

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ПАРХОМЕНКА АНДРІЯ АНДРІЙОВИЧА

2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

УДК 504.7:551.1

ПОГОДЖЕНО	ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Декан факультету	Завідувач кафедри
захисту рослин, біотехнологій та екології	загальної екології, радіобіології та безпеки життєдіяльності
_____ Юлія КОЛОМІЄЦЬ	_____ Алла КЛЕПКО
«__» _____ 2024 р.	«__» _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему: «Парниковий ефект та його біокліматичні наслідки»

Спеціальність 101 Екологія

Освітня програма Екологія та охорона навколишнього середовища

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

доктор біологічних наук,
професор, професор
кафедри екології агросфери
та екологічного контролю

Віталій ГАЙЧЕНКО

(підпис)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

докт. пед. наук
професор

Володимир БОГОЛЮБОВ

(підпис)

Виконав

Андрій ПАРХОМЕНКО

(підпис)

КИЇВ – 2024

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет (ННІ)**

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри Клепко Алла Володимирівна
доктор біологічних наук, старший науковий співробітник**

“ _____ ” _____ 20__ року

**З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТУ**

_____ Пархоменко Андрій Андрійович

Спеціальність 101 «Екологія»

Освітня програма «Екологія та ОНС»

Орієнтація освітньої програми Освітньо-наукова

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «ПАРНИКОВИЙ ЕФЕКТ ТА ЙОГО
БІОКЛІМАТИЧНІ НАСЛІДКИ»

затверджена наказом ректора НУБіП України від “ _____ ” _____ 20__ р.

№ _____

Термін подання завершеної роботи на кафедру

_____ (рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи _____

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Суть парникового ефекту та його вплив на біокліматичні зміни Землі.
2. Шляхи вирішення проблеми парникового ефекту.
3. Сучасні проблеми України та її роль у вирішенні проблеми кліматичних змін.

Перелік графічного матеріалу (за потреби)

_____ Дата видачі завдання “ _____ ” _____ 20__ р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____

_____ (підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

Пархоменко А.А.

РЕФЕРАТ

Парниковий ефект - це процес підвищення температури поверхні Землі за рахунок того, що парникові гази затримують сонячне тепло, яке пішло б у космос.

Парникові гази відіграють вирішальну роль у підтриманні на Землі температури, придатної для життя. Без природного парникового ефекту середня температура планети становила б близько мінус 20°C замість нинішніх близько 15°C.

Енергетичний баланс Землі з комфортною для чисельних видів живих організмів температурою було порушено з початком промислової революції. Люди почали активно спалювати викопне паливо, що призвело до масштабного викиду вуглекислого газу та інших парникових газів в атмосферу. Десятиліттями рівень CO₂ в атмосфері зростає, утримує зайве тепло біля Землі, наслідком цього є загальне підвищення температури.

За оцінками експертів, з 1970 до 2004 року викиди парникових газів збільшилися на 70%. Викиди CO₂ за цей період зросли на 80%.

Парниковий ефект викликають водяна пара, вуглекислий газ, закис азоту, метан, озон та синтетичні парникові гази.

Потенціал глобального потепління через антропогенні гази, вимірюється тим, скільки тепла утримує в атмосфері кожен газ порівняно з вуглекислим газом.

Парниковий ефект – це природний та закономірний процес. Його природними причинами є "дихання" та розкладання рослин, а також викиди парникових газів з океану в атмосферу. Багато природних парникових газів - водяна пара, вуглекислий газ, метан - присутні в атмосфері природним чином.

Але проблема у тому, що через діяльність людини парниковий ефект посилюється. З кожним роком на клімат і температуру Землі все більше впливають спалювання викопного палива, вирубування лісів та тваринництво.

Ці процеси додають велику кількість парникових газів до присутніх в атмосфері природним чином.

Надмірне застосування добрив може призвести до зростання концентрації закису азоту. Активне та не завжди дбайливе використання земель та водно-болотних угідь, а також викиди звалищ сприяють утворенню високих концентрацій метану в атмосфері. Масштабні вирубки лісів призводять до знищення високих площ рослинності, яка здатна поглинати вуглекислий газ в атмосфері.

Ще 14% припадає на спалювання бензину та дизельного палива для забезпечення світових транспортних систем. Біля чверті викидів парникових газів пов'язано зі спалюванням вугілля, природного газу та нафти для виробництва електроенергії та тепла.

Внесок антропогенних парникових газів у викиди на планеті

Також одна з причин посилення парникового ефекту – аерозолі. Це дрібні частинки в атмосфері, які утворюються внаслідок вихлопів автомобілів та заводів, а також при спалюванні викопного палива. Крім того, їх джерелами є хлорфторвуглеці з холодильних систем та галони в системах пожежогасіння та на виробництві. Аерозолі у тому числі утворюються під час природних процесів: під час виверження вулканів, лісових пожеж та інших.

Наслідки парникового ефекту

Основний наслідок парникового ефекту - це зміна клімату та супутні йому процеси і натомість прогресивного підвищення температури біля Землі.

Шляхи вирішення проблеми.

Є методи , які вже широко використовуються у всьому світі, щоб зменшити викиди парникових газів та знизити наслідки парникового ефекту. Наприклад, це перехід на альтернативні джерела енергії, у тому числі на використання сонячної енергії та біопалива, щоб поступово скорочувати обсяг спалювання

викопного палива. Важливо інвестувати в економічні та електричні транспортні засоби.

Вчені працюють над системами секвестрації вуглецю, які допомагають уловлювати вуглекислий газ та зберігати його під землею, не випускаючи в атмосферу. У низці країн влада активно просуває ідею підвищення енергоефективності в житлових будинках і на підприємствах, у тому числі за допомогою економічних систем опалення та освітлення. Заліснення територій та захист існуючих лісів також допомагають збалансувати парникові гази в атмосфері.

Зміна методів сільського господарства на більш екологічні може допомогти зменшити викиди парникових газів.

В роботі розглянуті основні причини виникнення і наслідки парникового ефекту, шляхи вирішення проблеми зміни клімату та роль України у розв'язанні цієї проблеми. Особлива увага звернена на роль російської збройної агресії проти України у впливі на підсилення явищ парникового ефекту.

Робота викладена на 74 сторінках, містить 2 формули, 3 таблиці, 8 рисунків. При виконанні роботи використано 69 джерел інформації: наукові статті, доповіді державних органів влади, законодавчі та нормативні акти, закони України, нормативно-правові акти Кабінету Міністрів України, постанови та статистичні матеріали Державної служби статистики України, аналітичні звіти Рахункової палати, аналітичні дослідження неурядових організацій та аналітичних центрів, звіти, протоколи, доповіді Міжурядової групи з питань зміни клімату, ресурси мережі Інтернет. монографії, законодавчі акти, інтернет-ресурси, підручники, наукові статті тощо.

Ключові слова: клімат, парниковий ефект, парникові гази, глобальне потепління, антропогенний вплив, наслідки зміни клімату, сталий розвиток.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ:	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. Сутність парникового ефекту.....	12
1.1 Що являє собою парниковий ефект.....	12
1.2. Історія дослідження парникового ефекту.....	13
1.3. Кількісне визначення парникового ефекту	15
РОЗДІЛ 2. Вплив парникового ефекту на клімат Землі.....	18
2.1. Вплив парникового ефекту на клімат планет	18
2.2. Парниковий ефект та клімат Землі.....	18
2.3. Джерела парникових газів.....	19
2.4. Причини виникнення парникового ефекту	25
2.5. Вплив російської збройної агресії проти України на зміни клімату та збільшення викидів парникових газів	28
2.6. Вплив парникового ефекту на довкілля... ..	31
РОЗДІЛ 3. Вирішення проблеми. Заходи щодо скорочення викидів парникових газів та боротьби з ними	39
3.1. Ідеальне рішення щодо скорочення викидів парникових газів.....	43
3.2. Альтернативні та відновлювальні джерела енергії. Переваги і недоліки	44
3.3. Кіотський протокол.....	57
3.4. Паризька угода	61
3.5. Виконання конвенції Україною	64
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ:

ВДЕ – відновлювані джерела енергії

ГФВ – гідрофторвуглеці

ІЧ – інфрачервоно-частотний

ККД – коефіцієнт корисної діяльності

МЧР – механізм чистого розвитку

ПФ – повітряна фракція

ПФВ – перфторвуглеці

ХФВ – хлорфторвуглеці

ВСТУП

Парадигмами ХХІ століття є демографія та глобальне потепління, причому друга, мабуть, є наслідком першої. Віковий тренд Термічний режим нашої планети привів до спостережуваних вже неозброєним оком кліматичним змінам, таким як: масштабне танення гірських льодовиків, льодів Північного Льодовитого океану та зміщення до півночі кордонів зон вічної мерзлоти [29]. Клімат Землі є регулюючим фактором життєдіяльності біосфери загалом і людини зокрема. Він визначає стаціонарний (у сенсі глобальних середньорічних характеристик) термічний режим поверхні планети, можливість тривалого та комфортного існування на ній біоти (включаючи людини), підпорядковує собі природні процеси, які у свою чергу через наявність зворотних зв'язків спрямовані на стабілізацію складу атмосфери та клімату Землі[24]. У нормі середньорічний термічний режим нашої планети підпорядковується принципу Ле Шательє. Тобто, прагнення зберегти свою стійкість при відхиленні від стаціонарного стану, що характеризується постійною середньорічною температурою поверхні Землі та приземного повітря, в даний час дорівнює близько 288 К. Зростання концентрації парникових газів у атмосфері веде до посилення парникового ефекту – додаткового потоку теплового випромінювання атмосфери, що нагріває поверхню, що призвело до підвищення середньорічної приземної температури повітря приблизно на 1 градус за минулі півтора сторіччя. Сучасна проблема парникового ефекту полягає в тому, що за останнє століття через збільшення в атмосфері кількості парникових газів, головним чином CO_2 та CH_4 цей середньорічний потік збільшився на величину приблизно 2-3 $\text{Вт}/\text{м}^2$ та продовжує зростати. Очевидно, що через велику теплоємність поверхні Землі, яка в основному визначається верхнім діяльним шаром океану, зростання температури відбувається набагато повільніше, ніж накопичення парникових газів у атмосфері. Тому слід очікувати, що середньорічна температура поверхні та приземного повітря продовжуватиме зростати і в цьому столітті, навіть у разі припинення подальшого зростання концентрації CO_2 та CH_4 в атмосфері та

фіксації її на нинішньому рівні. Важливо підкреслити, що еквівалентний внесок (2-3 Вт/м²) у тепловий баланс поверхні Землі через зміну сонячної постійної може бути в у разі її зміни на величину 11.43 Вт/м² – 17.14 Вт/м², відповідно. Так як варіації сонячної постійної, що спостерігаються в багаторічних сонячних циклах, становлять менше 2 Вт/м², то неможливо розраховувати на компенсацію зростаючого парникового ефекту за рахунок природних варіацій сонячної постійної.

