповідна інтервалу часу від трьох тижнів (межа передбачуваності) до трьох місяців (сезон), традиційно представляє собою об'єкт довгострокових прогнозів погоди або прогнозів короткоперіодних коливань клімату, не включена в КЛІВАР [4].

Короткоперіодні коливання клімату (Short-term Climate Oscillations) грають найважливішу роль у формуванні сезонних кліматичних аномалій в помірних широтах [4].

Зміни клімату від одного періоду до іншого можуть оцінюватися як різниця кліматичних змінних, що характеризують клімат кінцевого і початкового періодів, або як тенденції змін кліматичних змінних всередині досліджуваного інтервалу часу. Слід підкреслити, що клімат характеризує стан реальної кліматичної системи. Відповідно, виявлені зміни клімату можуть вважатися реальними (відповідають дійсності), якщо їх величина перевершує ймовірну помилку обчислення відповідних кліматичних змінних.

Як характеристики змін клімату за певний інтервал часу використовується коефіцієнт лінійного тренда, оцінений методом найменших квадратів. Він характеризує середню швидкість змін досліджуваної гідрометеорологічної величини на заданому інтервалі часу. В якості міри суттєвості тренда використовується частка дисперсії змінної, яка

пояснюється трендом. Вона виражається у відсотках від повної дисперсії за розглянутий інтервал часу [5].

Статистична значимість тренда оцінюється в рамках прийнятої стохастичної моделі клімату (гіпотези) з використанням 1% - або 5% -го рівня значущості. Іноді вказується критичний рівень значущості, тобто найменший рівень значущості, при якому відкидається гіпотеза про відсутність тренду. Зміна клімату вважається статистично значущою, якщо вона перевершує заданий рівень значимості [5].

Як і клімат, зміни клімату можуть оцінюватися для заданої географічної області або для земної кулі в цілому. Зміна станів кліматичної системи відбувається під впливом внутрішньої динаміки і взаємодії її компонентів, а також зовнішніх впливів, таких, як виверження вулканів, зміни сонячного випромінювання і орбітальних параметрів Землі, антропогенні збурювання. До останніх відносяться, наприклад, зміни хімічного складу атмосфери в результаті діяльності людини, зміни землекористування тощо [6].

Таким чином, зміни клімату можуть бути наслідком як природних внутрішніх і зовнішніх причин, так і наслідком людської діяльності. У Статті 1 РКЗК ООН «зміна клімату» визначається вужче як «зміна клімату, яке прямо або побічно приписується людської діяльності, яка змінює склад глобальної атмосфери, і є добавкою до природної кліматичної мінливості для порівнюваних періодів часу». Тим самим РКЗК ООН розрізняє «змінами клімату», які приписуються людської діяльності, яка змінює склад атмосфери, і «кліматичної мінливістю», приписується впливу природних причин [3].

Дослідження сучасних змін клімату повинні дати відповіді на наступні питання:

- 1) які зміни дійсно відбуваються;
- 2) наскільки добре ми розуміємо минулий і сучасний клімат і спостережувані (виявлення за спостереженнями) зміни клімату;

3) які зміни клімату мають бути в майбутньому.

Основним методом виявлення змін клімату є статистичний аналіз всіх накопичених за історичний період даних спостережень. Відповісти ж на друге і третє питання - про те, які причини виявлених змін і які зміни клімату мають бути в майбутньому, - може допомогти тільки дослідження кліматичних процесів за допомогою фізико-математичного моделювання глобального клімату.

Таким чином, для наукового аналізу стану клімату, кліматичної мінливості і зміни клімату можуть використовуватися будь-які кліматичні змінні, для оцінки відхилень від середніх - будь-які базові періоди (не тільки тридцятирічні), а для оцінки змін і мінливості клімату - все накопичені за історичний період дані спостережень. Важливо тільки в явному вигляді вводити точні визначення і дотримуватися їх при описі результатів.

1.3 Сучасні кліматичні зміни

Мінливість є однією з основних властивостей і одночасно характеристик клімату. Як свідчать спостереження і дослідження, домінуючою тенденцією зазначеної мінливості за останні більш ніж півтора століття є глобальне потепління: з 1970 по 2015 р середня глобальна температура збільшилася на 0,77 °C (рис. 1.1).

Вивчення клімату з цифрами в руках показує, що регіональні відхилення від загального напрямку змін можуть бути дуже значні. На тлі глобального потепління, яке, в основному, визначається тропічними районами океанів (приблизно половина площі Землі), є значні райони, де зимові температури можуть знижуватися останні 20-25 років, як в Сибіру, або підвищуватися ще швидше, як в Арктиці. Більш того, прискорення змін

клімату, що спостерігається останнім часом, призводить до все більш незвичайним аномалій погоди.

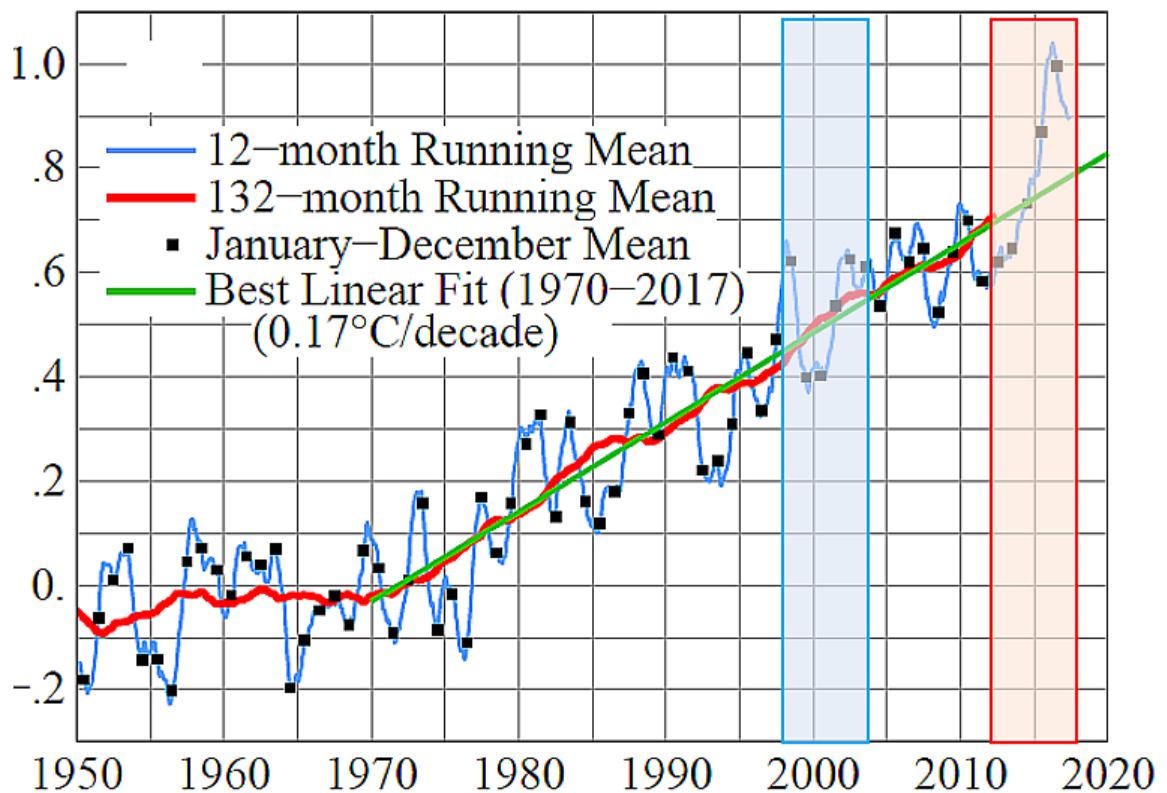


Рис. 1.1 – Глобальні аномалії приповерхневої температури повітря (до листопада 2017 р.) [7]

На рис. 1.2 видно величезні (до 20 °C вище норми) зимові аномалії тепла в Арктиці і Європейської Росії і настільки ж величезні (до 20 °C нижче норми) аномалії холоду в Америці в кінці 2017 р.

З цього ж малюнка видно, що великі відхилення погодних умов від звичайних для даного сезону і даного району охоплюють лише обмежену територію і обмежений часовий інтервал.

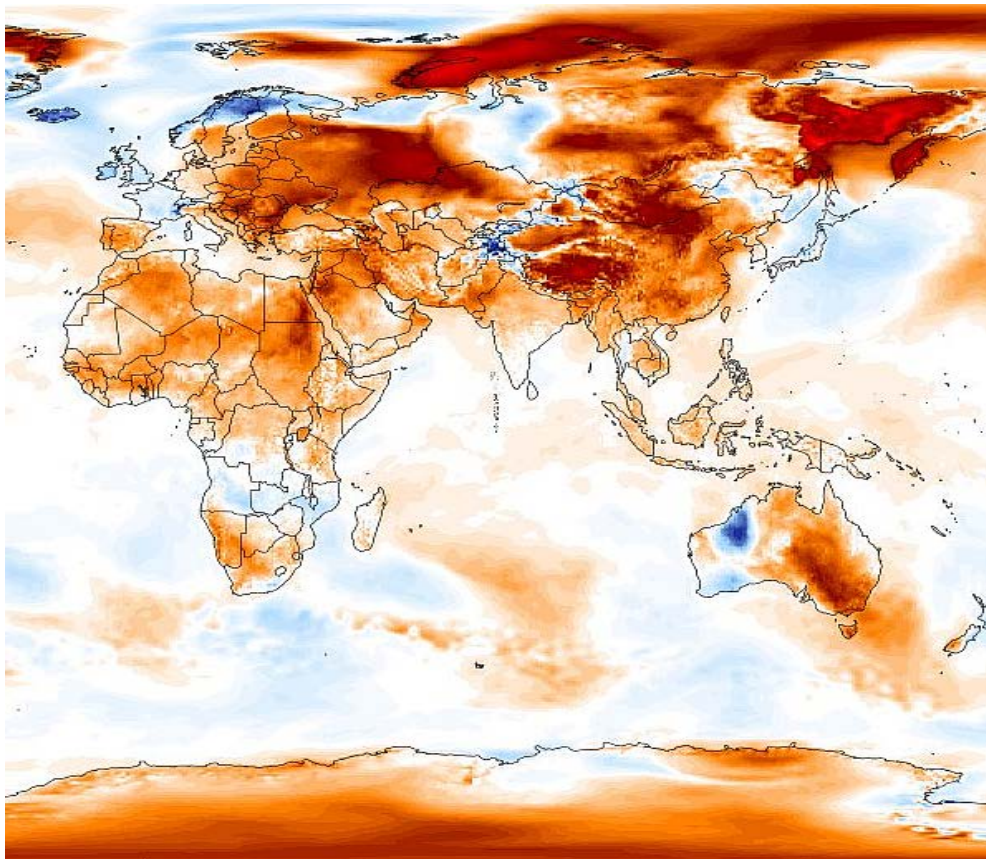


Рис. 1.2 – Аномалії погоди (температура повітря) за даними CSFR-системи засвоєння даних на кінець грудня 2017 року.

Зміни клімату - це дуже повільний процес і в більшості районів світу все ще малопомітний на тлі міжрічних аномалій погоди. Зміни клімату в першу чергу помітні там, де і сама погода дуже мало змінюється, тобто над океанами в тропіках. Однак наочна демонстрація цього процесу ускладнена.

Рисунок 1.3 наочно демонструє ці проблеми. Дослідження громадської думки продемонстрували, що люди набагато охочіше погоджуються з думкою кліматологів про глобальне потепління, якщо вже на їх пам'яті, екстремально теплі роки траплялися не так давно.

Абсолютно вірно, що клімат змінювався і в минулому, змінюється в даний час і стане змінюватися в майбутньому, в тому числі, і з причин, що не залежать від людини.

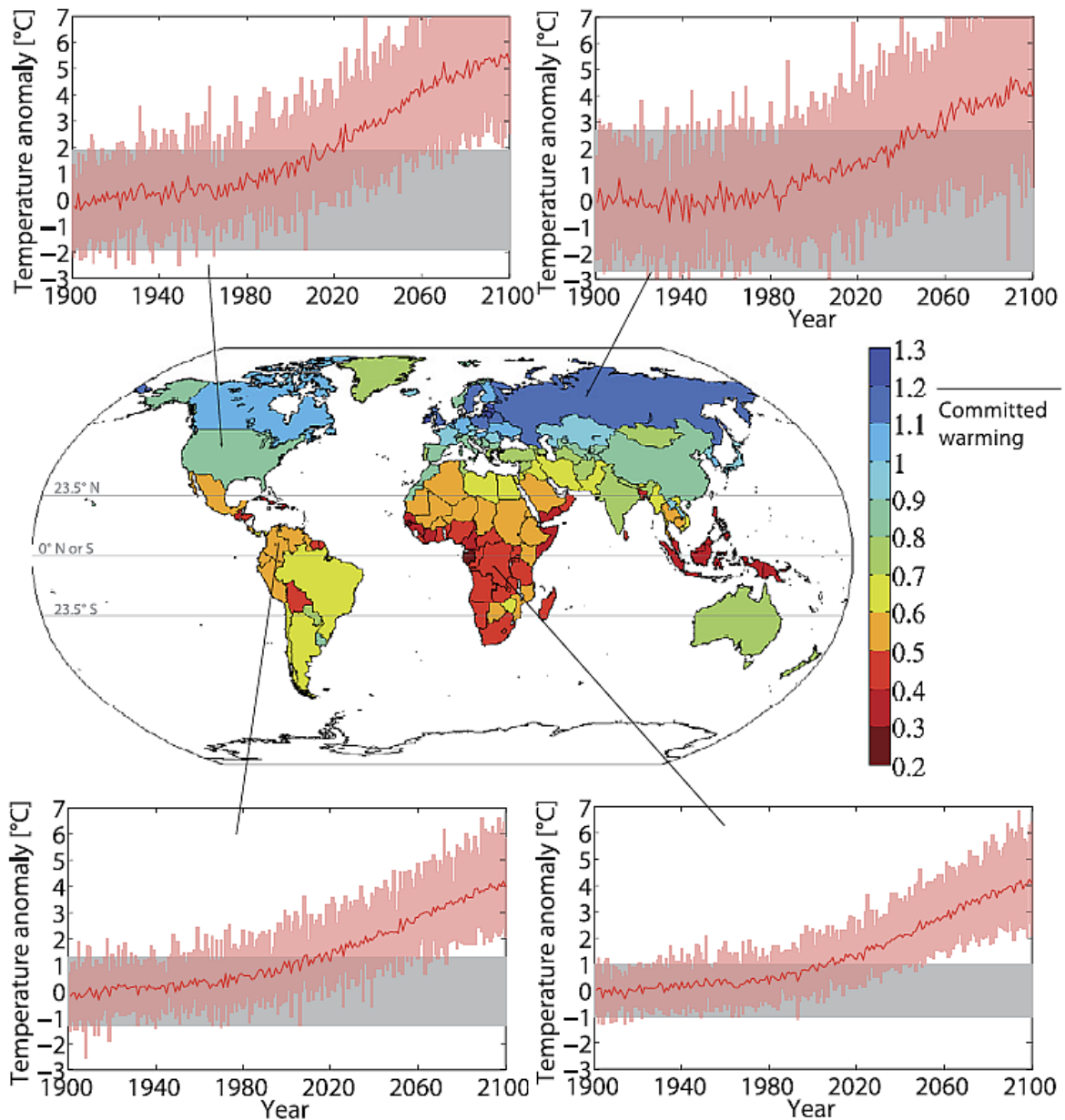


Рис. 1.3 – Очікуваний рік, коли перевищення спостережуваних кліматичних аномалій стане очевидно сторонньому спостерігачеві [8]

Дійсно, були на Землі періоди, коли температура була сильно нижче і сильно вище сучасної (рис. 1.4). Навіть відносно недавно, останній міжльодовиковий період був набагато тепліше сучасного клімату. Більш того, навіть і в наш міжльодовиковий період, під час оптимуму, температури були вище.

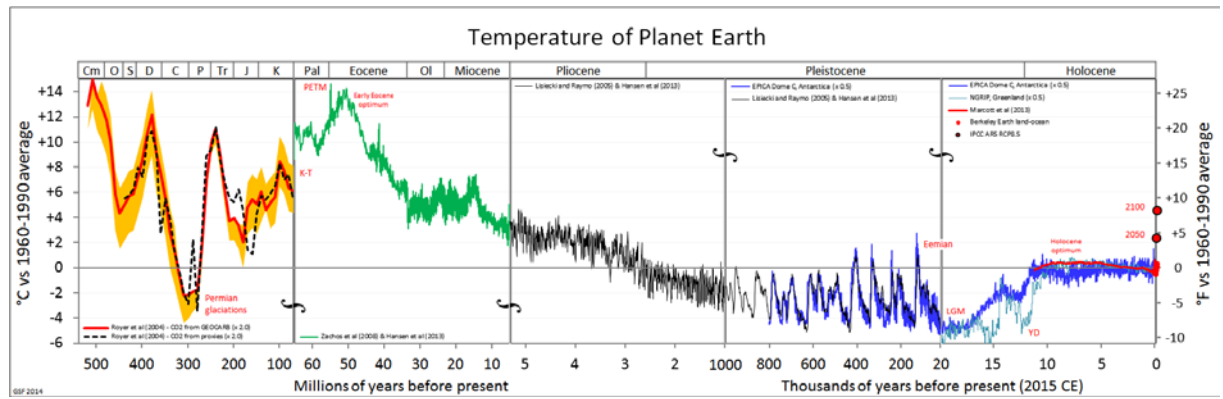


Рис. 1.4 – Зміна глобальної температури поверхні Землі за останні 550 мільйонів років [9]

На перший погляд, у світлі глобального підвищення температури, ніякої небезпеки немає. В реальності ж в справу втручається економіка і геополітика. Світ поділений на країни, і в кожній країні є міста, дороги, землеробство, та й весь спосіб життя, пристосовані до клімату, який є зараз. Погіршення умов життя, стихійні лиха і навіть відносно невеликі зрушення кліматичних норм ведуть до необхідності розплачуватися великою шкодою і новими капіталовкладеннями, а часто і життями.