У зв'язку з ескалацією технократичного розвитку сучасної цивілізації виникає побоювання, що збільшується антропогенний вплив на біоту та зростання концентрації парникових газів в атмосфері може у майбутньому перевищити допустимі рівні, які кліматична система здатна регулювати. Необхідність моніторингу парникового ефекту, моделювання клімату Землі та прогнозування його змін стимулює наукові дослідження в галузі фізики атмосфери, сприяють більш поглибленому розумінню механізмів накопичення парникових газів в атмосфері та зміни клімату нашої планети на глобальних та регіональних масштабах [30].

У роботі розглянуто актуальні питання глобальної зміни клімату, що наразі є однією з найбільш актуальних проблем для світової спільноти. Проведений аналіз літературних джерел, присвячених різним кліматичним змінам у другій половині ХХ та на початку ХХІ століття, дозволив виділити проблеми екологічного характеру, що надають вплив на зміну клімату. Обґрунтовано актуальність проблеми глобальних та регіональних змін навколишнього середовища і клімату у зв'язку з впливом антропогенних факторів, що посилюється, у тому числі з продовжуючим зростанням концентрації СО₂ та інших парникових газів в атмосфері. Підкреслено актуальність досліджень різних проявів та наслідків зміни клімату, що представляють масштабну природну небезпеку, а також є каталізатором різноманітних змін у багатьох галузях господарської діяльності. Проаналізовано різні точки зору на процес зміни клімату, а також на його прогноз та наслідки. Обґрунтовано ризики

виникнення катастроф у техногенній та соціальній сферах, зумовлених глобальним потеплінням клімату. Показані можливі наслідки глобального потепління біля України та у світі в цілому, зокрема у Арктичній зоні.

Розглянута роль впливу російської збройної агресії проти України на зміну клімату та збільшення викидів парникових газів.

Розглянута Кліматична політика країни та Кліматична доктрина України на період до 2050 року. Наголошено на участі України у системі глобального управління зміною клімату.

Об'єктом даного дослідження є клімат планети Земля, що змінюється під впливом парникового ефекту.

Предметом дослідження є основні тенденції та масштаб впливу парникового ефекту на біокліматичні зміни.

Методи дослідження: системний аналіз наявної інформації щодо можливого негативного впливу кліматичних змін на довкілля в цілому і людину зокрема.

Інформаційну базу дослідження становлять наукові статті, доповіді державних органів влади, законодавчі та нормативні акти, закони України, нормативно-правові акти Кабінету Міністрів України, постанови та статистичні матеріали Державної служби статистики України, аналітичні звіти Рахункової палати, аналітичні дослідження неурядових організацій та аналітичних центрів, звіти, протоколи, доповіді Міжурядової групи з питань зміни клімату, ресурси мережі Інтернет.

Питання, відповіді на які розглянуті в роботі:

1. Суть парникового ефекту та його вплив на біокліматичні зміни Землі.
2. Шляхи вирішення проблеми парникового ефекту.
3. Сучасні проблеми України та її роль у вирішенні проблеми кліматичних змін.

РОЗДІЛ 1. СУТНІСТЬ ПАРНИКОВОГО ЕФЕКТУ

1.1. Що являє собою парниковий ефект

Парниковий ефект — явище в атмосфері Землі та інших планет, при якому енергія сонячних променів, відбиваючись від поверхні, не може повернутися у космос, тому, що затримується в атмосфері молекулами різних парникових газів, що призводить до підвищення температури поверхні.

Сам по собі парниковий ефект є невід'ємною частиною планети Земля. Саме завдяки цьому явищу зародилося і підтримується життя на планеті. Якби вода перебувала б у твердому стані, не створилися б умови для життя, які ми знаємо [35].

Без парникового ефекту температура поверхні Землі за оцінками була б приблизно на 33° нижчою, ніж є насправді, і становила б -18°C . Парниковий ефект суттєвий також на Марсі та, особливо, на Венері. (рис.1.1).



Рис. 1.1. Явище парникового ефекту [11].

1.2. Історія дослідження парникового ефекту

Вчені з 1800-х років знали, що інфрачервоні (парникові) гази нагрівають поверхню Землі та що надлишок парникових газів змінюється як природним шляхом, так і діями людини [33].

Парниковий ефект відкрив Жозеф Фур'є у 1829 році. У статті «Записка про температури земної кулі та інших планет», в якій він розглядав різні механізми формування клімату Землі. При цьому він розглядав як фактори, що впливають на загальний тепловий баланс Землі (нагрівання сонячним випромінюванням, охолодження за рахунок випромінювання, внутрішнє тепло Землі), так і чинники, що впливають на перенос тепла і температури кліматичних поясів (теплопровідність, атмосферна і океанічна циркуляція).

Під час дослідження впливу атмосфери на радіаційний баланс Фур'є проаналізував дослід Ораса-Бенедикта де Соссюра з геліотермометром. Прилад був ящиком, вкритим зсередини для теплоізоляції зачорненою пробкою, одна сторона була покрита трьома пластинами скла з просвітами між ними. При орієнтації приладу склом точно на сонці температура всередині могла досягати 109°C. Фур'є пояснив підвищення температури всередині такого «міні-парника» порівняно із зовнішньою температурою дією двох факторів: блокуванням конвективного теплоперенесення (скло запобігає відпливу нагрітого повітря зсередини та припливу прохолодного зовні) та різною прозорістю скла у видимому та інфрачервоному діапазоні.

Саме останній фактор і отримав у пізнішій літературі назву парникового ефекту — поглинаючи видиме світло, поверхня нагрівається та випромінює теплові (інфрачервоні) промені; оскільки скло прозоре для видимого світла і майже непрозоре для теплового випромінювання, то накопичення тепла веде до такого зростання температури, при якому кількість теплових променів, що проходять через скло, достатньо для встановлення рівноваги.

Фур'є постулював, що оптичні властивості атмосфери Землі аналогічні оптичним властивостям скла, тобто її прозорість в інфрачервоному діапазоні нижче, ніж прозорість в оптичному діапазоні, проте кількісні дані по поглинанню атмосфери в інфрачервоному діапазоні довгий час були предметом дискусій.

У 1856 році американська дослідниця Юніс Ньютон Фут оприлюднила результати своїх дослідів, що встановили зв'язок між величиною частки вуглекислого газу в повітрі та швидкістю зміни температури повітря. У 1859 році британським фізиком Джоном Тіндалем була опублікована стаття про експерименти, за результатами яких він дійшов аналогічних висновків.

У 1896 році шведський фізико-хімік Сванте Арреніус для кількісного визначення поглинання атмосферою Землі теплового випромінювання проаналізував дані Семюела Ленглі про болометричну світність Місяця в інфрачервоному діапазоні. Арреніус порівняв дані, отримані Ленглі при різних висотах Місяця над горизонтом (тобто за різних величин шляху випромінювання Місяця через атмосферу), з розрахунковим спектром його теплового випромінювання і розрахував як коефіцієнти поглинання інфрачервоного випромінювання водяною парою і вуглекислим газом в атмосфері, так і Землі за варіацій концентрації CO_2 . Арреніус також висунув гіпотезу, що зниження концентрації в атмосфері вуглекислого газу може бути однією з причин виникнення льодовикових періодів [32].

Однак термін «парниковий ефект» не використовувався для опису ефекту жодним з цих учених; вперше цей термін був використаний Нільсом Густавом Екхольмом у 1901 році.

Роджер Ревелл, який був одним із перших вчених, які вивчали глобальне потепління, писав у 1965 році, що індустріалізація означає, що люди проводять «великий геофізичний експеримент», спалюючи викопне паливо, яке додає

вуглекислий газ (CO₂) у повітря. Вуглекислий газ досяг рівня, якого не існувало мільйони років [40].

У дослідженні 1979 року, опублікованому Національною академією наук Сполучених Штатів, було зроблено висновок, що подвоєння атмосферного CO₂ із зафіксованими льодовими покривами, ймовірно, призведе до глобального потепління на 1,5–4,5° Цельсія [15].

Це великий діапазон, і є додаткова невизначеність щодо затримки потепління, спричиненої величезним океаном Землі. Це переоцінює чутливість клімату на основі покращених палеокліматичних даних, виявляючи, що клімат є більш чутливим, ніж зазвичай передбачається. Їхня найкраща оцінка подвоєного CO₂ – це глобальне потепління на 4,8°C, що значно перевищує найкращу оцінку Міжурядової групи експертів ООН зі зміни клімату на 3°C.

1.3. Кількісне визначення парникового ефекту.

Сумарна енергія сонячного випромінювання, що поглинається в одиницю часу планетою радіусом R і сферичним альбедо A , дорівнює:

$$E = \pi R^2 E_0(1 - A) \quad (1.1)$$

де E_0 - сонячна постійна.

Відповідно до закону Стефана - Больцмана рівноважне теплове випромінювання L планети з радіусом R , тобто площею випромінюючої поверхні $4 \pi R^2$:

$$L = 4 \pi R^2 \sigma T_E^4, \quad (1.2)$$

де T_E ефективна температура планети. (таб. 1.1).

Таблиця 1.1. Кількісні величини парникового ефекту [25]

Планета	Атм.тиск у поверхні, атм.	T_E	T_S	ΔT	T_{max}	T_{min}	ΔT
Венера	90	231	735	504	-	-	-
Земля	1	249	288	39	313	200	113
Місяць	0	-	-	0	393	113	280
Марс	0,006	210	218	8	300	147	153

Температурні дані в кельвінах, T_{max} - середня максимальна температура опівдні на екваторі, T_{min} - середня мінімальна температура.

Кількісно величина парникового ефекту ΔT визначається як різниця між середньою приповерхневою температурою атмосфери планети T_S та її ефективною температурою T_E . Парниковий ефект суттєвий для планет із щільними атмосферами, що містять гази, що поглинають випромінювання в інфрачервоній області спектру, і пропорційний до густини атмосфери.

Наслідком парникового ефекту є згладжування температурних контрастів як між полярними і екваторіальними зонами планети, так і між денними і нічними температурами. (рис.1.2).



Рис.1.2. Механізм парникового ефекту [26].

Парниковий ефект атмосфер обумовлений їх різною прозорістю у видимому та далекому інфрачервоному діапазонах. На діапазон довжини хвиль 400-1500 нм у видимому світлі та ближньому інфрачервоному діапазоні припадає 75% енергії сонячного випромінювання, більшість газів не поглинають випромінювання у цьому діапазоні; релєївське розсіювання в газах та розсіювання на атмосферних аерозолях не перешкоджають проникненню випромінювання цих довжин хвиль у глибини атмосфер та досягненню поверхні планет. Сонячне світло поглинається поверхнею планети та її атмосферою (особливо випромінювання в ближній УФ та ІЧ-областях) і розігріває їх. Нагріта поверхня планети і атмосфера випромінюють в далекому інфрачервоному діапазоні: так, у випадку Землі при $T_s=300$ К 75% теплового випромінення припадає на діапазон 7,8-28 мкм, для Венери при $T_s= 700$ К — 3,3-12 мкм[16].

Атмосфера, що містить багатоатомні гази (двохатомні гази діатермічні – прозорі для теплового випромінювання), що поглинають у цій галузі спектру (т. зв. парникові гази – H_2O , CO_2 , CH_4 та ін.), істотно непрозора для такого випромінювання, спрямованого від її поверхні в космічний простір, тобто має в ІЧ-діапазоні велику оптичну товщину. Внаслідок такої непрозорості атмосфера стає гарним утеплювачем, що, у свою чергу, призводить до того, що перевипромінювання поглиненої сонячної енергії на космічний простір відбувається у верхніх холодних шарах атмосфери. В результаті ефективна температура Землі як випромінювача виявляється нижчою, ніж температура її поверхні. У формуванні парникового ефекту дуже велика і мало вивчена роль хмар в атмосфері, особливо вночі та взимку в помірних та полярних широтах.

2. ВПЛИВ ПАРНИКОВОГО ЕФЕКТУ НА КЛІМАТ ЗЕМЛІ

2.1. Вплив парникового ефекту на клімат планет

Ступінь впливу парникового ефекту на приповерхневі температури планет (при оптичній товщині атмосфери <1) залежить від оптичної щільності парникових газів, хмар в атмосфері планети, і, відповідно, їхнього парціального тиску біля поверхні планети. Таким чином, парниковий ефект ΔT найбільш виражений у планет з щільною атмосферою, становлячи у Венери ~ 500 К. Величина парникового ефекту залежить від кількості парникових газів у атмосферах і, відповідно, залежить від хімічної еволюції та змін складу планетарних атмосфер. (таб. 2.1).

Таблиця 2.1. Ступінь впливу парникового ефекту на приповерхневі температури планет[25].

Планета	Атм. тиск у поверхні, атм.	Концентрація CO ₂ , %	P _{CO₂} , атм.	ΔT
Венера	~ 93	$\sim 96,5$	$\sim 89,8$	504
Земля	1	0,038	$\sim 0,0004$	39
Марс	$\sim 0,007$	95,72	$\sim 0,0067$	8

2.2. Парниковий ефект та клімат Землі

За ступенем впливу на клімат парникового ефекту Земля займає проміжне положення між Венерою та Марсом: у Венери підвищення температури приповерхневої атмосфери у ~ 13 разів вище, ніж у Землі, у разі Марса – у ~ 5 разів нижче; ці відмінності є наслідком різних густин та складів атмосфер цих планет[12].

При незмінності сонячної постійної та, відповідно, потоку сонячної радіації, середньорічні приповерхневі температури та клімат визначаються тепловим балансом Землі. Для теплового балансу виконуються умови рівності величин поглинання короткохвильової радіації та випромінювання довгохвильової

радіації у системі Земля – атмосфера. У свою чергу частка поглиненої короткохвильової сонячної радіації визначається загальним (поверхня і атмосфера) альбедо Землі. На величину потоку довгохвильової радіації, що у космосі, істотно впливає парниковий ефект, що в свою чергу, залежить від складу і температури земної атмосфери і хмарного покриву у атмосфері.

Основними парниковими газами, які впливають на тепловий баланс Землі, є водяна пара, вуглекислий газ, метан і озон. (таб.2.2).

Таблиця 2.2. Основні парникові гази атмосфери Землі [25].

Газ	Формула	Вміст(%)
Водяна пара	H ₂ O	36—72 %
Діоксид вуглецю	CO ₂	9—26 %
Метан	CH ₄	4—9 %
Озон	O ₃	3—7 %

2.3. Джерела парникових газів.

Найбільш поширеними парниковими газами в атмосфері Землі є:

Водяна пара (H₂O). Хоча водяна пара є найпотужнішим парниковим газом в атмосфері, вона поводиться інакше, ніж інші парникові гази. Це пов'язано тим, що кількість водяної пари у атмосфері значною мірою визначається температурою повітря, а не поведінкою людини. Тому чим вища швидкість випаровування води з поверхні, тим вона тепліша. В результаті посиленого випаровування нижні шари атмосфери мають більш високу концентрацію водяної пари. Ця водяна пара здатна поглинати інфрачервоне випромінювання і випромінювати його назад на поверхню, утримуючи більше тепла.

Вуглекислий газ (CO₂). У період з 1959 по 2006 рік рівні CO₂ в атмосфері збільшувалися в середньому на 1.4 частини на мільйон (часток на мільйон) щороку та майже на 2.0 частини на мільйон на рік у період з 2006 по 2018 рік.

Природні джерела:

- вулканічна дегазація
- спалювання органічних речовин
- природний розпад
- дихання аеробних (які використовують кисень) організмів

Людські джерела:

- спалювання викопного палива
- створення цементу для транспортування
- обігрів
- вироблення енергії
- лісові пожежі
- розчищення землі

Вуглекислий газ потрапляє в атмосферу при спалюванні викопних видів палива (вугілля, природний газ і нафта), твердих відходів, дерев і виробів з деревини, а також в результаті певних хімічних реакцій (наприклад, при виробництві цементу). Вуглекислий газ видаляється з атмосфери (або секвеструється), коли він поглинається рослинами в рамках біологічного вуглецевого циклу. Викиди людини в даний час складають близько 7 гігатонн (7 мільярдів тонн) вуглецю, що викидається в атмосферу щороку.

Метан (CH₄). Другим за значимістю парниковим газом метан (CH₄). Однак CH₄ міститься в атмосфері у значно менших кількостях, ніж CO₂, та його концентрації в атмосфері зазвичай вимірюються в частинах на мільярд (ppb), а не в частинах на мільйон (ppm).

Природні джерела:

- тропічні та північні водно-болотні угіддя
- метанокисляючі бактерії
- вулкани
- вентиляційні отвори на морському дні
- гідрати метану

Людські джерела:

- вирощування рису
- скотарство
- спалювання вугілля та природного газу
- спалювання біомаси
- розпад органічної речовини на звалищах

Нині на частку антропогенних джерел припадає понад 70% загальних річних викидів, що призводить до значного збільшення концентрації з часом. Метан виділяється при видобутку та транспортуванні вугілля, природного газу та нафти. Викид метану відбувається також при розкладанні органічних відходів у сільському господарстві, у твердих побутових відходах, на звалищах та при вирощуванні худоби. Метаболічні викиди метану при утриманні худоби оцінювалися з урахуванням видів тварин, продуктивності та годівлі. На основі валової енергії сировини викиди метану оцінювалися за допомогою коефіцієнтів перерахунку. Для кількісної оцінки виділення метану з органічних добрив при зберіганні як основу для розрахунку потенціалу метаноутворення було обрано вихід екскрементів (кількість, хімічні компоненти, розкладність), потім кількість отриманого метану визначалася з урахуванням системи зберігання.

Озон (O_3). Приземний чи низькорівневий озон є другим за величиною парниковим газом (O_3). Поверхневий O_3 є побічним продуктом забруднення повітря, на відміну природного стратосферного O_3 . Проте стратосферний O_3 грає іншу роль планетарному радіаційному балансі.

Природні джерела:

- занурення стратосферного O_3 із верхніх шарів атмосфери
- природна концентрація приземного O_3 оцінюється в 10 сегментів на мільярд.

Людські джерела:

- фотохімічні процеси за участю забруднювача повітря чадного газу
- чиста радіаційна дія, зумовлена викидами O_3 поверхні людини, становить 0.35 Вт на квадратний метр.

N_2O та інші оксиди азоту.