Цікавий приклад ми бачимо в Норвегії. Значна частина електроенергії виробляється на гідроелектростанціях. В горах побудовані великі водосховища, в яких з періоду осінніх дощів тримають воду, щоб в достатку виробляти електроенергію взимку, коли вода накопичується у вигляді снігу, а попит на енергію найбільший. Тому, до кінця жовтня, коли в горах лягає сніг, водосховища повні по вінця. В результаті потепління, дощі, а не сніг, все частіше йдуть в листопаді і грудні. Воду доводиться скидати. Протягом ряду останніх років дощів в листопаді було настільки багато, що скидання води призводило до масових руйнувань доріг і будівель. Збиток восени доповнювався збитком навесні, коли через нестачу снігу не вистачало електрики, і підприємства були змушені зупиняти виробництво, так як купувати енергію зі Швеції занадто дорого [10].

2 СУЧАСНІ ТЕОРІЇ ЗМІНИ КЛІМАТУ

Проблема глобальних і регіональних змін навколишнього середовища і клімату стала в даний час як ніколи актуальною у зв'язку з дедалі більшим впливом антропогенних факторів, в тому числі з триваючим зростанням концентрації CO₂ та інших парникових газів в атмосфері. За сучасними уявленнями клімат відображає фізичний, хімічний і біологічний стан компонентів земної кліматичної системи (атмосфери, океану, суші, кріосфери, біоти) і тому для розуміння його мінливості необхідна оцінка динаміки їх параметрів. По суті поняття кліматичної системи стає зараз адекватним поняттю навколишнього природного середовища. Тому ті глобальні і регіональні зміни, головним чином антропогенного характеру, які в останні роки відбуваються в навколишньому середовищі, безсумнівно, повинні знайти відгук і в стані клімату.

В роботі [11], присвяченому аналізу сучасного стану - проблеми зміни клімату, наголошується, що в даний час неможливо достовірно передбачити клімат майбутнього через складність інтерактивної багатокомпонентної кліматичної системи, що включає як внутрішньо обумовлені, так і зовнішні впливи.

Велика увага в останні роки стало приділятися природним і соціально-економічним наслідків глобальних і регіональних змін клімату [12]. І для цього є всі підстави. Досить нагадати, що в 1998 році, коли позитивна аномалія середньорічний глобальної температури повітря досягла максимуму (0,58 °C - відхилення від середньої обчисленої за період 1961-1990 рр.) І явище Ель-Ніньо стало одним з найсильніших, був встановлений рекорд економічних втрат від стихійних лих, пов'язаних з погодними явищами - близько 90 млрд. доларів США, що майже на 50% перекрыло попередній рекорд, встановлений в 1996 р [13]. В наступні роки потепління не припинилося.

Серед низки глобальних наукових проблем на перше місце поставлено парникову потепління клімату. Згідно з новітніми розрахунками з використанням глобальних кліматичних моделей, протягом ХХІ ст., Якщо концентрація CO_2 подвоїться [14], середня глобальна температура повітря може підвищитися на 1,8 - 4,6 °С.

Проблема змін клімату - одна з ключових глобальних проблем ХХІ століття. За останнє сторіччя глобальна приповерхнева температура зросла на 3/4 градуса. Відбувається прискорення глобального потепління. Так, за останні півтора століття в цілому потепліло зі швидкістю менше 0,05 К за десятиліття, за останні півстоліття - зі швидкістю 0,13 К за десятиліття, за останні чверть століття - зі швидкістю 0,18 К за десятиліття. Зараз швидкість глобального середньорічного потепління близько 0,2 К за десятиліття або 2 К в перерахунку на століття - в 3 рази більше, ніж для ХХ століття в цілому.

Зменшення площі морського льоду в Арктичному басейні в вересні (з мінімумом площі арктичного морського льоду в річному ході), за супутниковими даними, з 1979 по 2007 рр. характеризується швидкістю близько 10% за 10 років (понад 70000 км² в рік). У вересні 2007 р загальна площа морських льодів в Арктиці була трохи більше 4 млн. км², тоді як в кінці 1970 і початку 1980-х рр. була менше 7 млн. км² [15].

Згідно [16], якщо парникову потепління у ХХІ ст. відбудеться, то катастрофою для біосфери буде сама його швидкість. Відповідність біотичної зональності по відношенню до кліматичної буде порушено. Кліматичні зони в перші десятки років можуть зміститися на північ до 300 км, а адаптовані до клімату ХХ ст. лісові та степові біоценози виявляться в чужої їм обстановці за умовами зволоження і за характером ґрунтів. Це буде виключно сильним стресом і для біосфери, і для економіки в цілому, наслідки якого ще ніхто не досліджував.

Як було відзначено вище, клімату (по його природі) властиво змінюватися. Зміни клімату Землі відбуваються в результаті дії різних природних причин, таких як:

- зміна розмірів і взаємного розташування материків і океанів,
- зміна світимості сонця,
- зміни параметрів орбіти Землі,
- зсування прозорості атмосфери і її складу в результаті змін вулканічної активності Землі,
- зміна концентрації CO₂ в атмосфері при взаємодії з біосферою,
- зміна відбивної здатності поверхні Землі (альbedo),
- зміна кількості тепла, наявного в глибинах океану [17].

Факти зміни клімату в минулому багато разів і надійно встановлені. Про кліматичних умовах минулого можна судити по приросту деревини, за відомостями про кордон полярних льодів, про стан гірських і покривних льодовиків, а також за ізотопним складом донних відкладень і т.п.

Головною характеристикою клімату є температура в приземної частини атмосфери. Палеокліматичні дані, дані прямих вимірювань за останні 250 років і непрямі дані, отримані за швидкістю зростання дерев і даними про рослинність (спори, пилок, насіння), наочно показують, що поточна зміна температури не є чимось унікальним в історії людства. Був середньовічний максимум, коли Гренландію назвали зеленої землею. Були і льодовикові періоди, а за часів динозаврів було приблизно на 7 градусів тепліше, ніж зараз [17].

2.1 Астрономічні причини кліматичних змін

Зараз багато говориться про астрономічні причини зміни клімату. До них відносяться зміна світимості Сонця і зміна орбіти Землі. Вважається, що за останні 5 млрд років світність збільшилася на 25%. Однак за останній геологічний період - плейстоцен (тривалість близько 2 млн років) - зміною світності можна знехтувати. Звичайно, можливі короткострокові посилення

світності, є дані про таке явище в XX столітті. Зокрема, вчені з Пулковської обсерваторії під Петербургом говорять про ефект «перегрітої сковорідки», коли посилення світності вже пройшло, а температура Землі ще не впала.

Якби у нас не було інших, більш явних і сильних ефектів, насамперед різкого зльоту концентрації CO₂ в атмосфері, то короткострокове посилення світності могло б дати чималий внесок у зміну клімату. Втім «сковорідка» повинна остигати, а температура і зміни клімату ставати менше і менше, що, на жаль, суперечить спостереженням. Можна припустити, що період спостережень ще не настільки довгий і спад температури не виявився. Тоді в самому найближчому майбутньому зміни підуть на спад. Однак на це мало шансів, антропогенний посилення парникового ефекту досить значно.

Зміна орбіти Землі зумовило головну кліматичну особливість останніх мільйонів років - циклічне повторення холодних льодовикових періодів, коли заledenіння глибоко проникало в помірні широти, і більш коротких теплих міжльодовикових. Зрозуміло, прямих метеорологічних даних про цей період немає, але дослідження палеогеографічними методами, включаючи аналіз складу колонок осадів з дна Світового океану, аналіз складу пухирців повітря в керна льоду в Антарктиді і інші непрямі дані, дозволили в головних рисах досить надійно уявити історію клімату Землі. У 2006 році в Антарктиді вчені добурилися до глибини, що відповідає віку 650 тис. років.

Виявилося, що кліматичні зміни в Північній і Південній півкулях відбувалися практично синхронно, тобто викликалися однією причиною. Головний кліматичний цикл мав тривалість близько 100 тис. років, на який накладаються інші коротші, але менш інтенсивні цикли тривалістю близько 40 і 20 тис. років. Всього за останній мільйон років зазначалося близько 10 змінювали один одного льодовикових і міжльодовикових епох. Нині в кліматичному відношенні - це черговий міжльодовиковий період, який почався 9-10 тис. років тому.

З багатьох астрономічних теорій зміни клімату випробування часом витримала лише одна - це теорія, розроблена в першій половині XX століття

югославським вченим Мілутіном Міланковичем. Її розробкою він займався все своє життя, і остаточний варіант теорії опублікував в 1938 р Суть її полягає в тому, що рух Землі навколо Сонця відбувається по слабо еліптичній орбіті і збурюється Місяцем та іншими планетами сонячної системи, що постійно міняють своє взаємне розташування. В цілому річна кількість тепла, що надходить до Землі, від цього не змінюється, але при цьому змінюється кількість тепла, що приходить в різні сезони року до різних широтних зон. Цей, здавалося б, слабкий тепловий імпульс, очевидно, грає роль «спускового гачка», тобто запускає ланцюг кліматичних змін, що призводять до сильної мінливості клімату з виникненням льодовикових епох. Чим більше на полюсах білих льодів і снігу, тим вони сильніше відбивають сонячну радіацію, тому там стає ще холодніше, заледеніння розширюється, що ще сильніше знижує прогрів поверхні Землі. Підкреслимо роль «спускового гачка»: малі зміни в розподілі тепла по широтним зонах призводять до дуже різкого ефекту.

Переконаливість теорії Міланковича ґрунтується на чіткій відповідності розрахованих на її основі вже названих періодів коливань клімату приблизно в 100, 40 і 20 тис. Років, а також факти за останні 500 тис. Років історії Землі, виявлених науковими вимірами (рис. 2.1). Для перекладу температурної кривої в радіаційну вгорі рис. 2.1 наведено масштаб. Суцільні потовщені і тонкі криві представляють зміни температури відповідно літнього та зимового півріч; точкові криві - найтеплішого місяця, штрихові криві - найхолоднішого місяця.

Завдяки тяжінню, яке чинять Сонце і Місяць на екваторіальний пояс Землі, вісь її обертання робить дуже повільне круговий рух - осьову прецесію, описуючи повне коло за 26 тис. років. Незалежно від циклу осьової прецесії нахил земної осі (її кут з вертикаллю), в середньому рівний $23,5^\circ$, періодично змінюється в бік збільшення і зменшення на пів градуса.

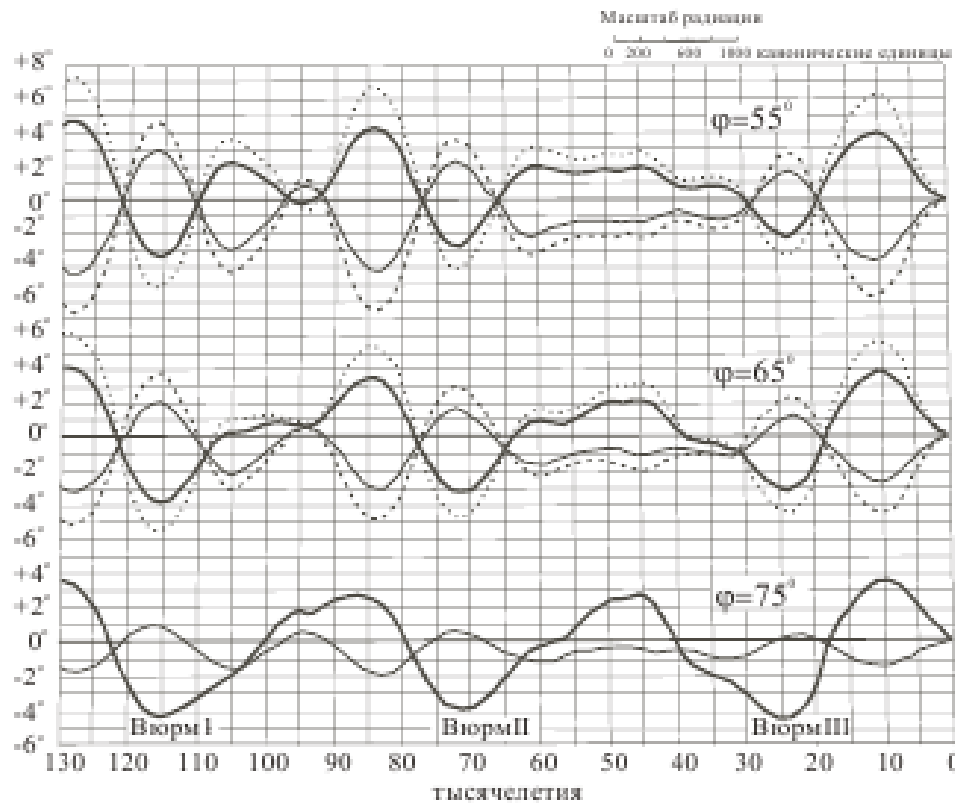


Рис. 2.1 – Криві вікового ходу радіації і температури для різних географічних широт Північної півкулі за останні 130 тисяч років (щодо епохи 1800 року).

Завдяки осьовій прецесії і іншим астрономічним рухам точки рівнодення (20 березня і 22 вересня) і сонцестояння (21 червня і 21 грудня) повільно зміщуються вздовж еліптичної орбіти Землі, роблячи повний оборот приблизно за 22 тис. Років. Наприклад, якщо 11 тис. Років тому зимове сонцестояння мало місце на одному боці орбіти, то тепер воно трапляється на її протилежному боці. В результаті відстань від Землі до Сонця, виміряна 21 грудня, змінюється (рис. 2.2).

Однак сьогодні, поряд з теорією Міланковича з'явилася нова концепція орбітальної теорії палеоклімата (ОТП). Нова концепція істотно доповнює і конкретизує досить загальну початкову гіпотезу про зв'язок глобальних коливань клімату з варіаціями орбітальних елементів.

Вона сформульована таким чином [18]:

1. Ступінь і характер кліматичного впливу варіацій орбітальних елементів залежать від глобального палеокліматичного стану Землі (від

термоери до гляціоери), що визначається швидше за все як земними, так і космічними причинами.

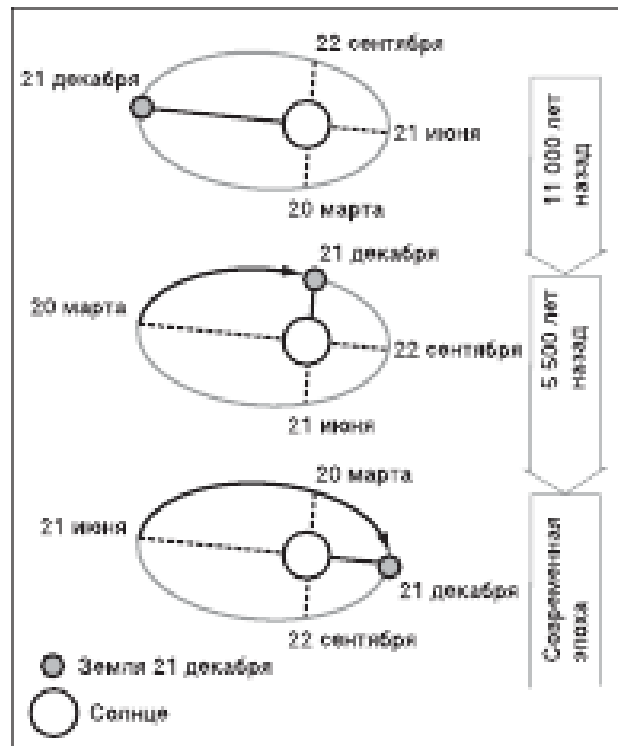


Рис. 2.2 – Зміна дат сонцестояння

2. Визначення кліматичної значущості варіацій кожного з трьох орбітальних елементів вимагає врахування специфіки безперервних у часі і просторі змін інсоляції, а також одночасного обліку і більш точної розробки механізмів земних кліматичних зворотних зв'язків, за допомогою яких орбітальні сигнали трансформуються в глобальні кліматичні зміни.

Нова концепція зосереджена на виявленні головних чинників, що визначають кліматичну значимість варіацій орбітальних елементів.

Згідно з концепцією Большакова [19], кліматичний вплив орбітально-обумовлених варіацій інсоляції визначається, по-перше, способами трансформації інсоляційного сигналу в глобальні кліматичні зміни (механізмами земних зворотних зв'язків), сама наявність яких залежить від глобального кліматичного стану Землі, тобто змінюється в часі; по-друге, специфікою безперервних у часі і просторі (а не дискретних) варіацій

інсоляції. Звідси випливає важливий висновок, що суперечить загальноприйнятій думці про визначальний вплив пов'язаної з прецесією річної інсоляції на зміни глобального клімату плейстоцену. Він полягає в тому, що кліматичний вплив прецесійної інсоляції мінімальний і що використання кривих середньомісячної або добової інсоляції, в яких переважає прецесійна компонента, для палеокліматичних реконструкцій плейстоцену некоректна.

Нова концепція ОТП дозволяє вперше з єдиних позицій запропонувати несуперечливу картину кліматичних коливань (з періодами від перших десятків тисяч до декількох сотень тисяч років) не тільки четвертинного, але і більш древніх геологічних періодів фанерозою.

Уявлення, розвинені новою концепцією, дають можливість істотно більш простого пояснення синхронності глобальних кліматичних коливань [19].

2.2 Вплив вулканічної діяльності на клімат

Продукти потужних вулканічних вивержень, вступаючи в стратосферу, зберігаються в ній протягом року і більше, змінюючи хімічний склад повітря і впливаючи на радіаційний фон Землі. Подібні виверження дуже впливають не тільки на регіони, прилеглі до них: вони можуть викликати і глобальний ефект, що триває набагато довше самого події, якщо атмосфера насичується великою кількістю частинок попелу і летючих з'єднань.