Людські джерела:

- транспорт
- вироблення енергії
- обробка ґрунту, особливо використання комерційних та органічних добрив
- спалювання викопного палива
- виробництво азотної кислоти
- спалювання біомаси

Більше того, N_2O може жити в атмосфері до 125 років. Викиди N_2O оцінювалися в ході сільськогосподарської та промислової діяльності, а також при спалюванні твердих відходів та викопних видів палива. Передбачалося, хоча й дуже спрощено, що 1,25% окису азоту, що надходить у ґрунт при органічному та мінеральному добривах, фіксації N_2 та осадженні N, виділяється у вигляді N_2O-N . В якості альтернативи був застосований коефіцієнт емісії N_2O-N , що дорівнює 2,53% від загального введення N, як це було отримано в ході численних вимірювань на експериментальній фермі. Непрямі викиди N_2O від газоподібних втрат NH_3 , і навіть від втрат N були кількісно оцінені з допомогою коефіцієнта викидів.

Фторвмісні гази та хлорфторвуглеці.

ХФВ (хлорфторвуглеці), гексафторид сірки, гідрофторвуглеці (ГФВ) і перфторвуглеці (ПФВ)— це ще два похідних газа, що утворюються, володіють парниковим ефектом . Фторовмісні гази відповідальні за 0.34 Вт на квадратний

метр радіаційного впливу. Закис азоту відповідає за 0,16 Вт на квадратний метр. Через природні біологічні взаємодії в ґрунті та воді закису азоту мають низькі фонові концентрації. Тоді як фторвмісні гази майже повністю одержують із промислових джерел.

Атмосферні концентрації парникових газів визначаються балансом між джерелами (викиди газу внаслідок діяльності людини та природних систем) та поглиначами (видалення газу з атмосфери шляхом перетворення на іншу хімічну сполуку). Частка викидів, що залишаються в атмосфері після певного часу, є повітряною фракцією (ПФ). Річна ПФ - це відношення атмосферного приросту цього року до загального обсягу викидів цього року. Частка CO_2 у ПФ протягом останніх 65 років збільшувалася на $0,25 \pm 0,21\%$ на рік .

За відсотковим вкладом у парниковий ефект виділяють чотири основні гази: водяна пара — 36–70%, вуглекислий газ — 9–26%, метан — 4–9%, озон — 3–7%. Фізично неможливо визначити відсоток по кожному газу, оскільки лінії поглинання і випромінювання газів перекриваються (звідси і діапазони, наведені вище)[34].

При вивченні чистого парникового ефекту сільськогосподарських систем важливе значення мають як викиди CO_2 і CH_4 , а й у силу їх високого питомого парникового потенціалу викиди N_2O . Для викидів лише на рівні фермерських господарств розробили модельні підходи з урахуванням частково спрощених модельних алгоритмів. Чистий парниковий ефект сільськогосподарських систем повинен враховувати, окрім біологічних потоків, також і технічні потоки, тобто всі викиди CO_2 , пов'язані з використанням викопної енергії [20].

Головний внесок у парниковий ефект земної атмосфери робить водяна пара або вологість повітря тропосфери, вплив інших газів набагато менш істотний через їхню малу концентрацію. Також істотний внесок робить хмарний покрив в атмосфері Землі .

Водночас концентрація водяної пари в тропосфері суттєво залежить від приповерхневої температури: збільшення сумарної концентрації «парникових» газів в атмосфері має призвести до посилення вологості та парникового ефекту, спричиненого водяною парою, що у свою чергу призведе до збільшення приповерхневої температури.

При зниженні приповерхневої температури концентрація водяної пари падає, що веде до зменшення парникового ефекту. Одночасно з цим при зниженні температури в приполярних районах формується сніжно-крижаний покрив, що веде до підвищення альбедо і, разом із зменшенням парникового ефекту, до подальшого зниження середньої приповерхневої температури.

Таким чином, клімат на Землі може переходити у стадії потепління та похолодання залежно від зміни альбедо системи Земля – атмосфера та парникового ефекту.

Кліматичні цикли корелюють з концентрацією вуглекислого газу в атмосфері: протягом середнього та пізнього плейстоцену, що передують сучасному часу, концентрація атмосферного вуглекислого газу знижувалася під час тривалих льодовикових періодів та різко підвищувалася під час коротких міжльодовикових.

Протягом останніх десятиліть спостерігається зростання концентрації вуглекислого газу атмосфері.

Аерозолі.

Більша частина очікуваного потепління за рахунок впливу парникових газів у минулому столітті була компенсована охолоджуючим ефектом створених людиною аерозолів – дрібних частинок у повітрі. Кількість аерозолів зменшилася з 2010 року внаслідок зменшення забруднення повітря в Китаї та глобальних обмежень на викиди аерозолів із суден.

Таке зменшення кількості аерозолів корисно для здоров'я людини, оскільки забруднення повітря твердими частинками вбиває кілька мільйонів людей на рік і негативно впливає на здоров'я ще багатьох людей. Однак зменшення аерозолів тепер починає викривати потепління парникових газів, яке було приховане охолодженням аерозолів.

Аерозольне охолодження можна назвати «фаустівською угодою», оскільки людство врешті-решт зменшує забруднення повітря, але приходиться оплатити у вигляді збільшення потепління.

Останнім часом діяльність людини надає безпрецедентний за масштабами та інтенсивністю вплив на навколишнє середовище та глобальні системи життєзабезпечення. Доказом цього є одна з багатьох екологічних проблем – глобальне потепління клімату – парниковий ефект. Незабаром атмосфера стане непроникною для тепла, і наслідки можуть бути дуже глобальними – неминуче підвищення рівня світового океану внаслідок танення материкових та гірських льодовиків, морських льодів, теплового розширення вод океану. Таке потепління клімату спричинить серйозні зміни екологічних умов у тундрі, в зонах «вічної мерзлоти»: збільшиться сезонне протаювання ґрунтів, що створить загрозу дорогам, будовам та комунікаціям, активізуються процеси термокарсту та заболочування, погіршиться стан лісових масивів в зонах «вічної мерзлоти».

Безконтрольна діяльність людини може остаточно знищити життя на нашій планеті, тому робота так актуальна [9].

2.4. Причини виникнення парникового ефекту

Сонячна енергія досягає поверхні Землі, поверхня землі поглинає енергію та нагрівається:

- тепла поверхня землі дає інфрачервоне випромінювання, парникові гази поглинають його, виходячи із поверхні;

- гази заряджаються енергією, а потім дають більше випромінювання;
- частина цього випромінювання повертається на поверхню землі, ще більше нагріваючи її, цей процес ми називаємо «парниковим ефектом» (рис. 2.1).

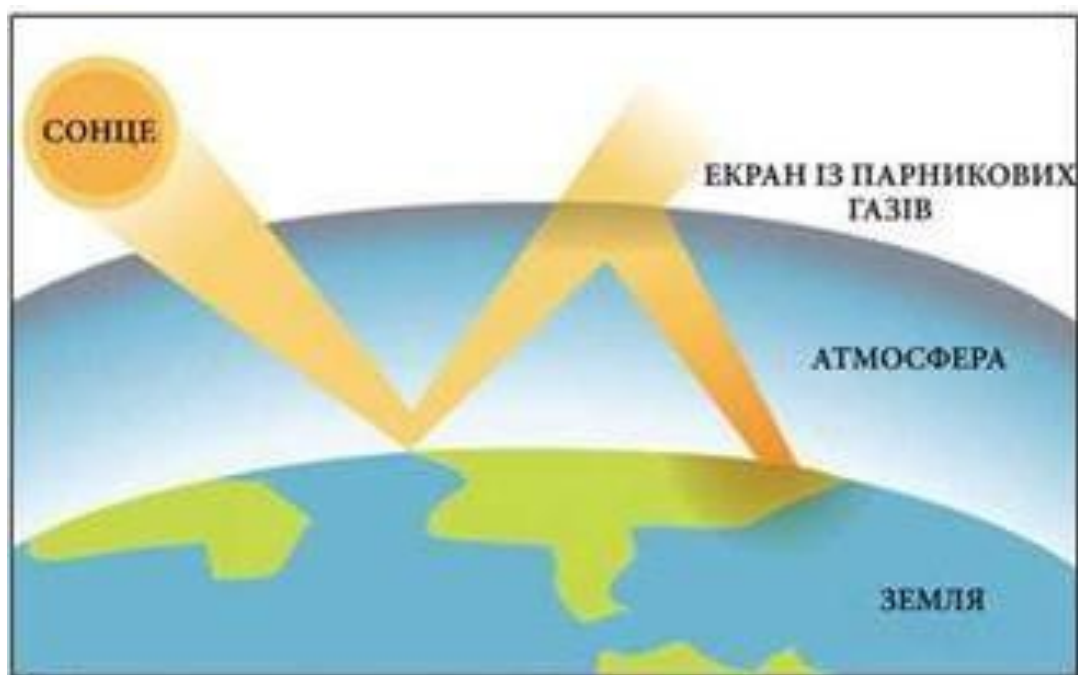


Рис 2. 1. Виникнення парникового ефекту [26].

У другій половині ХХ століття почалося різке збільшення вмісту в атмосфері парникових газів – діоксиду вуглецю, метану, оксиду азоту, фреонів і озону. Ці речовини діють так, як вікна теплиці: пропускають крізь себе сонячні промені, але не дають теплу нагрітої Землі розсіюватися в простір. Всі ці гази добре пропускають сонячні промені до земної поверхні і помітно поглинають довгохвильове теплове випромінювання поверхні Землі та нижніх шарів атмосфери. Частина цього поглиненого теплового випромінювання повертається до земної поверхні, створюючи парниковий ефект. Кількість таких газів в атмосфері збільшується також через випалювання тропічних лісів під пасовища. Ліс відіграє важливу роль у поглинанні вуглекислого газу та виділення кисню, а отже, регулює глобальну температуру, та зменшує парниковий ефект. (рис.2.2).