Шари попелу найбільших доісторичних вивержень представляють хронологічні стратиграфічні горизонти для цілих регіонів і можуть використовуватися в моделях реконструкції напрямків палеовітрів під час вулканічної активності. Шари тефри (пухкий уламковий матеріал, переміщений з кратера до місця відкладення по повітрю) є основою для

прямої кореляції попелом суші і океану, вони досить ефективні в датуванні льодовикових кернів та інших відкладень, в яких присутні ці прошарки. За допомогою вулканічних вивержень (через їх впливу на атмосферу) можна пояснити деякі унікальні нетривалі кліматичні явища, які також слід розглядати в контексті очікуваного глобального потепління (як природний механізм, який може змінювати тривалі кліматичні тенденції на період в декілька років і більше).

Вулканізм відноситься до природних явищ планетарного масштабу, але вулкани на земній поверхні розподілені нерівномірно, тому роль вивержень різних вулканів в прояві тих чи інших кліматичних змін може відрізнятися.

Як це не парадоксально, але до сих пір невідома точна кількість активних вулканів на Землі. Пов'язано це з тим, що періоди спокою окремих вулканів можуть досягати декількох тисячоліть [20]. Крім того, велика кількість вулканічних споруд існує на дні морів і океанів планети. За оцінками різних дослідників, на земній кулі налічується від 650 до 1200 діючих вулканів, які знаходяться в тій чи іншій мірі активності або пасивному стані. Більшість розташовується близько до кордонів літосферних плит або уздовж дивергентних (Ісландія, Рифтова система і т.д.) або конвергентних (острівні дуги і континентальні вулканічні дуги Тихоокеанського регіону) околиць. Географічне розташування таких околиць вказує на те, що активні вулкани розподілені нерівномірно, з переважною концентрацією в низьких широтах (від 20° пн.ш. до 10° пд.ш. - це острови Вест-Індії, Центральна Америка, північ Південної Америки, Східна Африка), а також в середніх і високих північних широтах (30-70° пн.ш.: Японія, Камчатка, Курильські і Алеутські острови, Ісландія) [21].

Будь-який вулкан може сильно впливати на навколишній природний ландшафт в результаті виливу лавових і пірокластичних потоків, сходу лахарів, викидів тефри. Однак існують тільки три типи вивержень, здатних викликати значний глобальний ефект.

1. Виверження вулканського типу в вулканічних острівних дугах. В результаті великих вивержень цього типу утворюються величезні вулканічні стовпи, які привносять пірокластичні частки і гази в стратосферу, де можуть переміщатися горизонтально в будь-якому напрямку. Такі вулкани зазвичай виливають лави андезитового і дацитового складу, а також можуть викидати великі об'єми тефи, що поширюється у вигляді шлейфів на тисячі кілометрів у напрямку вітрів.

2. Виверження з утворенням кальдери в континентальних «гарячих точках». Великі кальдероутворюючі виверження, часто пов'язані з континентальними «гарячими точками», пов'язаними з мантиєю, залишали ті чи інші сліди в геологічному літописі четвертинного періоду. Шари тефри, утворені в результаті вивержень, характеризуються субконтинентальним поширенням, згідно з підрахунками вони покрили територію площею до 2,76 млн км² [21].

3. Найбільші тріщинні виверження. Тріщинні виверження, як правило, невибухові, так як в них залучені базальтові магми, які мають відносно низькою в'язкість. В результаті утворюються великі базальтові покриви, подібні до тих, що були виявлені на плато Декан (Індія) і плато Колумбія, а також в Ісландії або в Сибіру. Такі виверження можуть викидати в атмосферу гігантські обсяги летючих речовин, змінюючи природний ландшафт [21].

Найпомітніше кліматичні ефекти вивержень позначаються на змінах приземної температури повітря і формуванні метеорних опадів, що найбільш повно характеризують кліматоутворюючі процеси.

Температурний ефект. Вулканічний попіл, викинутий в атмосферу під час експлозивних (вибухових) вивержень, відбиває сонячну радіацію, знижуючи температуру повітря на поверхні Землі. У той час, як перебування дрібного пилу в атмосфері від виверження вулканського типу зазвичай вимірюється тижнями і місяцями, летючі речовини, такі як SO₂, можуть залишатися в верхніх шарах атмосфери протягом декількох років [22]. Дрібні частинки силікатної пилу і сірчаного аерозолі, концентруючись в

стратосфері, збільшують оптичну товщину аерозольного шару, що веде до зменшення температури на поверхні Землі.

В результаті вивержень вулканів Агунг (о-в Балі, 1963 г.) і Сент-Хеленс (США, 1980 г.) максимальне зниження температури поверхні Землі, що спостерігалось в Північній півкулі склало менше 0,1 °С. Однак для більш великих вивержень, наприклад Тамбора (Індонезія, 1815 г.), цілком можливе зниження температури на 0,5 °С і більше (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Вплив на клімат вулканічних стратосферних аерозолів [21].

Вулкан	Широта	Дата	Стратосферний аерозоль, Мт	Зниження температури в Північній півкулі, ° С
Експлозивні виверження				
Безіменний	56° півн.ш.	1956	0,2	<0,05
Сент-Хеленс	46° півн.ш.	1980	0,3	<0,1
Агунг	8° півд.ш.	1963	10	<0,05
Ель-Чічон	17° півн.ш.	1982	20	<0,4
Кракатау	6° півд.ш.	1883	50	0,3
Тамбора	8° півд.ш.	1815	200	0,5
Тоба	3° півн.ш.	75 000 р.н.	1000?	Невідомо
Ефузивні тріщинні виверження				
Лакі	64° півн.ш.	1783–1784	~100?	1,0
Роза	47° півн.ш.	4 млн л.н.	6000?	Невідомо

Експлозивні виверження можуть надавати свій вплив на клімат, щонайменше, протягом декількох років, а деякі з них - викликати набагато більш тривалі його зміни. З цієї точки зору найбільші тріщинні виверження також можуть мати істотний ефект, оскільки в результаті цих подій величезний обсяг летких речовин викидається в атмосферу протягом десятиліть і більше [21]. Відповідно, деякі піки кислотності в льодовикових ядрах Гренландії співставні по часу з тріщинними виверженнями в Ісландії.

Під час найбільших вивержень, схожих з тим, що спостерігалось на влк. Тамбора, кількість сонячної радіації, що проходить через стратосферу, зменшується приблизно на чверть (рис. 3). Гігантські виверження, подібні до того, в результаті якого утворився шар тефри, могли скорочувати

проникнення сонячного світла до величин, що складають менше соті частки його норми, що перешкоджає фотосинтезу [21]. Це виверження - одне з найбільших в плейстоцені, і дрібний пил, що був викинутий в стратосферу, мабуть, призвів до майже загальної темряві на великій території протягом тижнів і місяців. Тоді, приблизно за 9-14 діб, було викинуто близько 1000 км^3 магми, а ареал поширення шару попелу перевищив принаймні $5 \cdot 10^6 \text{ км}^2$ [21].

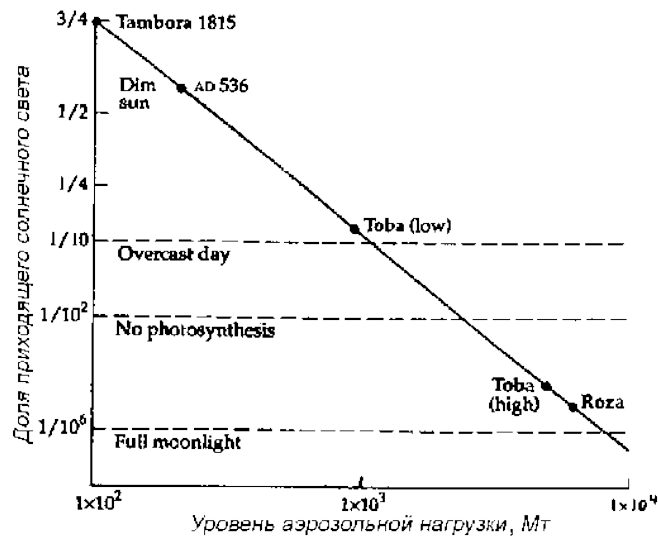


Рис. 2.3 – Оцінки кількості сонячної радіації, що проникає через стратосферний аерозоль і/або пелену дрібного пилу, в залежності від їх маси.

Точки вказують на великі історичні і доісторичні виверження [21].

Інша причина можливого похолодання обумовлюється екрануючим впливом аерозолів H_2SO_4 в стратосфері. Слідуючи [7], приймаємо, що в сучасну епоху в результаті вулканічної і фумарольної діяльності в атмосферу потрапляє приблизно 14 млн т сірки щорічно, при її загальній природній емісії приблизно $14 \div 28$ млн т. Верхня оцінка загальної річної емісії сірки в атмосферу, за умови повного перетворення всіх її оксидів в H_2SO_4 (якщо вважати цю величину незмінною за розглянутий інтервал часу), наближається до мінімальної оцінки прямого надходження аерозолів у вигляді сірчаної кислоти в стратосферу внаслідок виверження вулкану Тоба. Велика частина оксидів сірки тут же потрапляє в океан, формуючи сульфати,

а певна частка сірковмісних газів виводиться шляхом сухого поглинання або вимивається з тропосфери опадами [22].

Очевидно, що виверження вулкану Тоба призвело до багаторазового збільшення кількості довгоживучих аерозолів в стратосфері. Мабуть, найбільш чітко ефект похолодання проявився в низьких широтах, особливо в суміжних регіонах - Індії, Малайзії.

Свідомства вулканічної впливу на клімат протягом десятиліть отримані також при дослідженні деревних кілець і змін обсягів гірських льодовиків. Періоди заморозків в західній частині США, встановлені за допомогою дендрохронології на основі деревних кілець, тісним чином узгоджуються з зафіксованими виверженнями і, ймовірно, можуть бути пов'язані з пеленою вулканічних аерозолів в стратосфері в масштабах одного або двох півкуль [21].

Згідно [23], існує тісний взаємозв'язок між різною товщиною кілець на верхній межі зростання лісів, чутливих до змін температури, профілями кислотності льодів Гренландії і настанням гірських льодовиків Сьєрри Невади (Каліфорнія). Різке зниження приросту дерев спостерігалось протягом року, наступного після виверження (в результаті якого утворилася аерозольна пелена), а зниження приросту кілець відбувалося протягом 13 років після виверження.

Найбільш перспективними джерелами інформації про минулі вулканічні аерозолі є все ж кислотність крижаного керна і сульфатні (кислотні) ряди - через те, що вони містять речові докази атмосферної завантаження хімічними домішками. Оскільки льоди можуть бути датовані на основі їх щорічної акумуляції, то можливе пряме співвідношення піків кислотності в верхніх шарах льоду з історичними виверженнями відомого періоду. При використанні цього підходу ранні піки кислотності невідомого походження також співвідносяться з певним віком [21]. Мабуть, такі потужні виверження в голоцені, як невідомі події, що відбувалися в 536-537 рр. і близько 50 р до н.е., або Тамбора в 1815 р, приводили до явного зниження

сонячної радіації і охолодження поверхні планети на один-два роки, що підтверджується історичними свідченнями [21]. У той же час аналіз температурних даних дозволив припустити, що потепління в голоцені взагалі і в 1920-1930-х роках зокрема обумовлено зниженням вулканічної активності [21, 24,].

Відомо, що один з найбільш ефективних методів дослідження вулканічної діяльності в минулому - це вивчення кислотності і аерозольних включень в крижаних ядрах полярних льодовиків. Попільні шари в них ефективно використовуються в якості часових реперів при зіставленні з результатами палеоботанічних і геологічних досліджень. Порівняння потужності вулканічних відкладів попелу на різних широтах сприяє уточненню циркуляційних процесів в минулому. Відзначимо, екрануюча роль аерозолу в стратосфері проявляється значно сильніше в тій півкулі, де сталася ін'єкція вулканічних часток в стратосферу [24].

Розглядаючи можливий вплив на клімат вивержень, в першу чергу низькоширотних вулканів, або літніх вивержень в помірних або високих широтах, необхідно враховувати і тип вулканічного матеріалу. В іншому випадку це може привести до багаторазові переоцінки теплового ефекту. Так, при експлозивних виверженнях з дацитовим типом магми (наприклад, влк. Сент-Хеленс) питомий внесок в формування аерозолів H_2SO_4 був майже в 6 разів менше, ніж при виверженні Кракатау, коли було викинуто близько 10 км^3 магми андезитового складу і утворилося приблизно 50 млн т аерозолів H_2SO_4 . За ефектом забруднення атмосфери це відповідає вибуху бомб загальною потужністю 500 Мт і має мати істотні наслідки для регіонального клімату [21].

Базальтові вулканічні виверження приносять ще більшу кількість сірковмісних ексгаляцій. Так, базальтове виверження Лакі в Ісландії (1783 г.) з об'ємом лави 12 км^3 призвело до продукування приблизно 100 млн т аерозолів H_2SO_4 , що майже вдвічі перевершує питому продукцію експлозивного виверження Кракатау. Виверження Лакі, мабуть, в якійсь мірі

зумовило похолодання в кінці XVIII в. в Ісландії і Європі. Судячи за профілями кислотності крижаних кернів в Гренландії, які відображають вулканічну діяльність, можна відзначити, що вулканічна активність в Північній півкулі в малий льодовиковий період корелює із загальним похолоданням [21].

Поширена думка: при утворенні атмосферних опадів первинним процесом в природних умовах при будь-яких температурах служить конденсація водяної пари, і тільки потім виникають крижані частки. Пізніше було показано, що навіть при багаторазовому пересичення крижані кристали в абсолютно чистому вологому повітрі завжди виникають внаслідок гомогенної появи крапель з подальшим замерзанням, а не прямо з пара [25].

Експериментально було визначено, що швидкість зародження кристалів льоду в переохолоджених краплях води при гомогенних умовах є функція обсягу переохолодженої рідини, і вона тим нижче, чим менше цей обсяг: краплі діаметром кілька міліметрів (дощові) перед замерзанням охолоджуються до температури $-34\div-35^{\circ}\text{C}$, а діаметром кілька мікрон (хмарні) - до 40°C . Зазвичай температура утворення частинок льоду в атмосферних хмарах багато вище, що пояснюється гетерогенністю процесів конденсації і кристалоутворення в атмосфері через участь аерозолів.

При утворенні крижаних кристалів і їх акумуляції тільки невелика частина аерозольних часток служить льодоутворюючими ядрами, що часто призводить до переохолодження хмар до 20°C і нижче. Аерозольні частинки можуть ініціювати утворення крижаної фази як з переохолодженої рідкої води шляхом заморожування крапель зсередини, так і шляхом сублімації. Дослідження сублімованих снігових кристалів, зібраних в Північній півкулі, показало, що приблизно в 95% випадків в їх центральній частині було знайдено одне тверде ядро (розміром в основному $0,4\text{--}1\text{ мкм}$, складається з частинок глини). При цьому в утворенні крижаних кристалів найбільш ефективні глинисті частинки, вулканічний попел, в той час як морські солі превалюють в хмарних краплях. Подібне розходження може виявитися

важливим при поясненні більш високих швидкостей акумуляції снігу в високих широтах Північної півкулі (в порівнянні з Південним), а також більшої ефективності циклонічного перенесення атмосферної вологи над Гренландією, ніж над Антарктидою [25].

Оскільки найбільш суттєва зміна кількості аерозолів в атмосфері визначається вулканічною діяльністю, після виверження і швидкого вимивання тропосферних вулканічних домішок можна очікувати тривалого випадання з нижніх шарів стратосфери опадів з відносно низькими величинами ізотопних відносин кисню і дейтерію і низьким «первинним» вмістом вуглецю. Якщо таке припущення справедливе, то зрозумілі деякі «холодні» осциляції на палеотемпературній кривій, заснованій на експериментальних дослідженнях полярних крижаних кернів, які збігаються за часом зі зниженням концентрації «атмосферного» CO_2 . Цим частково «пояснюється» похолодання в ранньому дріасі, що проявилось в найбільш явному вигляді в басейні північної Атлантики приблизно 11-10 тис. років тому [26]. Початок цього похолодання могло бути ініційовано різким підвищенням вулканічної активності в період 14-10,5 тис. років тому (р.т.), що відбулося в багаторазовому підвищенні концентрації вулканогенного хлору і сульфатів в крижаних ядрах Гренландії [21].

В областях, прилеглих до Північної Атлантики, це похолодання може бути пов'язано з великими виверженнями вулканів Крижаний Пік (11,2 тис. р.т.) і Ейфель в Альпах (12-10 тис. р.т.). Екстремум похолодання добре узгоджується з виверженням вулкану Веддов 10,6 тис. років тому, попільний шар якого простежується в північно-східній Атлантиці. Безпосередньо на період 12-10 тис. р.т. доводиться також максимум нітратів, зниження концентрації яких збігається з початком потепління після екстремуму похолодання (10,4 тис. р.т.). У Південній півкулі, як відомо, ранній дріас не відмічений зниженням вмісту CO_2 в крижаних антарктичних ядрах і слабо виражений в кліматичних кривих, що узгоджується з більш низькими, ніж в Гренландії, концентраціями вулканогенних аерозолів [26]. Тобто можна

зробити попередній висновок про те, що вулканічна діяльність, крім безпосереднього впливу на клімат, проявляється в імітації «додаткового» похолодання через підвищений кількості снігових опадів [21].

Виходячи із загальної інформації про незрівнянно більш високий (порівняно з Антарктидою) вміст аерозолів як ядер конденсації і кристалізації атмосферної вологи в Гренландії можна очікувати відповідно більшого внеску захоплених опадами компонентів повітря (за рахунок загального зниження рівня кристалізації) в газовий склад льодовиків. Більш висока вулканічна активність в Північній півкулі визначає більший вплив на ізотопний склад льодовикового покриву. Це може проявитися в значному посиленні тут палеоізотопного сигналу, наприклад в ранньому дріасі, в порівнянні з Антарктидою. В останньому випадку можлива імітація окремих кліматичних подій за рахунок «вулканічних» флуктуацій ізотопного складу [21].