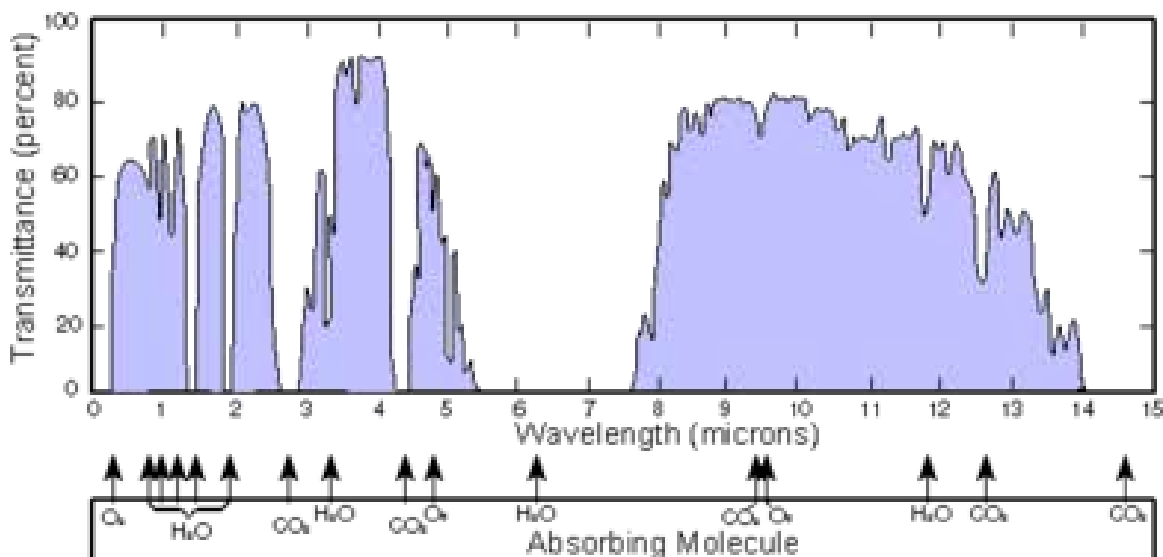


Рис.2.2. Прозорість земної атмосфери в інфрачервоній ділянці спектру. Провали на графіку відповідають областям поглинанням, які пов'язані із різними атмосферними газами [40].

Постійне підвищення концентрації парникових газів обумовлено низкою причин.

Основна маса діоксиду вуглецю утворюється при спалюванні копалин палива (вугілля, нафта, природний газ), використання якого з кожним роком збільшується. Нині щорічно викиди CO₂ в атмосферу у світі становлять приблизно 25 млрд. тон, причому основний «внесок» (близько 75% від загальної кількості викидів) вносять промислово розвинені країни.

Поступово в атмосфері збільшується вміст метану (в середньому на 1% на рік) пов'язаний з розвитком інтенсивного рисівництва, скотарства, спалювання біомаси.

Збільшення вмісту в атмосфері оксиду азоту (приблизно на 0,3% на рік) пояснюється переважно розширенням виробництва та застосуванням азотних добрив у сільському господарстві.

З кінця 50 – х років у промисловому виробництві почали широко застосовуються фреони (хлорфторвуглеці), і в даний час викид їх у світі досягає

1,4 млн. тонн на рік, з тенденцією щорічного збільшення викидів на 4%. Так, обчислено, що вплив 1 молекули метану в 25 разів інтенсивніший, ніж 1 молекули CO₂, а молекула фреону активніша в 11 тис. разів. Тому швидке зростання в атмосфері концентрацій метану та фреонів набагато небезпечніше, ніж збільшення вмісту вуглекислого газу.

Підвищення концентрації парникових газів у атмосфері призвело до того, що середня глобальна температура повітря підвищилася після доіндустріального періоду на 0,5 – 0,6°C, а до 2025 може досягти 2,2 - 2,5 °C[31].

2.5. Вплив російської збройної агресії проти України на зміни клімату та збільшення викидів парникових газів.

Від початку широкомасштабного вторгнення російських військ в Україну навколишнє середовище нашої держави перебуває під постійним деструктивним впливом нових загроз екологічній безпеці. Активна фаза бойових дій в Україні через російську збройну агресію, що негативно впливає на екологічну безпеку України та ЄС, може стати одним з провідних чинників зміни клімату.

Відповідно до огляду Всесвітнього економічного форуму «The Global Risks Report 2023», ризик неспроможності протидіяти зміні клімату визначено четвертим з десяти основних ризиків у дворічній і першим – у десятирічній перспективі [45].

Під час Кліматичної конференції ООН COP 27 у Єгипті лідери країн ЄС наголосили, що кліматична трансформація ускладнена через злочинну агресію РФ проти України, яка призвела до величезних людських втрат і завдала шкоди довкіллю.

Бойові дії викликають збільшення викидів парникових газів. Так, через підвищене споживання нафтопродуктів військовою технікою за 150 днів широкомасштабного вторгнення в атмосферу потрапило майже 4 млн тонн CO₂.

Це у 10 разів перевищує викиди військової техніки в Україні протягом 2021 р. [46].

За даними Міндовкілля та міжнародних експертів, унаслідок розв'язаної РФ війни зафіксовано щонайменше 33 млн тонн викидів CO₂ екв. [47]. З них:

- від пересування внутрішньо переміщених осіб – близько 1 млн тонн CO₂ екв;
- від бойових дій – близько 8,9 млн тонн CO₂ екв;
- від пожеж – понад 23,4 млн тонн CO₂ екв.

Потенційні непрямі викиди парникових газів унаслідок післявоєнного відновлення та реконструкції в Україні становитимуть близько 48,7 млн тонн CO₂ екв. [13].

У результаті воєнних дій на території України в атмосферу викидаються численні продукти детонації ракет й артилерійських снарядів. У разі влучення снарядів у будівлі та споруди виникають пожежі, через які в повітря потрапляють небезпечні продукти горіння – переважно оксид азоту, важкі метали і газові сполуки.

62 млн тонн шкідливих речовин – це викиди в атмосферу від ракетних обстрілів Росії, більша частина яких вже перемістилася до Румунії, Молдови, Болгарії, Угорщини, Латвії, Литви, Естонії, Сербії, Хорватії, Польщі тощо. 180 млн тонн CO-екв. – викиди парникових газів, які спричинені війною Росії та зводять нанівець глобальні зусилля у боротьбі зі зміною клімату.

Крім того, унаслідок виникнення пожеж у природних екосистемах і загоряння посівів, лісів і лісосмуг відбуваються викиди сажі та газиво-аерозольних сполук. Парникові гази також утворюються через згоряння палива в результаті роботи літаків, важкої військової техніки, запуску ракет. Все це призводить до того, що в атмосферу потрапляють шкідливі сполуки і руйнуються корисні компоненти.

За даними Держекоінспекції, унаслідок російських обстрілів навесні 2022 р. сталися масштабні пожежі на складах електронної техніки у смт Гостомель та с. Горенка Київської області. У результаті горіння в атмосферне повітря потрапило понад 4 тис. тон забруднюючих речовин, зокрема діоксид азоту, діоксид вуглецю, ангідрид сірчистий та важкі метали [14].

За даними ООН, війна РФ проти України може зірвати досягнення цілей з уповільнення зміни клімату. Наслідки війни створюють ризик дестабілізації світових продовольчих та енергетичних ринків і матимуть значний вплив на зміну клімату. Хоча країни ЄС залучають додаткові ресурси, щоб позбутися енергетичної залежності від РФ, існує ризик відновлення відповідної залежності від викопного палива. Отже, звужується вікно можливостей щодо обмеження зростання температури до $1,5^{\circ}\text{C}$ до 2100 р.

Генеральний секретар ООН Антоніу Гутерреш у виступі на Всесвітньому економічному форумі в Давосі (Швейцарія) 18 січня 2023 р. наголосив: «Ми наблизилися до зростання на рівні $2,8^{\circ}\text{C}$. Наслідки, як ми всі знаємо, будуть руйнівними. Деякі регіони нашої планети стануть непридатними для життя. Для багатьох це стане смертним вироком» [46].

Парникові гази, утворені на території України, впливатимуть на глобальне потепління. До того ж відбувається зростання військової промисловості, яка є дуже енергоємною і додатково викидає в атмосферу парникові гази. Такі викиди матимуть значні кліматичні ефекти, адже за обсягом вони можуть впливати на цілі регіони в терміни від кількох місяців до кількох років.

Вплив війни РФ проти України на зміни клімату не обмежується виключно територією нашої держави. Пошкодження газогонів «Північний потік» може спричинити кліматичну катастрофу [48]. Зокрема витіки газу створили 700-метровий басейн киплячої води у Балтійському морі. За оцінками німецьких експертів, у результаті викидів в атмосферу потрапило близько 300 тис. метричних тонн метану, одного з найпотужніших парникових газів. За оцінкою

Федерального агентства з навколишнього середовища Німеччини, зазначена кількість газу матиме приблизно такий самий вплив на клімат протягом 20 років, як і річні викиди понад 5 млн автомобілів у США.

Протягом перших 20 років перебування в атмосфері метан має у 84 рази більшу теплову здатність, ніж вуглекислий газ. Оцінюючи вплив витоку метану на клімат, вчені зазвичай перетворюють метан в еквівалент CO₂, використовуючи або коефіцієнт потенціалу глобального потепління за 20 років, або помножуючи потенціал впливу викидів на збільшення глобального потепління впродовж 100 років. Німеччина, використовуючи 100-річний коефіцієнт перерахунку, заявила, що викиди з «Північного потоку» були приблизно еквівалентними 1 % загальних річних викидів країни. За даними Данського енергетичного агентства, викиди метану становитимуть приблизно 32 % річних викидів парникових газів країни.

Викиди, спричинені військовими операціями у мирний час і під час воєнних дій досліджено лише частково.

З огляду на те, що такі викиди можуть сягати сотень мільйонів тонн CO₂ на рік, необхідно ґрунтовніше оцінювати прямі та непрямі кліматичні наслідки війни.