В даний час розроблений ряд індексів для оцінки внеску вулканізму в зміни клімату: вулканічний індекс пилової завіси (DVI - Dust Volcanic Index), індекс вулканічної експлозивності (VEI - Volcanic Explosive Index), а також MITCH, SATO і KHM, названі за прізвищами авторів, що їх розраховували [21].

2.3 Парниковий ефект

«Парниковий ефект» зараз не тільки елемент наукових уявлень про формування клімату, але предмет громадського інтересу і політичних дискусій. Останнє пов'язано з уявленнями про його посилення при господарської діяльності та подальшому «небажаному» зміні глобального клімату внаслідок цього.

Згідно [27], парниковий ефект: інфрачервоний радіаційний ефект всіх складових атмосфери, поглинаючих інфрачервоне випромінювання.

Парникові гази, хмари, і (в малому ступені) аерозолі поглинають земне випромінювання, що випромінюється поверхнею Землі і де-небудь в атмосфері. Ці речовини випромінюють інфрачервону радіацію в усіх напрямках, але, за інших рівних умов, результуюча кількість, що емітується в космос, зазвичай менше, ніж могло б бути за відсутності цих поглиначів внаслідок зменшення температури з висотою в тропосфері і ослаблення емісії внаслідок цього.

З іншого боку, серед фахівців-фізиків часто використовується визначення парникового ефекту на Землі [28], засноване на понятті ефективної температури Землі T_e і її відмінність від фактичної температури земної поверхні T . Ефективна температура T_e відповідає потоку L інфрачервоного випромінювання від Землі, який іде в космос, в розрахунку на одиницю земної поверхні. Вона (в градусах Кельвіна) оцінюється відповідно до закону Стефана-Больцмана $L = \sigma T_e^4$, тобто в припущенні про Землю як про чорне тіло. Якщо позначити через T температуру земної поверхні, то різниця $\Delta T = (T - T_e)$ є парниковий ефект. Ефективна температура Землі 249 К (або -24 °C), температура земної поверхні 288 К (або +15 °C), тобто парниковий ефект дорівнює 39 градусам. Відзначимо, що величина T_e визначається сонячною сталою і планетарним альбедо, яке залежить від альбедо земної поверхні і атмосфери.

Це абсолютно чіткий науковий підхід, але, власне, не до визначення, а вже до способу вимірювання парникового ефекту. З цього визначення ніяк не визначається природа явища. Тому в якості загальнодоступного визначення його використовувати проблематично. Крім того, адже ΔT може змінюватися і за рахунок зміни T_e , наприклад, внаслідок зміни світності Сонця, зміни альбедо земної поверхні за рахунок змін в землекористуванні або альбедо атмосфери за рахунок збільшення вмісту деяких аерозолів, що відношення до парникового ефекту не має.

Джон Тіндалл сконструював експериментальну установку, яка мала джерело довгохвильового (інфрачервоного) випромінювання і яка давала

можливість вимірювати поглинання довгохвильового випромінювання різними атмосферними газами. Він виявив, що домінуючі за вмістом атмосферні гази - азот і кисень - практично не поглинають довгохвильове (інфрачервоне) випромінювання, а водяна пара, вуглекислий газ і ряд інших володіють цією властивістю. Таким чином, гіпотеза Фур'є про погану прозорість атмосфери для потоків «земного» тепла отримала експериментальне підтвердження [29].

Арреніус опублікував в 1896 р статтю, в якій розвинув кількісні методи розрахунку зміни приземної температури у відповідь на зміну концентрацій парникових газів в атмосфері на основі поняття коефіцієнта поглинання. Він провів розрахунки змін приземної температури за рахунок зміни концентрації вуглекислого газу. Було показано, що зміна концентрації вуглекислого газу вдвічі призведе до істотної зміни приземної температури - на кілька градусів Цельсія [29].

Уявлення про причини зростання температури атмосферного повітря у напрямі до земної поверхні, що склалися в XX столітті, безсумнівно, сходили до досвіду де Соссюра з геліотермометром і поясненню його результатів Фур'є. Центральними в концепції були поняття променистого теплообміну і променистого рівноваги. Концепцію променистої рівноваги в атмосфері розвинув Якоб Емден. Олександр Фрідман в системі рівнянь для розрахунку вертикального профілю температури в атмосфері Землі використовував підхід Емдена, але розглянув спільно і перенесення променистої енергії, і слабкі вертикальні струми повітря. Результати його теоретичного розрахунку вертикального градієнта температури для рухомої атмосфери на якісному рівні добре відповідали даним вимірювань того часу - градієнту по Вегенера [29].

Теорія переносу випромінювання і променистого теплообміну в атмосфері інтенсивно розвивалася в працях Кузнецова. В тому числі, перенесення випромінювання розглянуто стосовно рухомому середовищі - земній атмосфері, була розвинена математична теорія променистої рівноваги

для середовища кінцевої оптичної товщини, досліджений вертикальний профіль температури для променистої рівноваги.

Уявлення про причини зростання температури атмосферного повітря у напрямі до земної поверхні можна ілюструвати за допомогою рис. 2.4. На цьому малюнку зображено потоки випромінювання двох типів - короткохвильовий (сонячний, умовно з довжиною хвилі $\lambda < 3$ мкм) і довгохвильовий (випромінювання земної поверхні і атмосферних шарів, умовно з довжиною хвилі $\lambda \geq 3$ мкм). Вважається, що від Сонця приходить тільки короткохвильове випромінювання, а земне випромінювання - все довгохвильове.

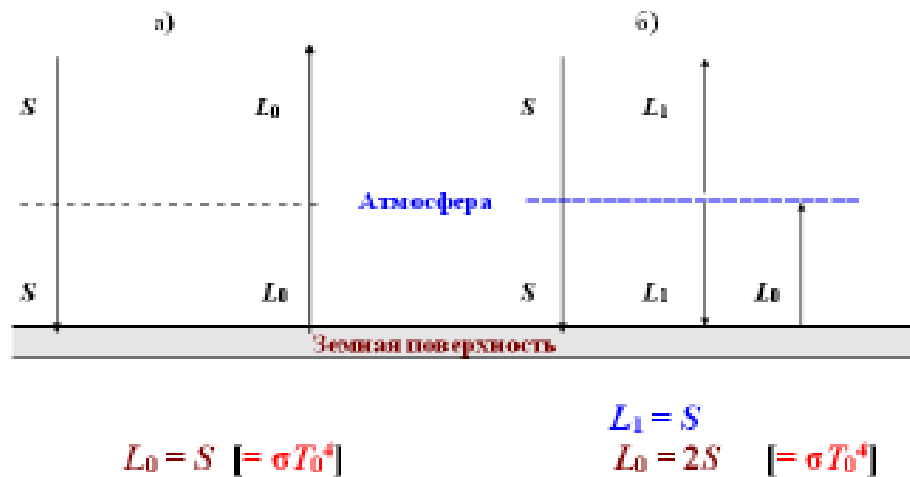


Рис. 2.4 – Ілюстративна радіаційна модель парникового ефекту [29]

На лівій панелі а) атмосфера відсутня. Потік сонячної енергії S (тут і далі потік енергії є кількість енергії в одиницю часу в розрахунку на одиницю площі) безперешкодно проходить через атмосферу і без остачі поглинається земною поверхнею. Він розігріває її до температури T_0 , при якій потік довгохвильового випромінювання земної поверхні $L_0 = \sigma T_0^4$ стане рівним потоку S , тобто при радіаційній рівновазі $S = \sigma T_0^4$.

На правій панелі б) зображена така ж ситуація, але при наявності «тонкої атмосфери», яка без остачі поглинає довгохвильове випромінювання.

«Тонка» означає, що випромінюються нею потоки довгохвильової радіації L_1 однакові в обидві сторони - до земної поверхні і в космос. У стані радіаційної рівноваги $L_1 = S$, оскільки система «земна поверхня + атмосфера» не нагрівається і не охолоджується. А, щоб температура земної поверхні була постійною, необхідно, щоб $L_1 + S = L_0$. Отже, на правій панелі має бути виконано $L_0 = 2S$, тобто при радіаційній рівновазі $2S = \sigma T_0^4$ [29].

Таким чином, при наявності тонкої атмосфери, прозорої для короткохвильового випромінювання і непрозорої для довгохвильового випромінювання, в стані радіаційної рівноваги потік довгохвильового випромінювання від земної поверхні вдвічі більше, ніж за відсутності атмосфери. Відповідно до закону Стефана-Больцмана температура в другому випадку більше, ніж в першому, в ≈ 1.2 рази. Це і є парниковий ефект в розглянутій ілюстративній моделі системи «земна поверхня + атмосфера».

Розглянута схема призводить до наступного простого визначення парникового ефекту як явища в кліматичній системі Землі: радіаційний ефект наявності в атмосфері парникових речовин, що виражається, за інших рівних умов, в підвищенні температури в приповерхневому шарі в порівнянні з ситуацією їх відсутності в атмосфері. Характеристична властивість парникової речовини: вона в набагато більшому ступені поглинає довгохвильове, земне випромінювання, ніж короткохвильове випромінювання Сонця. Такими парниковими речовинами є парникові гази (водяна пара, вуглекислий газ, метан, закис азоту, інші) і вода в формі хмар [29].

Реальна атмосфера Землі, що містить парникові гази - водяну пару (H_2O), вуглекислий газ (CO_2), метан (CH_4), закис азоту (N_2O), озон (O_3) і інші - володіє значними парниковими властивостями. Це показує наступний простий розрахунок, дані для якого взяті з сучасного енергетичного бюджету системи «земна поверхня + атмосфера». До земної поверхні приходить потік короткохвильового випромінювання $184 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$, частина якого $23 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ відображається земною поверхнею. Таким чином, її альbedo дорівнює 0,125.

На верхню межу атмосфери від Сонця приходить потік $341 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$. За відсутності атмосфери і при збереженні цього значення альbedo земна поверхня поглинала б $(1 - 0,125) \cdot 341 = 298,38 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$. У стані радіаційної рівноваги стільки ж випромінювалося земною поверхнею в космос. В даний час випромінюється $396 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$, а температура земної поверхні дорівнює приблизно 288 К. Тоді за відсутності атмосфери відповідно до закону Стефана-Больцмана температура земної поверхні була дорівнювала б $288 \cdot (298,38/396)^{1/4} \approx 268 \text{ К}$, тобто, приблизно, на 20 градусів менше сучасної. Насправді було б ще холодніше, оскільки при похолоданні альbedo земної поверхні збільшується [29].

Відзначимо, що роль парникового ефекту у формуванні клімату Землі неоднозначно оцінювалася багатьма дослідниками навіть в недавньому минулому. Так, згідно [30] зростання температури повітря у напрямі до земної поверхні цілком задовільно описується адіабатою Пуассона, а радіаційний ефект, принаймні в тропосфері, незначний. Можливо, що локально атмосфера буває в такому стані. Але з таким твердженням про стан глобальної атмосфери важко погодитися, оскільки при адіабатичному стані атмосфери тепло не йде конвективним шляхом з земної поверхні і вона безперервно б нагрівалася за рахунок потоку сонячного випромінювання [29].

С. Арреніус, обговорюючи питання про «геологічних» наслідки значних парникових властивостей вуглекислого газу CO_2 , вказував на можливу істотну роль коливань змісту цього газу в атмосфері в змінах приземної температури в геологічному масштабі часу. Його колега А. Хёгбом звернув увагу на те, що сучасні тодішні антропогенні викиди вуглекислого газу в атмосферу можна порівняти з його потоками при емісії, видаленні з атмосфери і депонування при деяких природних геохімічних процесах. Теоретично це могло збагатити атмосферу CO_2 і сприяти глобальному потеплінню. Однак Арреніус вважав, що цей процес антропогенного збагачення атмосфери CO_2 (якщо він реалізується) займе декілька тисячоліть,

тобто, що проблема не актуальна. Його цікавили набагато більші, геологічні масштаби часу і проблема можливого впливу коливань складу атмосфери, зокрема, за змістом CO_2 , на виникнення льодовикових періодів на Землі. За його розрахунками істотне зменшення вмісту вуглекислого газу в атмосфері могло призводити до похолодання клімату Землі і розвитку заледеніння [29].

Багато вчених того часу були скептично налаштовані щодо ролі складу атмосфери в формуванні клімату Землі, зокрема, ролі вуглекислого газу в потеплінні. Кнут Онгстрьом вважав, що можливості вуглекислого газу абсорбувати випромінювання вичерпані при вже тодішніх концентраціях. Так, в досвіді по оцінці поглинання довгохвильового випромінювання CO_2 , проведеному в його лабораторії, було використано менше, ніж в атмосферному стовпі, кількість цього газу. При виконанні такого ж досвіду зі зменшеним на третину кількістю газу було зафіксовано нехтує мала зміна поглинання довгохвильового випромінювання. Це, на думку Онгстрьома, означало, що поглинає здатність CO_2 уже досягає «насичення» при концентраціях, менших природних. Таким чином, її подальше зростання не може мати істотного впливу на температуру. Крім того, аргументом проти істотної ролі посилення парникового ефекту при зростанні вмісту CO_2 в потеплінні клімату було наступне: CO_2 ефективно поглинає випромінювання на тих же довжинах хвиль, на яких ефективно поглинає і водяна пара, якого в атмосфері дуже багато (майже 1%). Це, також інтерпретувалася так, що подальше зростання концентрації вуглекислого газу не може мати істотного впливу на приземну температуру. Стосовно до клімату планети така інтерпретація результатів лабораторних дослідів виявилася невірною. Невеликих змін частки довгохвильової радіації земної поверхні, поглиненої в товщі атмосфери, може відповідати значне збільшення температури земної поверхні [29].

Недостатність (в ті часи) експериментальних даних, в тому числі спектроскопічних, і недостатній розвиток математичного апарату для опису явища призвели до того, що в перші приблизно 40 років XX століття вплив

змін складу атмосферного повітря на глобальний клімат через механізм парникового ефекту не був загально визнаною концепцією, часто піддавався сумніву і в цілому мало приваблював увагу вчених [29].

З кінця 1930-х років можливість антропогенного парникового потепління знову стала привертати до себе увагу дослідників. Гай Стюарт Коліндер опублікував статтю, в якій навів такі оцінки спалювання викопного органічного палива за попередні півстоліття привело до емісії 150 млрд. тон CO_2 , причому, приблизно $\frac{3}{4}$ цієї кількості залишилося в атмосфері. Розрахунки, засновані на коефіцієнті поглинання довгохвильового випромінювання, показали, що внаслідок цього глобальна приземна температура «при ясному небі» в 1930-і роки повинна зростати зі швидкістю $0,003\text{ }^\circ\text{C}$ на рік. З іншого боку, узагальнення даних 200 метеорологічних станцій показало, що за півстоліття, що передували публікації, температура росла із середньою швидкістю $0,005\text{ }^\circ\text{C}$ в рік. Це була перша робота, де говорилося про те, що став помітним антропогенний вплив посилення парникового ефекту на Землі внаслідок збагачення атмосфери парниковими газами в ході господарської діяльності [29].

Розвиток світового господарства з середини XX століття призвів до інтенсифікації спалювання викопного органічного палива (вугілля, нафти, газу) і суттєвого збагачення атмосфери парниковими газами, перш за все CO_2 . Концентрація цього газу зросла за цей період приблизно, з 310 ppm до майже 370 ppm до кінця XX століття і, практично, до 400 ppm до теперішнього часу (ppm (частин на мільйон) або ppb (частин на мільярд) - це відношення кількості молекул парникового газу до загальної кількості молекул сухого повітря, 300 ppm означає 300 молекул парникового газу на мільйон молекул сухого повітря). Актуальність проблеми стала все більш усвідомлюватися, і дослідження парникового ефекту і кліматичних наслідків його антропогенного посилення стали розвиватися.

Увага вчених до проблеми кліматичних наслідків зростання концентрації CO_2 особливо зросла в 1960-х роках. Сукур Манабе і Річард

Траєн Уезеролд досліджували питання про зміну температурного профілю атмосфери при зміні концентрації CO_2 , використовуючи сучасні фізико-математичні методи. Було показано, що подвоєння концентрації CO_2 призведе до глобального потепління в при поверхневому шарі приблизно на 2°C [29].

До цього часу стало ясно, що збагачення атмосфери CO_2 - не єдиний фактор антропогенного парникового потепління. Метан (CH_4), закис азоту (N_2O) і деякі інші парникові гази, поряд з природними джерелами надходження в атмосферу, мають потужні антропогенні. Їх концентрації в атмосфері до кінця XX століття істотно зросли. Ці гази ефективно поглинають земне, довгохвильове випромінювання, в тому числі на тих довжинах хвиль, де у водяної пари є «вікна прозорості», наприклад, від 8 до 12 мкм. Це підсилює природний, базовий парниковий ефект [29].

Концентрації атмосферних парникових газів (ПГ), а саме діоксиду вуглецю (CO_2), метану (CH_4) і закису азоту (N_2O) в 2011 р перевищили діапазон концентрацій, зареєстрованих в льодових кернах за останні 800 тис. Років. Минулі зміни атмосферних концентрацій ПГ визначені з досить високим ступенем достовірності за керна полярного льоду. Часовий період цих зареєстрованих даних був збільшений з 650 тис. до 800 тис. років тому [31].

З вельми високим ступенем вірогідності можна сказати, що сучасні темпи збільшення атмосферних концентрацій CO_2 , CH_4 і N_2O і відповідних підвищень радіаційного впливу є безпрецедентними щодо «найвищого дозволу» даних льодових кернів за останні 22 тис. Років. Існує середня ступінь достовірності того, що темпи зміни спостережуваного підвищення концентрацій ПГ також є безпрецедентними в порівнянні з даних більш низької роздільної здатності за останні 800 тис. років [31].

Для кількох періодів, що характеризуються високими атмосферними концентраціями CO_2 , існує середній ступінь достовірності того, що середня глобальна температура значно перевищувала доіндустріальний рівень. Під

час середнього пліоцену (3,3 - 3,0 млн. років тому) атмосферна концентрація CO_2 становила 350 - 450 ppm, при цьому середня глобальна приземна температура (СГПТ) була на 1,9-3,6 °C вище відповідної температури в період доіндустріального клімату. У ранній еоцен (52 - 48 млн. років тому) атмосферна концентрація CO_2 перевищує 1000 ppm, при цьому СГТП була на 9 -14 °C вище температури доіндустріального періоду [31].

Між 1750 і 2011 pp. викиди CO_2 в результаті спалювання викопного палива і виробництва цементу оцінюються на основі статистики використання енергії та палива і становили 375 [345 - 405] ПгС (1 петаграм вуглецю = 1 ПгС = 10^{15} грам вуглецю = 1 гігатона вуглецю = 1 ГтС. Це відповідає 3,667 Гт CO_2). В період 2002-2011 pp. середні викиди в результаті спалювання викопного палива і виробництва цементу становили 8,3 (7,6 - 9,0) ПгС рік⁻¹, при цьому середні темпи зростання викидів становили 3,2% рік⁻¹ (рис. 2.5). Ці темпи зростання викидів в результаті спалювання викопного палива вище, ніж в 1990-і роки (1,0% рік⁻¹). У 2011 p викиди в результаті спалювання викопного палива і становили 9,5 (8,7 - 10,3) ПгС [31].

Визначення темпів зростання атмосферної концентрації CO_2 до 1959 p засноване на сплайн інтерполяції даних льодових кернів і узагальненні даних атмосферних вимірювань з 1959 p. Інтерполяція даних крижаних кернів не охоплюють значну міжрічну мінливість атмосферного CO_2 і показана переривчастою лінією. Поглинання CO_2 океаном визначається на основі комбінації даних моделювання і спостережень. Залишкове поглинання ґрунтом (показано зеленим кольором на малюнку) обчислено по залишковим значенням інших показників. Викиди і їх розподіл включають тільки потоки, які змінилися з 1750 p, і не включають природні потоки CO_2 між резервуарами атмосфери, суші і океану, які існували до цього періоду часу і все ще існують сьогодні [31].

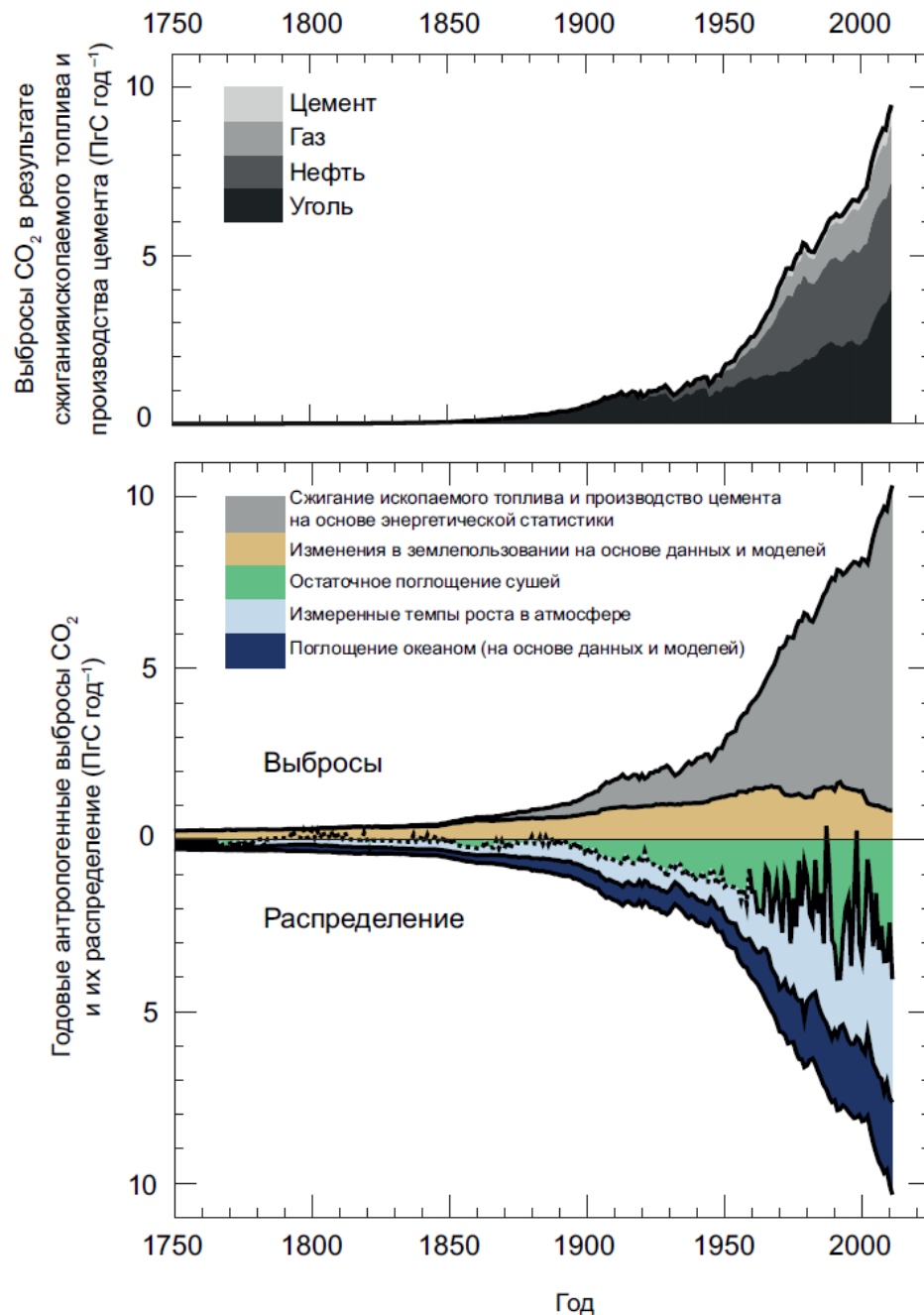


Рис. 2.5 – Річні антропогенні викиди CO₂ і їх розподіл між атмосферою, сушею і океаном (ПГС рік⁻¹) з 1750 по 2011 рр. (верхня частина) Оцінка викидів CO₂ в результаті спалювання викопного палива і виробництва цементу за категоріями, проведена Центром аналізу інформації про діоксид вуглецю (CDIAC) (нижня частина) [31].

Між 1750 і 2011 рр., В результаті змін в землекористуванні (головним чином збезлісення) за оцінками, отриманими на основі даних про ґрунтово-рослинному покриві і моделювання, було викинуто 180 (100 – 260) ПгС рік⁻¹.

Викиди в результаті змін в землекористуванні між 2002 і 2011 рр. відбувалися головним чином через збезліснення тропічних регіонів і оцінюються на рівні 0,9 (0,1 - 1,7) ПгС рік⁻¹, з можливим невеликим зниженням з 1990-х років завдяки заявленим нижчим втратам лісів за це десятиліття. Ця оцінка включає загальні викиди від збезліснення, які становлять приблизно 3 ПгС рік⁻¹ компенсовані приблизно на 2 ПгС рік⁻¹ за рахунок лісовідновлення в деяких регіонах, головним чином на занедбаних сільськогосподарських землях [31].

З 555 (470 – 640) ПгС, викинутих в атмосферу в результаті спалювання викопного палива і землекористування в період з 1750 по 2011 рр., 240 [230 - 250] ПгС акумулювалось в атмосфері, згідно з оцінками дуже високої точності, після спостережуваного збільшення атмосферної концентрації CO₂ з 278 [273 - 283] ppm10 в 1750 р 390,5 (390,4 - 390,6) ppm в 2011 р Кількість CO₂ в атмосфері зросла на 4,0 (3,8 - 4,2) ПгС рік⁻¹ в першій декаді XXI століття. Розподіл спостережуваного збільшення CO₂ в атмосфері по широтам чітко показує, що збільшення обумовлене антропогенними викидами, які здійснюються в першу чергу промислово розвиненими країнами, розташованими на північ від екватора. На основі середньорічних концентрацій, станції в північній півкулі показують дещо вищі концентрації, ніж станції, що знаходяться в південній півкулі. Незалежні докази антропогенного походження спостережуваного підвищення змісту CO₂ в атмосфері засновані на спостережуваному послідовному зменшенні вмісту кисню (O₂) в атмосфері і зменшенні стабільного ізотопного відношення CO₂ (13C/12C) в атмосфері (рис. 2.6).

Залишок вуглецю, що викидається в результаті спалювання викопного палива і землекористування, був повторно поглинений океаном і наземними екосистемами. Завдяки значній узгодженості незалежних оцінок, проведених з використанням різних методів і наборів даних, можна сказати, що глобальний запас антропогенного вуглецю в океані, збільшився з 1994 по 2010 рр. У 2011 р, згідно з оцінками він становив 155 (125 – 180) ПгС [31].

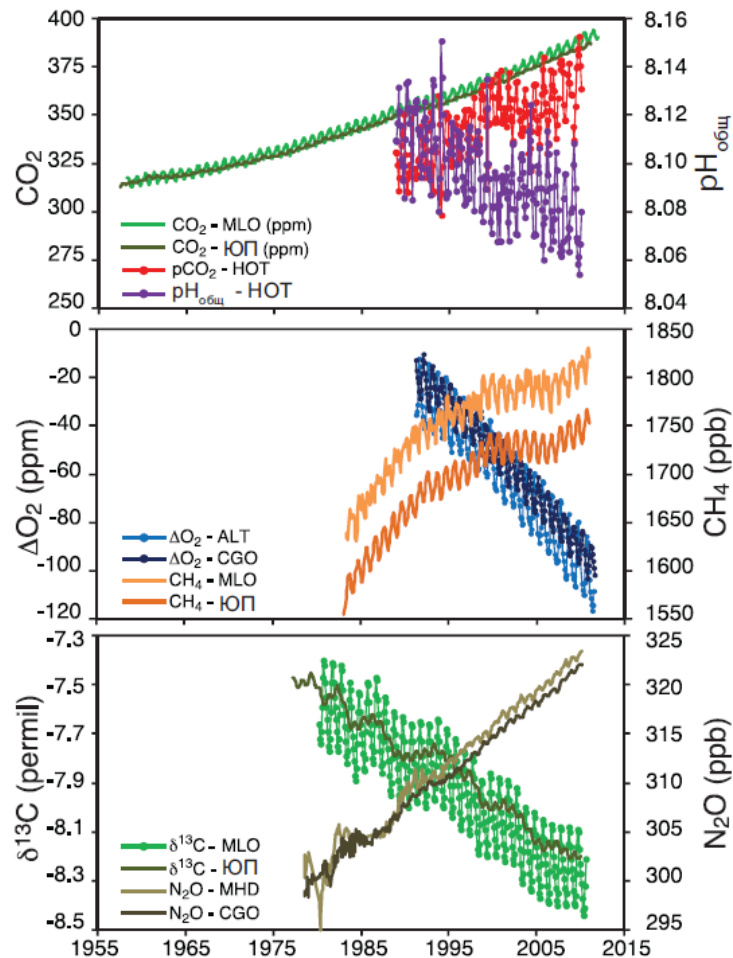


Рис. 2.6 – Атмосферні концентрації CO₂, кисню, відношення стабільного ізотопу ¹³C/¹²C в CO₂, а також атмосферні концентрації CH₄ і N₂O і дані спостережень за парціальним тиском CO₂ на поверхні океану (pCO₂) і pH, зареєстровані як репрезентативні тимчасові ряди даних на станціях в Північній і Південній півкулях [31].

MLO: обсерваторія Мауна-Лоа, Гаваї;
 ЮП: Південний полюс;
 HOT: Гавайська станція Ocean Time-Series;
 MHD: Мейс-Хед, Ірландія;
 CGO: Кейп-Грим, Тасманія;
 ALT: Алерт, Північно-західні території, Канада.

Темпи річного глобального поглинання океаном, розраховані по незалежним наборам даних (на основі змін запасу антропогенного вуглецю в океані, вимірювань відношення атмосферного кисню до азоту (O₂/N₂) або даних про парціальному тиску CO₂ (pCO₂)) і для різних часових періодів, узгоджуються друг з одним в рамках своїх невизначеностей і, досить

імовірно, знаходяться в межах від 1,0 до 3,2 ПгС рік⁻¹. Регіональні спостереження темпів накопичення антропогенного вуглецю в океані значною мірою узгоджуються з очікуваними темпами, пов'язаними з підвищенням атмосферних концентрацій CO₂, але зі значними просторовими і часовими варіаціями [31].

Природні наземні екосистеми (на які зміни в землекористуванні не впливають) за оцінками, отриманими на основі різниці змін в інших резервуарах, накопичили 160 (70 – 250) ПгС між 1750 і 2011 рр. Приріст маси вуглецю в природних наземних екосистемах відбувається, згідно з оцінками, в результаті поглинання CO₂ головним чином в ході більш активного процесу фотосинтезу при більш високих рівнях CO₂, а також підвищеного відкладення азоту і збільшення тривалості вегетаційного періоду в середніх і високих широтах. Природні стоки вуглецю варіюються в залежності від регіону в результаті фізичних, біологічних і хімічних процесів, що відбуваються в різних часових масштабах. Надлишок атмосферного CO₂, поглиненого земними екосистемами, накопичується у вигляді органічної речовини в різних вуглецевих пулах - від короткоживучих (листя, тонкі коріння) до довгоживучих (стебла, ґрунтовий вуглець) [31].

Абсорбція океаном антропогенного CO₂ призводить до поступового закислення океану. З початку індустріальної ери рН поверхневого шару океану знизився на 0,1, що відповідає підвищенню концентрації іонів водню на 26%. Спостережувані діапазони трендів рН складають від -0,0014 до -0,0024 в рік для поверхневих вод. На глибині океану природні фізичні та біологічні процеси, а також поглинання антропогенного CO₂ можуть викликати зміни рН за десятиліття і в більш тривалих часових масштабах [31].

Концентрація CH₄ збільшилася в 2,5 рази з доіндустріальних часів, а саме з 722 (697 – 747) ppb в 1750 р до 1803 (1799 – 1807) ppb в 2011 р (рис. 2.6). Існує досить висока ступінь достовірності того, що збільшення CH₄ в атмосфері в ході індустріальної ери відбулося в результаті антропогенної

діяльності. Величезне збільшення числа жуйних тварин, викиди, пов'язані з видобутком і використанням викопного палива, збільшення площ рисових полів і викиди зі звалищ сміття і відходів є домінуючими антропогенними джерелами CH_4 . На частку антропогенних викидів припадає від 50 до 65% загального обсягу викидів. При додаванні природних геологічних викидів CH_4 , які не враховувалися в попередніх бюджетах, компонент викопного палива в загальних викидах CH_4 (тобто антропогенні викиди, пов'язані з витоками в індустрії, що працює на викопному паливі, і природними геологічними витоками) в даний час за оцінками становить близько 30% загальних викидів CH_4 [31].

В останні десятиліття зростання вмісту CH_4 в атмосфері був непостійним. Концентрації CH_4 були відносно стабільними протягом приблизно десятиліття в 1990-х роках, але потім в 2007 р знову почався їх ріст. Точні чинники цього відновленого зростання до сих пір обговорюються. Пов'язані з кліматом коливання викидів CH_4 з природних заболочених територій (від 177 до 284×10^{12} г (CH_4) рік⁻¹ в 2000-2009 рр. згідно з висхідним оцінками) є основними факторами, що зумовлюють глобальну міжрічних мінливість викидів CH_4 в поєднанні з менш значним внеском у вигляді викидів в результаті спалювання біомаси в ті роки, в які спостерігалися великі пожежі [31].

З доіндустріальних часів концентрація N_2O в атмосфері збільшилася в 1,2 рази (рис. 2.6). Зміни азотного циклу в додаток до взаємодій з джерелами і поглиначами CO_2 впливають на викиди N_2O як на суші, так і з океану [31].

3 НЕГАТИВНІ НАСЛІДКИ ЗМІНИ КЛІМАТУ

Зміна клімату призводить до негативних глобальних наслідків. Основними негативними наслідками прийнято вважати:

1) Зміна частоти та інтенсивності випадання опадів. Клімат на планеті стане більш вологим, але кількість атмосферних опадів не буде по території Землі рівномірною. У регіонах, які й так на сьогоднішній день отримують достатню кількість опадів, їх випадання стане інтенсивнішим. У регіонах з недостатнім зволоженням почастишають посушливі періоди.

2) Підвищення рівня моря. Протягом XX століття середній рівень моря підвищився на 0,1-0,2 м. За XXI століття підвищення рівня моря складе до 1 м. У цьому випадку найбільш уразливими виявляться прибережні території і невеликі острови. Такі держави як Нідерланди, Великобританія, а також малі острівні держави Океанії і Карибського басейну першими підпадуть під небезпеку затоплення.

3) Загроза для екосистем і біорізноманіття. Види та екосистеми вже почали реагувати на зміну клімату. Мігруючі види птахів стали раніше прилітати навесні і пізніше відлітати восени. Існують прогнози зникнення до 30-40% видів рослин і тварин, оскільки їх середовища проживання змінюватимуться швидше, ніж вони можуть пристосуватися до цих змін. При підвищенні температури на 1°C прогнозується зміна видового складу лісів, які є природним накопичувачем вуглецю (80% всього вуглецю в земній рослинності і близько 40% вуглецю – у ґрунті).