Для цього потрібно включити всі викиди під час війни до глобального підрахунку парникових газів. Крім того, на основі Рамкової конвенції ООН про зміну клімату, що визначає глобальні кліматичні цілі, варто запровадити дистанційне спостереження за високо інтенсивним руйнуванням під час війни вуглецевих резервуарів (резервуари палива), міст, лісовими пожежами.

2.6. Вплив парникового ефекту на довкілля.

Глобальне потепління. Збільшення концентрації парникових газів викликає зменшення вихідного інфрачервоного випромінювання, тому клімат Землі повинен якимось чином змінитися, щоб відновити баланс між вхідним та вихідним випромінюванням. Ця зміна клімату буде включати глобальне

потепління земної поверхні і нижньої атмосфери, оскільки потепління є найпростішим способом для клімату позбутися зайвої енергії. Однак невелике підвищення температури викликає безліч інших змін, наприклад, хмарного покриву і характеру вітру. Деякі з цих змін можуть посилювати потепління (позитивні зворотні зв'язки), інші - протидіяти йому (негативні зворотні зв'язки). Використовуючи складні кліматичні моделі, міжурядова група експертів зміни клімату передбачила, що глобальна середня температура поверхні підвищиться на 1,4°C - до 5,8°C до кінця 2100 року. Ця проєкція враховує вплив аерозолів, які мають тенденцію охолоджувати клімат, а також уповільнює вплив океанів, що мають велику теплову потужність. Однак існує багато невизначеностей, пов'язаних з цим прогнозом, таких як майбутні темпи викидів парникових газів, кліматичні зворотні зв'язки та розмір затримки океану.

У свіжому прес-релізі Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) про стан клімату за 2024 рік оголошено червоний (найвищий) рівень небезпеки через стрімку зміну клімату протягом життя одного покоління, яке прискорюється зростаючими рівнями парникових газів в атмосфері. Період з 2015 по 2024 роки стане найтеплішим за всю історію метеорологічних спостережень. Танення льодовиків, підвищення рівня моря та нагрівання океану прискорюються, а екстремальні погодні умови завдають значної шкоди населенню та економіці у всьому світі.

Рекордні опади і повені, тропічні циклони, що швидко посилюються, смертельна спека, безперервна посуха і бурхливі природні пожежі, які ми спостерігали в різних частинах світу цього року, — це, на жаль, наша нова реальність і передвістя нашого майбутнього.

У проміжок часу з червня 2023 року по вересень 2024 року включно середня глобальна температура на нашій планеті перевищувала всі показники, які були зафіксовані до 2023 року, і найчастіше з великим відривом. Тому в цілому, нинішній рік має великі шанси посісти перше місце у рейтингу найтепліших та

перевищити позначку у $+1,5$ °C, у порівнянні з доіндустріальною епохою.(рис 2.3)

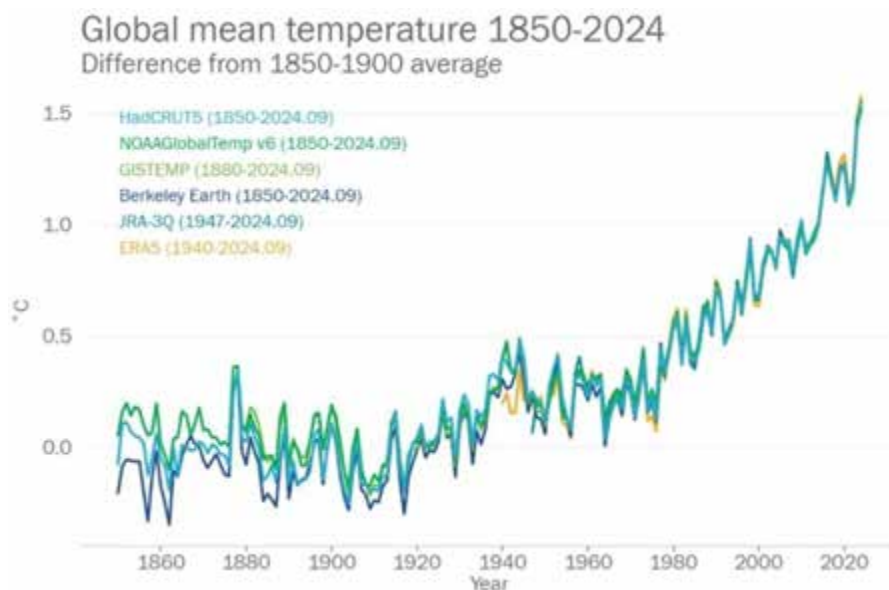


Рис. 2.3. Динаміка зміни глобальної температури повітря на Землі з 1850 по 2024 роки [68].

Теплоємність океану у 2023 році була найвищою за всю історію гідрологічних спостережень, і, за попередніми оцінками, у 2024 році вона збережеться на тому ж рівні. Темпи потепління океану особливо сильно зросли за останні два десятиліття. З 2005 по 2023 роки Світовий океан поглинав у середньому близько 3,1 мільйона терават-годин (ТВт·год) тепла на рік. Це більш ніж у 18 разів перевищило світове споживання енергії у 2023 році. Близько 90% енергії, накопиченої в земній системі, зберігається в океані. Очікується, що потепління океану продовжиться, що призведе до незворотних змін у масштабах від сторіччя до тисячоліття.

Підвищення рівня моря. Якщо відбудеться глобальне потепління, рівень моря підніметься через два різні процеси. По-перше, більш висока температура викликає підвищення рівня моря через теплове розширення морської води. По-друге, льодовики, що тануть, і крижані щити Гренландії і Антарктиди також додадуть води в океан. Прогнозується, що середній рівень моря Землі підніметься на 0,09–0,88 м із 1990 по 2100 рік.

Підвищення рівня моря прискорюється через теплове розширення води та внаслідок стрімкого танення льодовиків. У період з 2014 по 2023 роки середній глобальний рівень океану підвищувався на 4,77 мм/рік, що більш ніж удвічі перевищує показник 1993 - 2002 років. Ефект Ель-Ніньо призвів до того, що у 2023 році рівень води почав зростати ще швидше. Попередні дані за 2024 рік показують, що з ослабленням Ель-Ніньо він повернувся до рівня, який відповідає тенденції зростання з 2014 до 2022 роки. Феномен Ель-Ніньо (El Niño) полягає в різкому підвищенні температури (на 5 – 9 °C) поверхневого шару води на сході Тихого океану на площі близько 10 млн км². Натомість Ла-Нінья (La Niña) є протилежною фазою Ель-Ніньо і супроводжується зниженням температури води у зазначеному регіоні [17].

Танення льодовиків значно посилюється. У 2023 році льодовики втратили рекордну кількість льоду — 1,2 метра у водному еквіваленті, що приблизно в п'ять разів більше за об'єм води у Мертвому морі. Це найбільша втрата з моменту початку вимірювань у 1953 році. У Швейцарії гірські льодовики втратили близько 10% свого обсягу за період з 2021 по 2023 роки.(рис. 2.4)

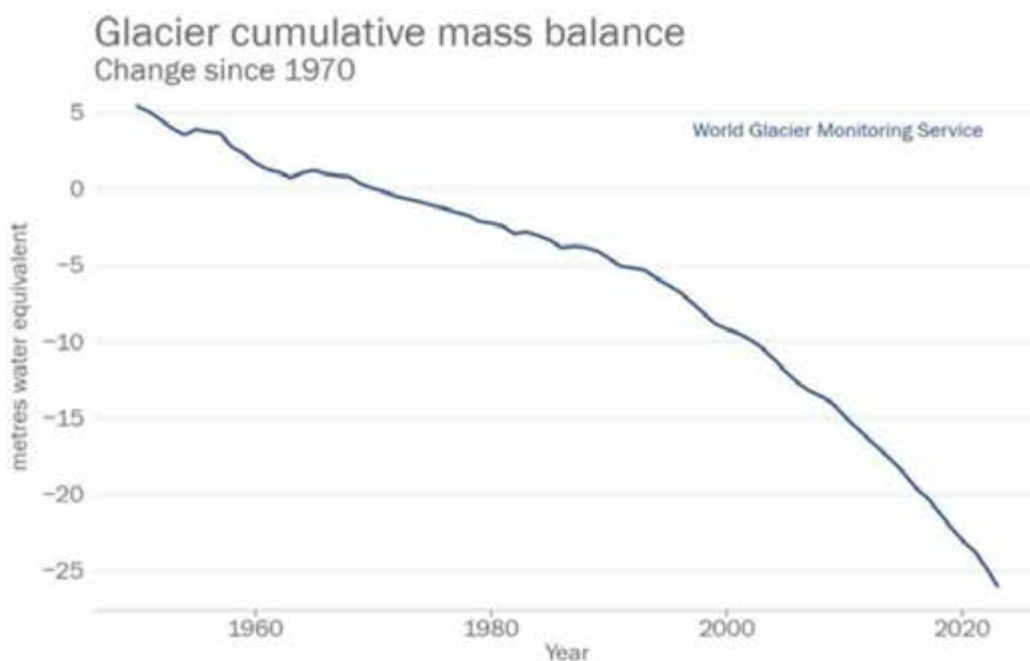


Рис. 2.4. Динаміка зміни концентрації льодовиків з 1953 по 2024 роки [68].

Екстремальні погодні та кліматичні явища підривали сталий розвиток, посилюючи відсутність продовольчої безпеки та загострюючи проблеми переміщення та міграції. Від аномальної спеки постраждали мільйони людей у всьому світі. Рясні опади, повені, крупний град та тропічні циклони призвели до величезних людських жертв і економічних збитків. На жаль, треба готуватись до ще більших катаклізмів у всьому світі впродовж наступних років.

Вплив парникового ефекту на біорізноманіття

Зміна погодних умов впливає на екосистеми, що призводить до втрати біорізноманіття. Види змушені мігрувати до нових районів, порушуючи існуючий екологічний баланс.

Зміна клімату торкається тих видів, які адаптувалися до певних умов навколишнього середовища, наприклад, коралів, яким потрібна певна температура води. Зміни також можуть сприяти поширенню чужорідних видів, найбільш уразливими щодо яких є острови, де місцеві види не пристосувалися до швидких змін довкілля. Тепліший клімат також сприяє поширенню та підвищенню чисельності місцевих видів, велика кількість яких починає викликати проблеми (наприклад, короїд-типограф), проте звужуватися можуть і межі поширення виду.

Вплив на водні системи. Втрата прибережних водно-болотних угідь, безумовно, може призвести до скорочення популяції риб, особливо моллюсків. Збільшення солоності в естуаріях зменшить кількість прісноводних видів, але може збільшити присутність морських. Однак повна дія на морські види невідома[23].

Глобальне потепління може погіршити якість поверхневих водойм в (посилення цвітіння водоростей) та умови життя видів, що там живуть, якщо рівень кисню впаде. У морському середовищі частіше трапляються шторми, у міру розчинення вуглекислого газу вода стає кислішою, знижуючи кількість карбонату кальцію, необхідного для утворення раковин моллюсків. Через

збільшення кількості опадів погіршується доступність деревини з лісів, тоді як у сільському господарстві через надмірну вологість погіршується доступність сільськогосподарських культур. У той же час частішають екстремальні посухи. З іншого боку, збільшується вегетаційний період, збільшуючи врожайність, з'являється можливість вирощувати нові види.

Потенційний вплив на життя людини:

1). Економічний ефект. Більше половини населення Землі живе близько 100 кілометрів від моря. Більшість цього населення живе у містах, які є морськими портами. Вимірюване підвищення рівня моря матиме серйозні економічні наслідки для низовинних прибережних районів і островів, наприклад, відбудеться збільшення темпів ерозії пляжів уздовж берегових ліній, витіснення прісних ґрунтових вод на значну відстань углиб країни;

2). Сільське господарство. Експерименти показали, що при вищих концентраціях CO₂ рослини можуть зростати швидше. Однак глобальне потепління може вплинути на атмосферу і змінити глобальну структуру опадів, а також вміст вологи в ґрунті на різних континентах. Оскільки незрозуміло, як глобальне потепління вплине на клімат у регіональному чи місцевому масштабі, ймовірні наслідки для біосфери залишаються невизначеними [1].

3). Ризик для здоров'я. Збільшується кількість проблем із здоров'ям. Хвилі тепла можуть призвести до теплового удару та зневоднення, а характер зміни клімату може розширити спектр інфекційних захворювань.

4). Вплив на гідрологічний цикл. Глобальні опади, мабуть, збільшаться. Проте невідомо, як зміниться їхня регіональна структура. У деяких регіонах опадів випадає більше, а в інших – менше. Крім того, вищі температури збільшать випаровування. Ці зміни створять нові стреси для багатьох систем керування водними ресурсами.

Негативні екологічні наслідки парникового ефекту

Головна проблема – це підвищення рівня Світового океану. За дуже значного потепління катастрофічно почне скорочуватися (приблизно в 3 – 5 разів) площа гірського заледеніння, в Арктиці зменшиться площа та товщина морських льодів, почнуть танути материкові льодовики Гренландії та Антарктиди.

Підняття рівня океану, навіть незначне, може мати дуже негативні екологічні та соціально – економічні наслідки: будуть затоплені приморські рівнини, погіршиться водопостачання прибережних районів. Якщо рівень океану підвищиться істотно, будуть затоплені значні ділянки суші і збитки будуть величезними. Підраховано, що при підйомі рівня світових вод на 1м буде затоплено 20% території Бангладеш, сільськогосподарські землі Єгипту, деякі великі міста Китаю, катастрофічну повинь зазнає Венеція [44].

Позитивні екологічні наслідки парникового ефекту.

Потепління клімату, швидше за все, сприятливо позначиться на рослинності, зокрема на лісових екосистемах та сільському господарстві. При цьому зміниться і режим атмосферних опадів у бік їх збільшення, що також покращить умови зростання рослин у багатьох регіонах. Фахівці припускають, що з підвищенням температури повітря на 1°C кількість опадів над континентами у середньому зросте на 10%.

Підвищення концентрації CO₂ в атмосфері може збільшити інтенсивність фотосинтезу і, отже, сприяти зростанню та розвитку рослин.

Збільшення концентрації діоксиду вуглецю в атмосфері може мати сприятливий вплив на врожайність багатьох сільськогосподарських культур.

Глобальне потепління клімату може призвести до зміни структури та розташування біомів Землі [43]. Вченими на основі досліджень складаються прогнози зміни рослинних природних зон зі збільшенням температури на 1,4 °C (2000 рік) та на 2,2 °C (до 2025 року). Згідно з цим прогнозом вчених, при глобальному потеплінні спостерігатиметься суттєве зменшення площ тундри та лісотундри – більш ніж у 2 рази при потеплінні на 1,4°C та більш ніж у 6

разів при підвищенні температури на 2,2 °С. При цьому змінюватимуться природні зони [41].

3. ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ. ЗАХОДИ ЩОДО СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ТА БОРОТЬБИ З НИМИ.

Вплив парникового ефекту на довкілля обумовлює необхідність негайних та узгоджених глобальних дій. Скорочення викидів парникових газів та просування сталих методів мають вирішальне значення для пом'якшення цих наслідків. Колективні зусилля на індивідуальному та урядовому рівнях мають важливе значення для майбутніх поколінь [25].

Вченими визначені ключові заходи для зменшення глобального потепління і попередження його наслідків, які також можуть стати запорукою сталого розвитку нашої цивілізації:

- екологічна свідомість, усвідомлене і ощадне споживання;
- локальні, диверсифіковані економіки замкненого життєвого циклу;
- збільшення енергоефективності усіх процесів;
- зменшення викидів парникових газів та енергії під час виробництва та використання певних товарів та послуг;
- перехід до поновлюваних джерел енергії, відхід від викопних енергоносіїв;
- відновлення лісів, збільшення заповідних площ, охорона океанів, глобальне резервування природних територій;
- зміна структури господарювання і пріоритетів в агросекторі, відхід від тваринництва;
- соціальна та екологічна відповідальність бізнесу, її законодавче врегулювання.

Спроба подолати наслідки глобальної зміни клімату повинна включати мету зменшення викидів парникових газів. Це має запропонувати метод вибору відповідних цілей для країн, що розвиваються і розвинених. Отже, вони не повинні бути настільки обмежувальними, щоб задушити економічне зростання,

і не повинні бути настільки вільними, щоб приносити величезні непередбачені вигоди. Незважаючи на те, що максимальні викиди були зроблені розвиненими країнами, без співпраці з країнами, які розвиваються, неможливо вирішити проблему зміни клімату.

Хіміки з Каліфорнійського університету в Берклі створили матеріал, здатний ефективно очищати повітря від вуглекислого газу [63]. Усього 200 г пористого порошку ковалентного органічного каркаса COF-999 поглинають близько 20 кг парникового газу 9 (рис. 3.1).

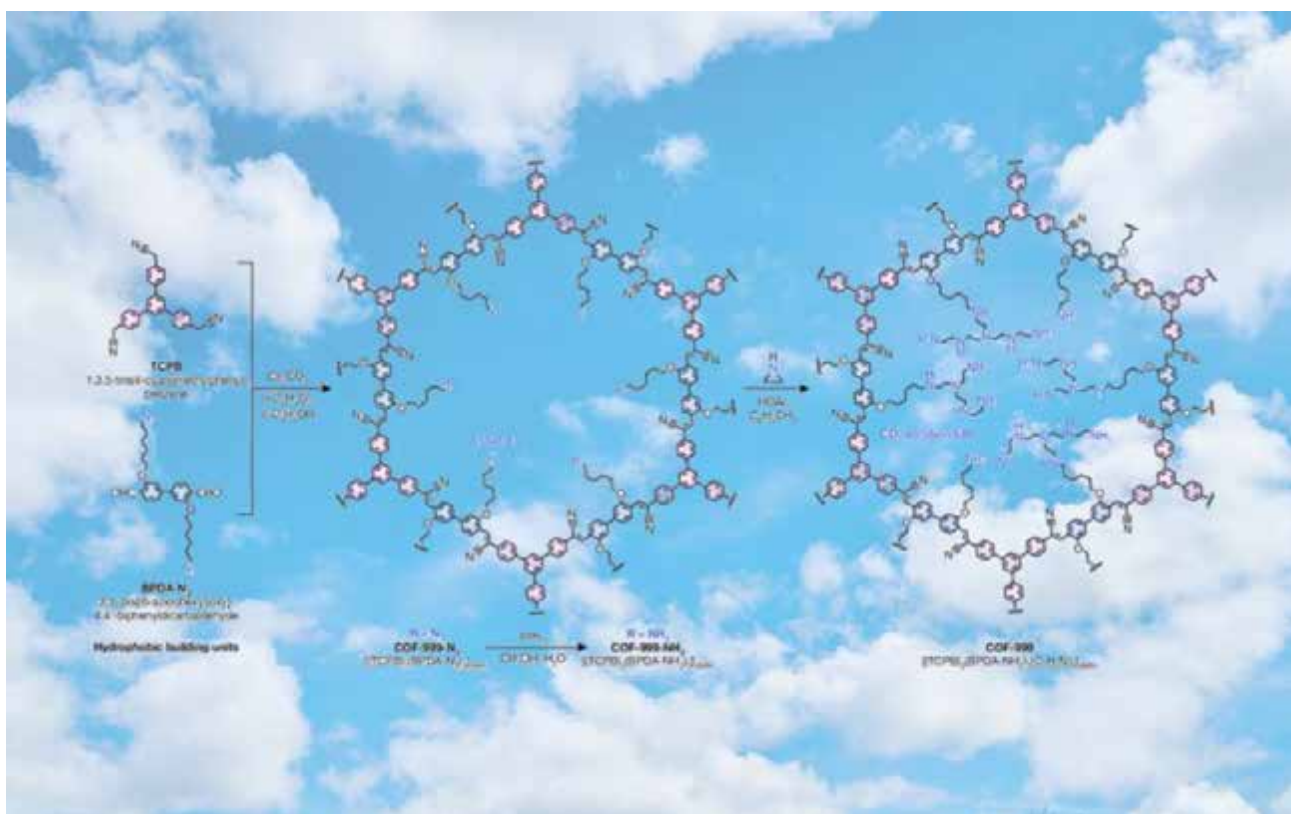


Рис.3.1. COF-999 [49], [56].