Підвищення температури повітря на 0,3°C через 25 років поставить під удар тропічні ліси на північному сході Австралії, в Китаї, а також екосистеми високогірних плато в Африці. Коли середньорічна температура підвищиться ще на 1,0°C, що очікується у 2050 роках, північні льодовики будуть танути швидше. Це призведе до значного скорочення популяцій білих ведмедів і моржів. У тропічному поясі почнуть вимирати мешканці коралових рифів.

Підвищення температури води в річках Північної Америки призведе до вимирання форелі і лосося. При підвищенні температури на 3°C, що прогнозується на початок XXII століття, зникнуть тропічні ліси Амазонки, високогірна флора в Австралії, Новій Зеландії і Європі, вимруть коралові рифи [25].

4) Танення льодовиків. Танення льодовиків є найчутливішим індикатором глобальних змін клімату. Починаючи з 1960-х років відбулося зменшення площі снігового покриву приблизно на 10%. З 1950-х років, у Північній півкулі площа морського льоду скоротилася майже на 10-15%, а товщина зменшилася на 40%. Маса льоду в Північному льодовому океані щорічно зменшується на 8%. До 2100 року половина льодяної маси може розтанути, що призведе до значних негативних наслідків [32].

5) Негативний вплив на сільське господарство. Вплив потепління на урожайність сільськогосподарських культур неоднозначний. У районах з помірним кліматом урожайність може збільшитися в разі незначного підвищення температури повітря, але знизиться в разі значних температурних змін, що створить загрозу продовольчій безпеці. У тропічних і субтропічних регіонах урожайність в цілому буде знижуватися [32]. Головним фактором, що обмежує урожайність є нестача води у вегетаційний період. При подальшому потеплінні клімату зниження урожайності може перевищити 20% і стати критичним для економіки цих регіонів. Родючі райони Північного Кавказу та Поволжя можуть перетворитися на сухі степи.

6) Водоспоживання і водопостачання. Одним із наслідків кліматичних змін може стати нестача питної води. У регіонах з посушливим кліматом (Центральна Азія, Середземномор'я,

Південна Африка, Австралія) ситуація може ще більш погіршитися через зменшення кількості атмосферних опадів [32].

Недостатнє зволоження призведе до зниження забезпеченості водою населення (до 1000-1500 м³ на рік на одну людину), що за міжнародною класифікацією розглядається як дуже низька або критично низька

водозабезпеченість. Істотно знизиться стік найбільших водних артерій Азії (Брахмапутри, Гангу, Хуанхе, Інду, Меконгу, Салуена і Янцзи). Нестача прісної води торкнеться здоров'я людей і розвитку сільського господарства, підвищить ризик конфліктів за доступ до водних ресурсів.

7) Інтенсифікація негативних процесів. Зміна клімату позначиться на повторюваності та інтенсивності небезпечних явищ і процесів (посухи, паводки, повені, снігові лавини, зсуви, селі, сильні вітри тощо), збільшенні несприятливих різких змін погоди, які згубно впливатимуть на такі ключові сектори економіки, як енергетика, річкове та морське судноплавство, житлово-комунальне господарство [32].

8) Здоров'я людини. Внаслідок зміни клімату виникнуть ризики для здоров'я людей. Скорочення виробництва продуктів харчування призведе до недоїдання і голоду, аномально високі температури – до загострення серцево-судинних, респіраторних та інших захворювань. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, смертність від теплових хвиль у серпні 2003 р. у Великобританії склала 2045, у Франції – 14 802, в Італії – 3134, у Португалії – 2099 чоловік.

З підвищенням температури ареали тварин і комах, які є переносниками захворювань (наприклад, енцефалітичних кліщів і малярійних комарів), розповсюджуватимуться північніше. Люди, що населяють ці території, не будуть мати імунітету до нових захворювань [32].

Подальше зростання викидів ПГ нинішніми темпами або вище їх викличе подальше потепління і стане причиною численних змін в глобальній кліматичній системі протягом ХХІ століття, які, будуть більшими у порівнянні з тими, які відзначалися протягом ХХ століття [33].

Успіхи, досягнуті в моделюванні зміни клімату, дозволяють в даний час давати найкращі оцінки і оцінювати діапазони невизначеності, якими повинні характеризуватися проєкції потепління згідно з різними сценаріями викидів. На рис. 3.1 показані найкращі оцінки і ймовірні діапазони для глобального середнього потепління приземного шару повітря для шести

сигнальних сценаріїв викидів описаних в Спеціальній доповіді МГЕЗК про сценарії викидів (СДСВ) включаючи зворотні зв'язки клімат-вуглецевий цикл [33].

Вариант	Изменение температуры (°C, за 2090-2099 гг. по сравнению с 1980-1999 гг.) ^a		Повышение уровня моря (м, за 2090-2099 гг. по сравнению с 1980-1999 гг.)
	Наилучшая оценка	Вероятный диапазон	Диапазон на основе модели, исключая будущие быстрые динамические изменения в движении льда
Постоянные концентрации на уровне 2000 г. ^a	0,6	0,3 - 0,9	Данные отсутствуют
Сценарий B1	1,8	1,1 - 2,9	0,18 - 0,38
Сценарий A1T	2,4	1,4 - 3,8	0,20 - 0,45
Сценарий B2	2,4	1,4 - 3,8	0,20 - 0,43
Сценарий A1B	2,8	1,7 - 4,4	0,21 - 0,48
Сценарий A2	3,4	2,0 - 5,4	0,23 - 0,51
Сценарий A1FI	4,0	2,4 - 6,4	0,26 - 0,59

Рис. 3.1 - Проекції глобального середнього потепління приземного шару повітря і підвищення рівня моря в кінці XXI століття [33]

Хоча ці проекції в значній мірі збігаються з інтервалом, 1,4-5,8 °C, вони не є безпосередньо порівнянними. Оціночні верхні діапазони для проекцій температури є ширшими головним чином в силу того, що більш широкий діапазон наявних в даний час моделей свідчить про більш сильних зворотних зв'язках в системі клімат-вуглецевий цикл. Для сценарію A2, наприклад, зворотний зв'язок клімат-вуглецевий цикл підсилює відповідне глобальне середнє потепління в 2100 році більш ніж на 1 °C [33].

На рис. 3.1 містяться проекції глобального середнього підвищення рівня моря на кінець XXI століття (2090-2099 роки). Проекції зміни рівня моря не включають в себе невизначеності в зворотних зв'язках клімат-вуглецевий цикл і не враховують повного ефекту змін в потоці льодових щитів, оскільки для цього відсутні базові дані. У зв'язку з цим верхні значення наведених діапазонів не слід розглядати в якості верхніх меж підвищення рівня моря. Проекції включають вплив, викликаний більш активним рухом льоду з Гренландії і Антарктики, які характеризуються показниками, зазначеними в період 1993-2003 років, однак ці темпи руху в майбутньому можуть змінитися. Якщо цей фактор впливу буде зростати

прямо пропорційно зміні глобальної середньої температури, то верхні діапазони підвищення рівня моря для сценаріїв СДСВ, показані на рис. 3.1, зростуть на 0,1 м - 0,2 м [33].

В даний час існує високий ступінь впевненості в проєкціях динаміки потепління та інших характеристик регіонального масштабу, в тому числі змін вітрових режимів, опадів і деяких аспектів екстремальних явищ і морського льоду.

Проєкції потепління на XXI століття, демонструють незалежні від сценарію географічні тенденції, аналогічні тим, які спостерігаються в останні кілька десятиліть. Очікується, що потепління буде найбільш сильним на суші, причому найбільше в самих високих північних широтах, а найменше - в Південному океані (поблизу Антарктики) і в північних районах Північної Атлантики, продовжуючи тренди, що спостерігаються в даний час (рис. 3.2).

Проєкції дають зменшення площі снігового покриву. У більшості районів вічної мерзлоти відбудеться, великомасштабне поширення більш глибокого відтавання. Всі сценарії СДСВ дають проєкції скорочення площі морського льоду як в Арктиці, так і в Антарктиці. Згідно з деякими проєкціями, в кінці XXI століття відбудеться майже повне зникнення арктичного морського льоду в період закінчення літа.

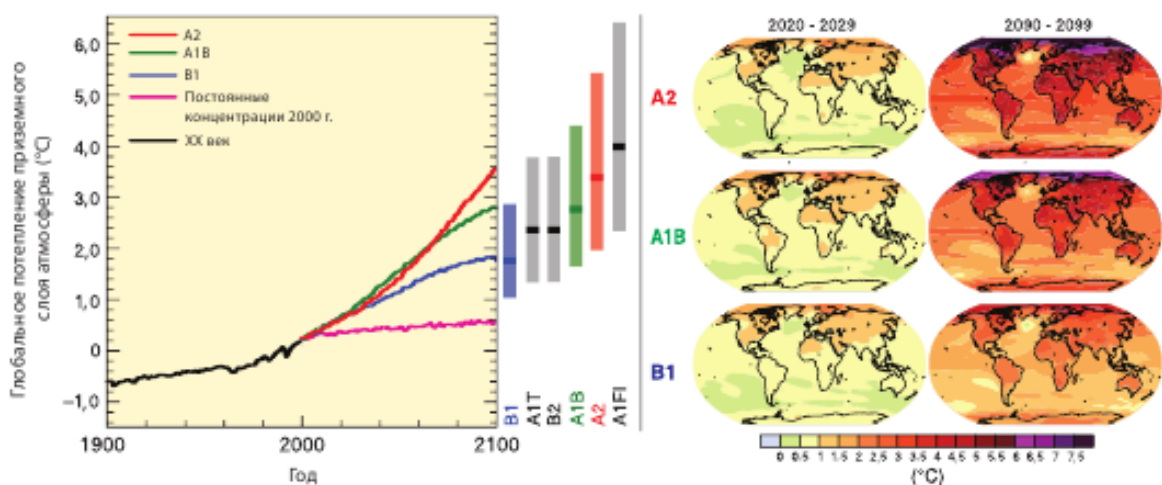


Рис. 3.2 - Потепління приземного шару атмосфери згідно проєкція моделі загальної циркуляції системи атмосфера-океан [33]

Досить імовірно, що більш частими стануть явища екстремальної спекотної погоди, хвилі тепла і сильні опади [33].

Виходячи з даних ряду моделей, ймовірно, що в майбутньому тропічні циклони (тайфуни і урагани) стануть сильнішими і будуть характеризуватися більш високими піковими значеннями швидкостей вітру і більш рясними опадами, пов'язаними зі збільшеннями температур поверхні моря в тропічній зоні. Меншою вірогідністю відрізняються проєкції глобального зменшення кількості тропічних циклонів. Явне збільшення частки дуже сильних штормів після 1970 року в деяких регіонах є набагато більш значним у порівнянні з тим, що дають існуючі моделі на цей період.

Траєкторії позатропічних штормів, згідно проєкцій, зміщуються в напрямку полюсів з відповідними змінами в режимах вітрів, опадів і температур, що є продовженням характеру широкомасштабної тенденції, що спостерігається за останню половину століття.

Період після 2001 року характеризувався більш досконалим розумінням проєкцій змін режиму опадів. Вельми вірогідним є збільшення кількості опадів у високих широтах, при цьому ймовірно їх зменшення в більшій частині субтропічних материкових регіонів (рис. 3.3), продовжуючи спостережуваний характер останніх тенденцій.

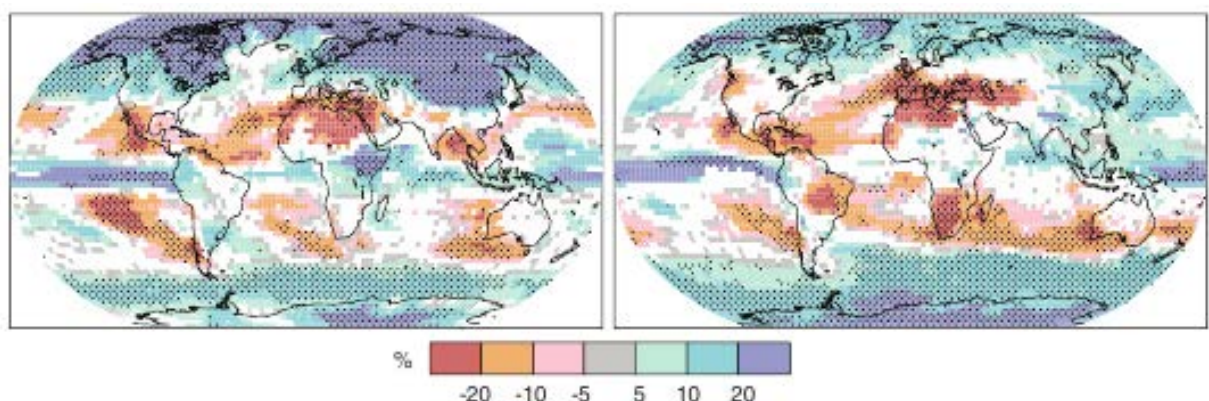


Рис. 3.3 – Багатомодельні проєкції змін режиму опадів [33]

Антропогенне потепління і підвищення рівня моря тривали б століттями через часові масштаби, пов'язані з кліматичними процесами і зворотними зв'язками, навіть якби концентрації ПГ стабілізувалися.

Експерименти на моделях показують, що якби радіаційний вплив стабілізувався, і при цьому концентрації всіх речовин, що викликають радіаційний вплив, збереглися в 2100 році на рівнях сценаріїв B1 або A1B, все одно до 2200 року очікувалося б подальше підвищення глобальної середньої температури приблизно на 0,5 °C. Крім того, одне тільки теплове розширення призвело б до підвищення рівня моря до 2300 на 0,3-0,8 м (в порівнянні з 1980-1999 роками). Теплове розширення тривало б багато століть, оскільки для перенесення тепла в глибини океану потрібен певний час [33].

Згідно проєкціям, зменшення Гренландського льодового щита буде продовжувати сприяти підвищенню рівня моря після 2100 року. Існуючі моделі показують, що втрати льодової маси підвищуються в міру зростання температури більш швидкими темпами в порівнянні зі збільшенням цієї маси завдяки опадам і що поверхневий баланс маси стає негативним (чиста втрата льоду), якщо глобальне середнє потепління (в порівнянні з доіндустріальної значеннями) перевищує 1,9-4,6 °C. Якби подібний негативний поверхневий баланс маси зберігався протягом тисячоліть, це призвело б до практично повного зникнення Гренландського льодового щита і підвищенню рівня моря приблизно на 7 м. Відповідні майбутні температури в Гренландії (глобальне потепління, що перевищує 1,9-4,6 °C) можна порівняти з температурами, які були встановлені для останнього міжльодовикового періоду 125000 років тому, коли, згідно з палеокліматичними даними, площа полярного материкового льоду зменшилася, а рівень моря піднявся на 4-6 м [33].

Динамічні процеси, пов'язані з льодовими потоками, які не включені в існуючі моделі, але про які свідчать останні спостереження, могли б збільшити вразливість льодових щитів в результаті потепління, сприяючи,

таким чином, підвищення рівня моря в майбутньому. Розуміння цих процесів є обмеженим.

Згідно проєкціям, за даними поточних глобальних модельних досліджень, Антарктичний льодовий щит залишиться занадто холодним для широкомасштабного поверхневого танення, а його маса зросте завдяки посиленню снігопадів. У той же час може статися чиста втрата льодової маси, якщо динамічна спад льоду буде домінувати в балансі маси льодового щита.

Як минулі, так і майбутні антропогенні викиди CO₂, будуть як і раніше сприяти потеплінню і підвищенню рівня моря протягом більш ніж тисячоліття внаслідок часових масштабів, необхідних для видалення цього газу з атмосфери [33].

3.1 Наслідки майбутніх змін клімату

Екосистеми

У цьому столітті стійкість багатьох екосистем до зовнішніх впливів буде, ймовірно, знижена в результаті безпрецедентного поєднання зміни клімату, пов'язаних з ним збурень (наприклад, повені, посухи, пожежі, нашествя комах, підкислення океанів) і інших факторів глобальної зміни (наприклад, зміни в землекористуванні, забруднення, фрагментація природних систем, надмірна експлуатація ресурсів).

Протягом нинішнього століття чисте поглинання вуглецю екосистемами суші досягне, ймовірно, пікового значення до середини століття, а потім ослабне або навіть піде в зворотному напрямку, посилюючи, таким чином, зміни клімату [33].

Приблизно 20-30% видів рослин і тварин, будуть піддаватися, підвищеної небезпеки вимирання, якщо зростання глобальної середньої температури перевищить 1,5-2,5 °C.

У разі підвищення глобальної середньої температури більш ніж на 1,5-2,5 °C і при наявності супутніх концентрацій CO₂ в атмосфері прогнозуються значні зміни в структурі та функціонуванні екосистем, екологічні взаємодії видів і зрушення географічних кордонів видів, супроводжувані головним чином негативними наслідками для біорізноманіття, товарів і послуг екосистем, наприклад постачання водою і продовольством [33].

Продовольство

Згідно проєкціям, продуктивність сільськогосподарських культур в середніх-високих широтах при підвищенні місцевої середньої температури на 1-3 °C, трохи збільшиться в залежності від виду культури, з подальшим зменшенням в деяких регіонах при більш високій температурі.

У більш низьких широтах, особливо в сезонно посушливих і тропічних регіонах, продуктивність сільськогосподарських культур, згідно проєкціям, знизиться навіть при невеликому підвищенні місцевої температури (1-2 °C), що посилить небезпеку голоду.

У глобальному масштабі потенціал для виробництва продовольства при підвищенні місцевої середньої температури в межах 1-3 °C, згідно проєкціям, зросте, проте при вище зазначеної температурі цей потенціал зменшиться [33].

Узбережжя

Згідно проєкціям, узбережжя буде піддано більшому ризику, включаючи ерозію берегової лінії в результаті зміни клімату та підвищення рівня моря. Це вплив посилюватиметься зростаючими навантаженнями на прибережні райони, викликаними діяльністю людини.

Згідно проєкціям, до 2080-х років ще більше число мільйонів людей в порівнянні з нинішньою цифрою буде щорічно піддаватися повеням, викликаним підвищенням рівня моря. Найбільша кількість людей, які

піддадуться впливу повеней, буде знаходитися в густонаселених і низинних мегадельтах Азії і Африки, при цьому особливо вразливими є малі острови [33].

Здоров'я

Згідно проєкціям, стан здоров'я мільйонів людей буде піддано впливу в результаті, наприклад, розширення масштабів недоїдання; зростання смертності, захворюваності та травматизму через екстремальні метеорологічних явищ; збільшення тягаря діарейних захворювань; зростання серцево-судинних захворювань через підвищення концентрацій приземного озону в міських районах, пов'язаного зі зміною клімату; і зміни просторового розподілу деяких інфекційних захворювань.

Згідно проєкціям, зміна клімату принесе певну користь в помірних зонах, таку як зменшення смертності від впливу холоду, і буде мати певні комбіновані наслідки, такі як зміни в масштабах поширення і потенціал перенесення малярії в Африці. В цілому очікується, що вигоди будуть менш значними порівняно з негативними наслідками для здоров'я в результаті підвищення температури, особливо в країнах, що розвиваються [33].

Вода

Як очікується, зміна клімату посилить нинішні навантаження на водні ресурси в результаті зростання народонаселення, економічних змін і змін в землекористуванні, включаючи урбанізацію. У регіональному масштабі життєво важливу роль для забезпеченості прісною водою грають сніговий покрив гір, льодовики і невеликі льодовикові куполи. Згідно проєкціям, широкомасштабні втрати льодовикової маси і скорочення снігового покриву, що спостерігалися в останні десятиліття, будуть відбуватися швидшими темпами протягом XXI століття, зменшуючи водозабезпеченість, потенціал для вироблення гідроелектроенергії і змінюючи сезонний характер водних потоків в регіонах, що постачаються талою водою з великих гірських масивів (наприклад, Гіндукуш, Гімалаї, Анди), де в даний час проживає більше однієї шостої частини світового населення [33].

Зміни кількості опадів і температури ведуть до змін стоку і водозабезпеченості. Існує висока ступінь достовірності збільшення стоку на 10-40% до середини століття в більш високих широтах і в деяких вологих тропічних районах, включаючи густонаселені райони в Східній і Південно-Східній Азії, і зменшення на 10-30% в деяких посушливих регіонах в середніх широтах і посушливих тропічних районах в результаті зменшення опадів і більш високих показників евапотранспірації. Існує також високий ступінь достовірності того, що напівпосушливі райони (наприклад, Середземноморський басейн, західна частина Сполучених Штатів Америки, південна частина Африки і північно-східна частина Бразилії) постраждають в результаті зменшення водних ресурсів, викликаного зміною клімату. Площі схильних до посухи районів, збільшаються, що може мати негативні наслідки для численних секторів, наприклад, сільського господарства, водопостачання, виробництва енергії та охорони здоров'я. У регіональному масштабі проєкції дають значне збільшення попиту на воду для цілей іригації в результаті зміни клімату [33].

Негативні наслідки зміни клімату для прісноводних систем переважають вигоди від нього. Райони, в яких зменшиться стік, стикаються з проблемою зниження вартості послуг, що надаються завдяки водним ресурсам. Доброчинні наслідки збільшення щорічного стоку в деяких районах зводяться, нанівець в результаті негативних впливів на водопостачання, якість води і небезпеку повеней внаслідок збільшеної мінливості режиму опадів і зрушень сезонного розподілу стоку.

Проведені дослідження свідчать про значне збільшення в майбутньому сильних дощових опадів у багатьох районах, в тому числі в деяких районах, в яких, середня кількість опадів зменшиться. Збільшений в результаті цього ризик повеней створює серйозні проблеми для населення, фізичної інфраструктури та якості води. Ймовірно, що до 20% світового народонаселення буде проживати в районах, в яких потенційна можливість річкових повеней може зрости до 2080-х років. Збільшення частоти і

суворості повеней і засух негативно вплине на сталий розвиток. Підвищення температури також вплине на фізичні, хімічні та біологічні характеристики прісноводних озер і річок, при цьому згубного впливу зазнають головним чином численні окремі прісноводні біологічні види, видовий склад і якість води. У прибережних районах підвищення рівня моря посилить брак водних ресурсів внаслідок засолення джерел підземних вод [33].

3.2 Наслідки для регіонів

Африка

До 2020 року, згідно проєкцій, від 75 до 250 мільйонів людей будуть відчувати наслідки збільшеного навантаження на водні ресурси в результаті зміни клімату.

До 2020 року в деяких країнах врожайність незрошуваних сільськогосподарських культур може зменшитися майже на 50%. У багатьох африканських країнах значної небезпеки піддається сільськогосподарське виробництво, включаючи доступ до продовольства. Це, в свою чергу, негативно впливає на продовольчу безпеку і посилить недостатність харчування.

До кінця XXI століття підвищення рівня моря, зробить негативний вплив на низинні прибережні райони з великим населенням. Витрати на адаптацію могли б досягти щонайменше 5-10% ВВП.

Площа посушливих і напівпосушливих земель збільшиться на 5-8% [33].

Азія

До 2050-х років прогнозується зниження забезпеченості прісною водою в Центральній, Південній, Східній та Південно-Східній Азії, особливо в басейнах великих річок.

Прибережні райони, особливо густонаселені зони в мегадельтах річок в Південній, Східній та Південно-Східній Азії, виявляться в найбільшій небезпеці через ширше затоплення морем, а в деяких мегадельтах - затоплення річками.

Зміна клімату посилить тиск на природні ресурси і навколишнє середовище, пов'язане з швидкою урбанізацією, індустріалізацією і економічним розвитком.

Ендемічна захворюваність і смертність внаслідок, головним чином, діарейних захворювань, пов'язаних з повеннями і засухами, зросте в Східній, Південній і Південно-Східній Азії внаслідок очікуваних змін гідрологічного циклу [33].

Австралія і Нова Зеландія

До 2020 року відбудеться значна втрата біорізноманіття в деяких екологічно багатих районах, включаючи Великий бар'єрний риф і вологі тропіки Квінсленда.

До 2030 року, відбудеться збільшення проблем водної безпеки в південній і східній частинах Австралії, в Нортленді і деяких східних регіонах Нової Зеландії.

До 2030 року внаслідок посилення посухи і пожеж, відбудеться скорочення обсягу продукції сільського і лісового господарства в більшій частині південних і східних районів Австралії і в деяких районах східної частини Нової Зеландії. У той же час в деяких інших районах Нової Зеландії прогноуються початкові сприятливі зміни.

До 2050 року, освоєння прибережних територій і зростання населення в деяких районах Австралії та Нової Зеландії збільшать ризик, пов'язаний з підвищенням рівня моря, збільшенням суворості і повторюваності штормів і затоплень прибережних територій [33].

Європа

Очікується, що зміна клімату посилить в Європі регіональні відмінності в природних ресурсах і активах. Негативні наслідки будуть

включати підвищений ризик бурхливих паводків на водних об'єктах, більш часті затоплення прибережних областей і посилення ерозії (внаслідок підвищення інтенсивності і частоти штормів і підвищення рівня моря).

У гірських районах буде спостерігатися відступ льодовиків, зменшення площі снігового покриву і скорочення масштабів зимового туризму, а також значні втрати біологічних видів (згідно сценаріями з високим рівнем викидів в деяких районах втрати до 2080 року складуть до 60%).

У південній частині Європи зміна клімату, погіршить умови (високі температури і посуха) в регіоні, вже уразливого до мінливості клімату, а також знизить водозабезпеченість, гідроенергетичний потенціал, масштаби літнього туризму і, в цілому, продуктивність сільськогосподарських культур.

Згідно проєкція, зміна клімату також підвищить ризик для здоров'я через хвилі тепла і почастищення пожеж на неосвоєних територіях [33].

Латинська Америка

До середини століття підвищення температури і пов'язане з ним зменшення вмісту вологи в ґрунті приведуть, до поступової заміни тропічних лісів саваною в східній Амазонії. Буде спостерігатися тенденція заміни рослинності напівпосушливої зони на аридну.

Існує небезпека значного скорочення біорізноманіття внаслідок вимирання видів в багатьох районах тропічної частини Латинської Америки.

Продуктивність деяких важливих культур знизиться, так само як і продуктивність тваринництва, що матиме негативні наслідки для продовольчої безпеки. В цілому, згідно з проєкцій, зросте кількість людей, яким загрожує небезпека голоду.

Зміни режимів опадів і зникнення льодовиків значно вплинуть на забезпеченість водою для споживання людиною, сільського господарства і вироблення енергії [33].

Північна Америка

Потепління в західних горах, викличе зменшення площі снігового покриву, підвищення частоти та інтенсивності зимових повеней і зменшення річного стоку, що загострить конкуренцію за дефіцитні водні ресурси.

Зміна помірного клімату в перші десятиліття століття призведе до підвищення сукупної продукції незрошеного землеробства на 5-20%, однак при цьому між регіонами буде спостерігатися значна різниця. Серйозні проблеми очікуються для культур, які вже наблизилися до теплового межі своєї придатної області поширення або залежать від інтенсивно використовуваних водних ресурсів.

Населення прибережних районів і населених пунктів будуть знаходитися у все більшій мірі під впливом стресу, обумовленого наслідками зміни клімату, поряд з процесами розвитку і процесами забруднення середовища [33].

Полярні регіони

Основними біофізичними ефектами є зменшення товщини і площі льодовиків, льодових щитів і морського льоду, а також зміни в природних екосистемах з приводу згубних наслідків для багатьох організмів, включаючи перелітних птахів, ссавців і вищих хижаків.

В обох полярних регіонах конкретні екосистеми і середовища проживання будуть, уразливими, оскільки кліматичні бар'єри для вторгнень видів будуть знижені [33].

Малі острови

Підвищення рівня моря, як очікується, посилить повені, штормові нагони, ерозію і інші небезпечні прибережні явища, погрожуючи таким чином життєво важливою інфраструктурі, поселенням і об'єктам, які підтримують засоби до існування острівних громад.

Погіршення стану берегів, наприклад, внаслідок ерозії пляжів і знебарвлення коралів, вплине, як очікується, на місцеві ресурси.

Зміна клімату до середини століття зменшить обсяг водних ресурсів на багатьох малих островах, наприклад в Карибському і Тихоокеанському

регіонах, до такого рівня, при якому вони стануть недостатніми для задоволення попиту в періоди слабких опадів [33].

При більш високих температурах, як очікується, будуть збільшуватися масштаби вторгнення неаборигенних біологічних видів, особливо на островах в середніх і високих широтах[33].

3.3 Вплив змін клімату на глобальну безпеку

Дані спостережень і досліджень по всіх континентах і більшості океанів свідчать про те, що багато природні системи відчують вплив регіональних змін клімату, особливо збільшення температури. Багато екосистеми суші, в тому числі ліси, а також прибережні і морські екосистеми вже дуже вразливі до цього фактору.

Характерний приклад відомих ефектів Ель-Ніньо - Ла-Нінья: невелике збільшення температури поверхневих вод Тихого океану в 1976 і 1998 рр. (В тому числі в центральній частині - з середньорічної температури від 19 до 25 ° C) призвело до ряду глобальних змін, які в останньому випадку отримали промовисту назву «року світових пожеж». Найбільш важкі форми збитку включали: згорілі і лісу в ряді регіонів світу, що не підлягають відновленню протягом багатьох десятиліть, зміщення екологічного балансу в бік стійких до підвищення температури води видів, що мешкають усередині коралів, і загибель менш стійких видів морської флори і фауни. У майбутньому, в зв'язку з очікуваним прискоренням змін клімату, вразливість екосистем зросте: зокрема, із зазначеної причини різноманітність видів в 2000-2050 рр. знизиться на 3%, що обумовить третину сукупного зниження біорізноманіття. Виявлено кореляцію між річними коливаннями в тенденції загального підвищення температури прибережних вод у зв'язку з Ель-Ніньо в

1992-1995 і 1997-2000 рр. і зростанням частоти захворювань холерою в Бангладеш і Перу, і в 2010 році - в Гаїті [34].

Це становить загрозу для екологічної (включаючи медико-біологічну) і соціально-економічної безпеки світового співтовариства, якщо врахувати виняткову цінність надаваних йому природними системами послуг, багато з яких штучно невідтворні. Вони включають: підтримку середовища проживання (формування ґрунтового покриву, запилення рослин і харчові цикли); забезпечення життєдіяльності (вода, продукти харчування, деревина, природні волокна і генетичні ресурси); регулювання умов життєдіяльності (регулювання кліматичних умов, ступеня природних небезпек і загроз, включаючи хвороби, якості води і її природного очищення); забезпечення умов культурного розвитку (відпочинок і лікування, естетичну насолоду і духовне задоволення). При цьому головні небезпеки загрожують здоров'ю людей певних соціально-вікових груп, особливо в регіонах і країнах, у яких невисока здатність до адаптації до змін клімату та їх наслідків.

В даному контексті слід особливо підкреслити глобальні наслідки кліматичних змін, які представляють прямі загрози міжнародній безпеці, які проявляються як в загальносвітових масштабах, так на рівні регіонів світу. Одна з таких загроз - почастищення екстремальних і небезпечних природних явищ особливої руйнівної сили практично у всіх країнах світу. Якщо думки фахівців з приводу безпосереднього зв'язку між змінами клімату і зростанням частоти надзвичайних ситуацій природного характеру розбігаються, дві інших обставини не викликають сумнівів [34].

По-перше, більш 4/5 таких ситуацій обумовлені гідрометеорологічними і кліматичними факторами, включаючи підйом рівня Світового океану, найбільше загрожує існуванню невеликих острівних держав, а також економіці прибережних зон більших країн і континентів (рис. 3.1).

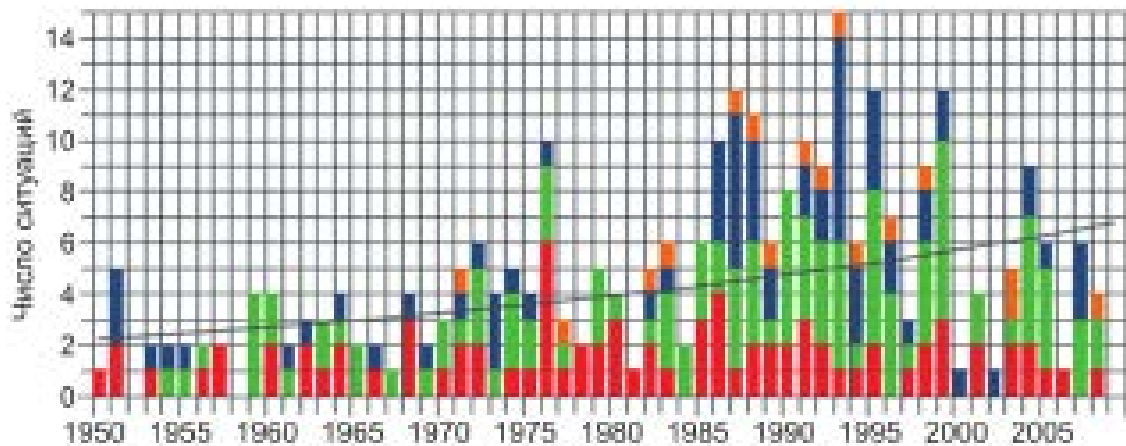


Рис. 3.4 – Зміна загального числа великомасштабних надзвичайних ситуацій природного характеру в світі [35]

Червоний колір - геофізичні надзвичайні ситуації (землетруси, вулкани), зелений - метеорологічні (тайфуни, урагани, хуртовини), синій - гідрологічні (повені, зсуви), помаранчевий - кліматичні (теплові хвилі, посухи, лісові пожежі, підйом рівня Світового океану).

Можливо, частково внаслідок глобального потепління, частково з інших причин кількість природних лих гідрометеорологічного характеру, згідно з даними доповіді Міжнародної федерації товариств Червоного хреста і Червоного півмісяця за 2009 рік, зросла з 200 в середньому рік у 1990-ті роки до 350 - в 2000- 2009 рр.

По-друге, для заподіяних природними лихами економічних збитків характерна тенденція до прискореного зростання (рис. 3.5). За оцінкою Агентства ООН «Міжнародна стратегія по зниженню небезпеки лих» (International Strategy for Disaster Reduction, ISDR), частка світової економіки під прямим ризиком повеней з 1990 подвоїлася; а кількість людей, які ризикують втратити своє життя і майно через лих, в 2007 р на 28% перевищувало аналогічний показник двадцятирічної давності [34].

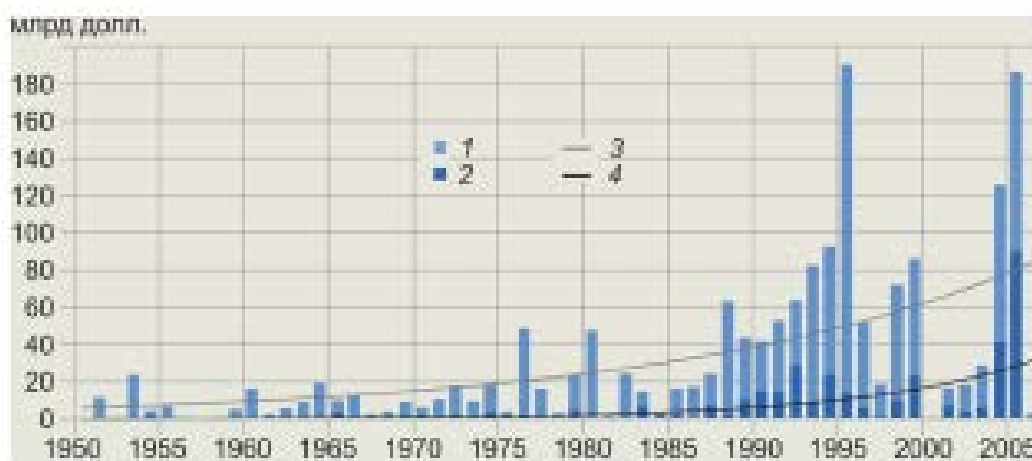


Рис. 3.5 – Динаміка світового економічного збитку, в результаті великомасштабних лих (економічний збиток більш 1 млрд дол.), обумовлених надзвичайними ситуаціями природного характеру [35]

1 і 2 - відповідно сукупний і застраховані збитки (ціни 2005 року), 3 і 4 - тренди відповідно сукупного і застрахованого збитку.

Найбільших збиткові економіці і населенню завдають екстремальні погодно-кліматичні явища. Так, збільшення частоти та інтенсивності хвиль тепла загрожує підвищенням ризику смертності (особливо серед літніх і хронічно хворих людей і маленьких дітей), погіршенням якості води і підвищенням попиту (і відповідно, ціни) на неї. З погіршенням якості води та зростанням температури пов'язана і небезпека розширення зони поширення москітів і інших комах-переносників інфекційних захворювань і, відповідно, масштабів пов'язаних з цим загроз здоров'ю та життю людей. Відповідно до новітніх досліджень, значимість температурного чинника виявляється вище, ніж передбачалося раніше: в умовах жаркого клімату навіть незначне збільшення температури повітря веде до стрибкоподібного прискорення метаболізму у комах і невеликих тварин, що загрожує посиленням згаданих загроз безпеки. Зокрема, згідно з результатами досліджень вчених Оксфордського університету, опублікованих влітку 2010 р, 2,85 млрд. осіб у світі, головним чином в країнах Центральної і Південно-Східної Азії, вже проживають в так званому «малярійному поясі». Це означає, що кількість людей під ризиком захворювання та смерті від малярії вище, ніж

передбачалося раніше, і дослідники пов'язують збільшення зазначеного ризику зі змінами клімату.

Крім того, з ростом температури і тепловими хвилями пов'язане істотне збільшення ризику лісових пожеж і зниження врожайності, особливо в теплих регіонах, аж до втрати значної частини врожаю в разі посух. Збільшення їх частоти і площі поширення може, крім того, привести до деградації земель, зростання смертності худоби, збільшенню дефіциту водних ресурсів і зменшення вироблення гідроелектроенергії [34].

Очікуване в ряді регіонів почастищення випадків екстремально високого рівня опадів також може привести в населених пунктах: до підвищення ризику смертності, травматизму, інфекційних хвороб, крім того, до руйнування поселень і інфраструктури, втрат майна, порушення торгівлі і транспорту через повені. Серед галузей економіки найбільше страждає сільське і водне господарство: втрачається врожай, ґрунти перенасичуються вологою і еродують, що значно ускладнює або унеможлиблює їх обробку; джерела води забруднюються (хоча дефіцит води може бути пом'якшений), а якість поверхневих і ґрунтових вод погіршується.

Інтенсифікація циклонів, особливо в тропіках, призводить до негативних екологічних наслідків (пошкодження рослинності на суші і коралових рифів в океані), і до ще більш значного соціально-економічного збитку: підвищення ризику смертності, захворювань, що передаються через воду, і посттравматичних стресових розладів; а також до втрати врожаю, порушень в енергопостачанні і водопостачанні, руйнувань будівель та інфраструктури внаслідок повеней і сильних вітрів. До тих самих наслідків із загрозою для соціальної та економічної безпеки держав веде збільшення випадків екстремального підвищення рівня моря, яке, крім цього, обумовлює підвищення ризику засолення іригаційної води, усть і прісноводних систем, псування запасів прісної води через проникнення в водосховища солоної води.

Зазначена тенденція почастищення небезпечних природних явищ особливої руйнівної сили і зростання обумовленого ними соціально-економічних збитків, в свою чергу, породжує ланцюг соціально-політичних, включаючи військово-політичні та геополітичні, наслідків, що можуть призвести зниженням стабільності і загостренням існуючих конфліктів. Ескалація таких конфліктів аж до ризику зміни політичного режиму та/або розпаду країни досягає максимуму в умовах вакууму або ослаблення влади, а також в процесі відновлення функцій держави в разі посилення в ньому корупції, зокрема при зловживаннях з гуманітарною допомогою. Наступна кліматична загроза для міжнародної безпеки пов'язана з уразливістю водних ресурсів, критично важливих для життя і господарської діяльності людини. Перш за все, мова йде про серйозні проблеми з водопостачанням посушливих і напівпосушливих регіонів в середніх широтах, в тропічних районах, а також в районах, водопостачання яких залежить від танення снігу і льоду. Погіршення ситуації з забезпеченістю водою збільшує загрозу загострення соціально-політичних конфліктів, включаючи збройні конфлікти, з приводу доступу і режиму використання водних ресурсів. Укупі з іншими екологічними наслідками кліматичних змін, воно тягне за собою ще дві загрози міжнародній безпеці. По-перше, посилення ризиків, пов'язаних з потужними міжнародними потоками екологічних мігрантів і екологічних біженців.

За оцінкою Комісаріату ООН у справах біженців, в 2009 р в світі налічувалося 36,5 млн людей, «позбавлених батьківщини». У тому числі понад 27 млн в 54 державах - це особи, змушені покинути своє постійне місце проживання всередині країни внаслідок збройних конфліктів, інших форм насильства та порушення прав людини, погіршення екологічного середовища проживання (решта - біженці та особи без громадянства). При цьому в останні роки потік внутрішньої вимушеної міграції біженців має тенденцію до зростання (приблизно на 1 млн осіб на рік), тоді як аналогічний потік зовнішньої міграції в цілому знижується [36].

По-друге, збільшення вразливості сільського господарства, особливо в низьких широтах, що веде до виникнення або загострення існуючих загроз продовольчої безпеки. Наявність близько 1 мільярда постійно голодуючих людей, перш за все, в Азії та Африці, є фактором, що постійно збільшує наслідки криз і надзвичайних ситуацій. Неухильне зростання цін на продовольство в останні роки робить ситуацію в світі воістину драматичною - за оцінкою експертів, в цілому в світі необхідно збільшити виробництво продовольства в період 2010-2050 рр. від 70 до 100%. У той же час, зміни клімату в більшості держав, і особливо азіатсько-африканських, супроводжуються зниженням урожаїв, іноді трагічним, породжуючи необхідність значних витрат на створення запасів продовольства в країнах-експортерах для покриття виникаючого дефіциту.

Реалізація перерахованих загроз в істотній мірі визначається сценарієм змін клімату в доступному для огляду майбутньому. Згідно з результатами виконаного в 2007 р прогнозу Центру стратегічних і міжнародних досліджень у Вашингтоні, в наступні 30 років можливий один з двох сценаріїв. Інерційний сценарій передбачає екстраполяцію тенденцій змін клімату 1971-2001 рр .; жорсткий сценарій враховує нелінійний характер як самих змін клімату, так і ефектів їх впливу (особливо, небезпечних і екстремальних природних явищ) на світову економіку і міжнародну безпеку, і їх регіональні і національні суб'єкти. Основні наслідки обох сценаріїв для економіки і міжнародної (включаючи регіональну і національну) безпеки представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Сценарії та наслідки змін клімату для економіки і міжнародної безпеки [34]

Характеристика	Сценарій	
	Інерційний	Жорсткий
Основні параметри прогнозу змін клімату	Потепління в середньому на 1,3 °С Підйом рівня моря на 0,23 м Горизонт прогнозування приблизно 30 років	Потепління в середньому на 2,6 °С Підйом рівня моря на 0,52 м Горизонт прогнозування приблизно 30 років

Продовження табл.3.1

Основні екологічні наслідки реалізації прийнятого сценарію змін клімату	До 1,7 млрд. людей відчують нестачу прісної води; Зміна поширення деяких переносників інфекційно-них захворювань і розповсюджувачів алергії на пилок Додатково до 3 млн. осіб можуть постраждати від повеней Додатково до 30 млн. осіб можуть постраждати від голоду, викликаного неврожайми	До 2 млрд. людей відчують нестачу прісної води Зростають витрати через хвороби, пов'язаних з недоїданням, проблемами функціонування систем травлення, серцево-судинної, дихальної, а також інфекційних захворювань Додатково до 15 млн. осіб можуть постраждати від повеней Зміни в морських екосистемах через ослаблення меридіональної циркуляції
Основні наслідки реалізації прийнятого сценарію змін клімату для міжнародної (регіональної, національної) безпеки	Конфлікт через ресурси, викликаний міграцією і підсилюючий міграційні процеси Імігранти або просто приїжджі з країн, в яких спостерігаються сильні спалахи захворювань, можуть зіткнутися з ворожим ставленням і бути ізольовані на карантин, що може спричинити скорочення туризму і як наслідок втрату частини національного доходу Невдоволення національними урядами може радикалізувати внутрішню політику і створити нові «безпечні гавані» в країнах з ослабленою або недієздатною державою Геополітичне посилення країн-експортерів природного газу і, потенційно, країн-експортерів біопалива; ослаблення геополітичного і економічного впливу країн імпортерів всіх видів енергоресурсів У країнах з розвинутою системою соціального забезпечення така система буде ставати все більшим навантаженням на центральні уряди Можна очікувати, що регіональні позиції ряду країн посиляться в результаті водної кризи	Посилення економічної кризи, відрив найбільш багатих членів суспільства від решти населення буде підривати моральний стан і життєздатність демократичної системи управління. Світові рибні запаси можуть катастрофічно скоротитися, в результаті можлива боротьба в них між окремими країнами. Уряди, відчуваючи брак необхідних ресурсів, можуть піти на приватизацію систем водопостачання; наявний досвід таких дій в бідних країнах дозволяє прогнозувати можливі запеклі протести і політичні перевороти. Може припинитися процес глобалізації і початися швидкий економічний спад внаслідок колапсу фінансової і виробничої систем, що залежать від інтегрованості світової економіки. Корпорації можуть збільшити свій вплив в порівнянні з урядами в силу більшої привабливості роботи в приватному секторі. Це може породити нову форму глобалізації, в якій транснаціональний бізнес виявиться більш впливовим, ніж держави Може наступити колапс інститутів багатостороннього співробітництва та альянсів, в тому числі ООН, якщо розкол Ради Безпеки унеможливить компроміс або відновлення його роботи

ВИСНОВКИ

У 1980-1990-і роки тема глобальних кліматичних змін стала одним з головних предметів досліджень і бурхливих дискусій вчених, а також стурбованості держав і їхніх політичних лідерів. Ареною вираження їх думок стали, в першу чергу, конференції сторін Рамкової конвенції ООН зі зміни клімату (РКЗК ООН) з обговоренням фундаментальних доповідей фахівців Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК).

Серед основних причин кліматичних змін, що спостерігаються в даний час, необхідно відзначити астрономічну теорію змін клімату та вплив парникового ефекту. Остання вважається визначальною у процесі підвищення середньої глобальної приземної температури. Основним «винуватцем» глобального потепління прийнято вважати парникові гази – вуглекислий газ, метан, закис азоту, антропогенна емісія яких росте безпрецедентними темпами на протязі останнього півстоліття.

Зміна клімату призводить до негативних глобальних наслідків. Основними негативними наслідками прийнято вважати:

- 1) зміна частоти та інтенсивності випадання опадів;
- 2) підвищення рівня моря;
- 3) загроза для екосистем і біорізноманіття;
- 4) танення льодовиків;
- 5) негативний вплив на сільське господарство;
- 6) збільшення водоспоживання і зменшення можливості водопостачання;
- 7) інтенсифікація негативних процесів;
- 8) погіршення здоров'я людини.

Зміни глобального клімату на Землі відбувались на протязі усієї геологічної історії планети. Головною особливістю кліматичних змін сьогодення є те, що вони відбуваються дуже швидко. Це унеможлиблює, в

багатьох випадках, пристосування до них елементів навколишнього середовища, в тому числі людини. Це вимагає вироблення і прийняття заходів по адаптації до цих змін і пом'якшення їх наслідків. У порівнянні з іншими глобальними екологічними проблемами кліматичну проблему відрізняє особливо складний комплексний багатокomпонентний характер.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Степаненко, С. М. Динаміка та моделювання клімату : підручник для студентів вищих навчальних закладів. Одеса: Екологія, 2013. 204 с.
2. Хабутдинов Ю.Г. Основные факторы формирования климата. Дата оновлення () URL:<http://www.cawater-info.net/pdf/habutdinov.pdf> (дата звернення 30.10.2018).
3. Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату. // База даних «Законодавство України» / Дата оновлення 9.05.1992. URL:http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_044 (дата звернення 1.11.2018).
4. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. – 194 с.
5. Монин А.С., Сонечкин Д.М. Колебания климата. М.: Наука. 2005. 191 с.
6. Переведенцев Ю.П. Теория климата: учебное пособие. – 2-е изд. перераб. и доп. – Казань: Казан. гос. ун-т, 2009. 504 с.
7. Global Temperature: URL:<http://www.columbia.edu/~mhs119/Temperature/> (дата звернення 3.11.2018).
8. Эзау И. Мифы об изменениях климата (часть 1). URL:[http://www.mirprognozov.ru/prognosis/climate/mifyi-ob-izmeneniyax-klimata-\(chast-1\)/](http://www.mirprognozov.ru/prognosis/climate/mifyi-ob-izmeneniyax-klimata-(chast-1)/) (дата звернення 5.11.2018)
9. Can we make better graphs of global temperature history? Дата оновлення 13.03.2014 URL:<http://www.realclimate.org/index.php/archives/2014/03/can-we-make-better-graphs-of-global-temperature-history/> (дата звернення 5.11.2018)
10. Порфирьев Б. Н., Катцов В. М., Рогинко С. А. Изменения климата и международная безопасность. М.: РИФ «Д'АРТ», 2011. 291 с.

11. Сун В., Балюнас С., Демирчан К.С. и др. Влияние антропогенных выбросов CO₂ на климат: нерешенные проблемы // Изв. РГО. – 2001. – Вып. 2. – С. 1–19.
12. Котляков В.М., Лориус К. Четыре климатических цикла по данным ледяного керна из глубокой скважины на станции Восток в Антарктиде // Изв. РАН. – Сер.: Геогр. – 2000. – № 1. – С. 7–19.
13. Гордон А. Прогноз погоды в XXI в. // Бюллетень ВМО. 2000. № 2. С. 153–158.
14. Изменение климата 2007. Обобщающий отчет. Резюме для политиков. URL: <http://www.ipcc.ch>. (дата звернения 15.11.2018)
15. Мохов И.И. Российские климатические исследования в 2003–2006 гг. // Изв. РАН, ФАО. 2009. Т. 45, № 2. С. 180–192.
16. Зубаков В.А. Анализ доклада ЮНЕП «Глобальная экологическая перспектива 2100» // Изв. РГО. 2002. Вып. 4. С. 72–78.
17. Грицевич И. Г., Кокорин А. О., Подгорный И. И. Изменение климата. Учебно-методические материалы для школьников и студентов субарктических регионов России. WWF России. 2007. – 56 с.
18. Большаков В.А. Новая концепция астрономической теории палеоклимата // Проблемы палеогеографии и стратиграфии плейстоцена. М.: Изд-во Моск. Ун-та. 2000. С.35-69.
19. Большаков В.А. Новая концепция орбитальной теории палеоклимата. М.: 2003, 256 с.
20. Белоусов А.Б., Белоусова М.Г., Муравьев Я.Д. Голоценовые извержения в кальдере Академии Наук // Докл. АН. 1997. Т. 354, № 5. С. 648–652.
21. Муравьев Я.Д. Вулканические извержения и климат. Вестник ДВО РАН. 2007. № 2. С. 71-82.
22. Бримблкумб П. Состав и химия атмосферы. М.: Мир, 1988. 351 с.
23. Scuderi L.A. Tree-ring evidence for climatically effective volcanic eruptions // Quatern. Res. 1990. N 34. P. 67-85.

24. Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. Л.: ГИМИЗ, 1980. 351 с.
25. Пруппахер Г.Р. Роль природных и антропогенных загрязнений в образовании облаков и осадков // Химия нижней тропосферы. М.: Мир, 1976. С. 11-89.
26. Семилетов И.П. Углеродный цикл и глобальные изменения за последний климатический период // МГИ. 1993. Вып. 76. С. 163-183.
27. IPCC 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
28. Монин А. С., Шишков Ю. А. 2000. Климат как проблема физики. Успехи физических наук, т. 170, № 4, с. 420–445.
29. Семенов С.М. Парниковый эффект: открытие, развитие концепции, роль в формировании глобального климата и его антропогенных изменений. URL:http://downloads.igce.ru/journals/FAC/FAC_2015/FAC_2015_2/Semenov_S_M_FAC_2015_N2_04122015.pdf (дата звернення 20.11.2018)
30. Сорохтин О.Г. Парниковый эффект: миф и реальность. Вестник РАЕН, 2001. т.1. № 1, с. 8–21.
31. МГЭИК, 2013: Изменение климата, 2013 г. Физическая научная основа. Вклад рабочей группы I в пятый оценочный доклад межправительственной группы экспертов по изменению климата. МГЭИК, Женева, Швейцария, 2013. 222 с.
32. Приходько М. М. Причини, наслідки і шляхи протидії зміні клімату. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Географія. 2014. № 1. С. 35-43.
33. МГЭИК, 2007: Изменение климата, 2007 г.: Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата [Пачаури,

Р. К., Райзингер, А., и основная группа авторов (ред.)]. МГЭИК, Женева, Швейцария, 104 стр.

34. Порфирьев Б.Н., Катцов В.М., Рогинко С.А. Изменения климата и международная безопасность. С-Пб. РИФ «Д'АРТ». 291 с.

35 Topics Geo. Natural catastrophes 2009: Analyses, assessments, positions. Munich: MUNICH RE, 2009, p. 37.

36. Humanitarian Emergency Response Review. 28 March 2011. Chaired by Lord (Paddy). Ashdown. P. 9.