COF-999 – пориста структура, внутрішні стінки якої покриті спеціальними хімічними сполуками – амінами. Ці сполуки діють як губка, захоплюючи молекули вуглекислого газу з навколишнього повітря. За кімнатної температури і нормальної вологості матеріал насичується вуглекислим газом за дві години, а для очищення достатньо нагріти порошок до 60°C. [50], [57].

Хіміки довго шукали спосіб створити стійкий матеріал для захоплення CO_2 , який не руйнувався б під впливом води та інших речовин, що містяться в повітрі. Рішення знайшлося у використанні особливо міцних хімічних зв'язків між атомами вуглецю й азоту, які утримують структуру матеріалу [51], [58].

Це відкриття допоможе в боротьбі з глобальним потеплінням, вважають вчені. Сучасні технології уловлювання вуглекислого газу працюють ефективно тільки з концентрованими джерелами викидів, наприклад, з димовими газами електростанцій. Новий матеріал здатний очищати звичайне атмосферне повітря, де концентрація CO_2 у сотні разів нижча [52], [59].

Уловлювання CO_2 з повітря – дуже складне завдання. Це енергетично затратно, потрібен матеріал з високою ємністю вуглекислого газу, який є високоселективним, водостійким, окислювально-стійким, придатним для вторинної переробки [53],[60].

Дослідники в експериментах показали, що COF-999 витримує щонайменше 100 циклів захоплення і вивільнення вуглекислого газу без втрати ємності [64]. Вчені вважають, що подібні технології необхідні для досягнення цілей щодо обмеження глобального потепління в межах $1,5^\circ\text{C}$ і зниження концентрації вуглекислого газу до безпечних рівнів [54], [61].

Уловлювання CO_2 з повітря пропонує багатообіцяючий підхід до вирішення проблеми зміни клімату та досягнення цілей щодо вуглецевої нейтральності [65]. Однак розробки довговічного матеріалу з високою потужністю, швидкою кінетикою та низькою температурою регенерації для захоплення CO_2 , особливо зі складної та динамічної атмосфери, досі відсутні. Тут було синтезовано пористу кристалічну ковалентну органічну структуру (COF) з олефіновими зв'язками, структурно охарактеризовано та постсинтетично модифіковано шляхом ковалентного приєднання амінних ініціаторів для отримання поліамінів усередині пор [66]. Цей COF (називається COF-999) може вловлювати CO_2 з відкритого повітря. COF-999 має ємність $0,96 \text{ ммоль г}^{-1}$ за сухих умов і

2,05 ммоль г^{-1} за 50% відносної вологості, обидва з 400 ppm CO_2 [67]. Цей COF був протестований протягом понад 100 циклів адсорбції-десорбції на відкритому повітрі в Берклі, штат Каліфорнія, і виявив, що він повністю зберігає свої характеристики. COF-999 є винятковим матеріалом для уловлювання CO_2 з відкритого повітря, про що свідчить його циклічна стабільність, легке поглинання CO_2 (досягає половини потужності за 18,8 хв) і низька температура регенерації (60 °C) [55], [62].

Чому країни, що розвиваються, необхідні для вирішення проблеми парникового ефекту?

По-перше, глобальна проблема потребує глобального вирішення. По суті, ситуація така, що одна країна може досягти лише обмеженого прогресу. Тому для успішного вирішення потрібна участь усіх країн.

Викиди в країнах з економікою, що розвивається, зростають найшвидшими темпами і обженуть викиди в розвинених країнах. В результаті без співпраці країн з економікою, що розвивається, скорочення викидів вуглецю буде неефективним у боротьбі зі зміною клімату.

Якщо країни, що розвиваються, відмовляться приєднатися до міжнародної структури, їх викиди можуть зрости набагато вище, ніж очікувалося. Наприклад, на кожну тонну викидів вуглецю, знижених промислово розвиненими країнами, викиди в країнах, що розвиваються, можуть збільшитися на чверть тонни.

З якими проблемами стикаються країни, що розвиваються, у боротьбі за скорочення викидів?

Насамперед, вони несуть відповідальність перед своїми виборцями. Їхня головна мета повинна полягати у підвищенні власного економічного рівня життя. Вони повинні зробити це за рахунок збільшення доходів за одночасного зниження місцевого забруднення повітря та води. Таке забруднення вже очевидне і завдає шкоди здоров'ю людей. Місцеве управління забрудненням

повинно мати пріоритет регулювання викидів парникових газів. Це невидимо і може не мати серйозних наслідків для здоров'я протягом наступного сторіччя.

По-друге, доки це зроблять промислово розвинені країни, країни, що розвиваються, не слід примушувати до будь-яких кроків, що вимагають економічних витрат. Проблема була викликана промислово розвиненими країнами, і оскільки вони багатші, їм легше йти на поступки[4].

3.1. Ідеальне рішення щодо скорочення викидів парникових газів

Скорочення викидів має компенсуватись промислово розвиненими країнами. У більшості випадків цей метод не вплине на країни, що розвиваються. Вони мають право викидати будь-яку кількість, яку вони випустили б у будь-якому випадку протягом цього бюджетного періоду. Вони зобов'язані скорочувати викиди, якщо уряд чи фірма розвиненої країни платить їм достатньо грошей.

Можна було б очікувати, що уряди та фірми розвинених країн запропонують платити країнам-учасникам гроші протягом бюджетного періоду, щоб спонукати їх скоротити викиди. Іншими словами, скорочення внутрішніх викидів до рівня нижче за рівень 1990 року може виявитися занадто дорогим для США, Європи та Японії. Це пов'язано з тим, що будуть потрібні великі структурні зміни в цих економіках за короткий період часу.

Однак у слаборозвинених країнах вартість скорочень набагато менша. В результаті розвинені країни зможуть надати бідним країнам умови, які зроблять скорочення викидів економічно привабливим. І країни, що розвиваються, і розвинені країни досягають успіху, роблячи те, що у них виходить найкраще, з найменшими витратами.

Скорочення викидів парникових газів має центральне значення для всіх країн, оскільки основний тягар цієї проблеми носить глобальний характер, і жодна країна чи група країн не можуть забезпечити своє власне рішення. Ось чому міжнародне та регіональне співробітництво більш затребуване та широко пропагується у рамках глобального атмосферного здорового глузду. У зв'язку з

цією боротьбою нещодавно набула чинності Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату, спрямовану на вирішення глобальної кліматичної проблеми. Це було зроблено у формі міжнародної угоди різних країн з різних регіонів, щоб знизити небезпечну концентрацію антропогенних парникових газів в атмосфері.

Механізм чистого розвитку (МЧР) передбачає масове впровадження технологій відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) для виробництва електроенергії та секвестрації вуглекислого газу. Крім зниження викидів парникових газів в результаті використання відновлюваних джерел енергії, стає реальністю енергетична безпека. Механізм чистого розвитку є основною ідеєю Кіотського протоколу під егідою Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату (РК ООН). Країни, що розвиваються, більш активно беруть участь у розвитку відновлюваних джерел енергії. У 2009 році на їх частку припадало 53% світового виробництва електроенергії на основі ВДЕ. Початкова ідея створення МЧР полягала у стратегічному зниженні рівня викидів у результаті виробництва та споживання енергії до стійкої інтенсивності. Однак передбачалося, що механізми скорочення викидів будуть фінансуватися промислово розвиненими країнами, в результаті чого кошти фонду будуть надаватися країнам, що розвиваються, як спонсорська допомога для програм використання відновлюваних джерел енергії. Позитивний результат впровадження ще належить побачити, зростання глобальних темпів використання відновлюваних джерел енергії не відповідає реалістичному та очікуваному рівню.

3.2. Альтернативні та відновлювальні джерела енергії. Переваги і недоліки.

Енергія була, є і завжди буде потрібна людям, насамперед вона потрібна нам для виробництва тепла, освітлення та транспортування. Вона виробляється у вигляді електричного струму, який буде необхідний для освітлення, роботи промисловості, телекомунікацій і транспорту, який можна легко передавати на

великі відстані. Енергія, що виробляється у вигляді тепла, використовується для опалення квартир, приготування їжі або промисловості. У вигляді палива вона використовується в автомобілях, поїздах, авіації та інших транспортних засобах.

Джерела енергії – це будь-які речовини, явища, процеси, об'єкти чи пристрої, які можуть бути використані (безпосередньо або після реалізації відповідного ланцюжка перетворень) для задоволення енергетичних потреб людини.

Як правило, під джерелом енергії розуміються джерела первинної (не обробленої) енергії, тобто хімічної енергії, енергії палива, ядерної енергії, енергії води, енергії надр Землі (геотермальної), енергії повітряного потоку (вітрів), енергії сонячного випромінювання (сонячної).

Джерела та носії первинної енергії можна розділити на невідновлювані, які значною мірою і в «людському» тимчасовому горизонті не підлягають відновленню, наприклад: деревина, торф, кам'яне вугілля, буре вугілля, нафта, природний газ, уран та відновлювані, тобто практично не виснажуються : випромінювання Сонця, вітри, біомаса, вода, хвилі, морські припливи та геотермальна енергія.

Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) все більше використовуються з кожним роком, і це вже не просто цікавість. Будинки, корпорації та навіть цілі держави вкладають величезні гроші в альтернативні джерела енергії.

Багато хто вказує на те, що відновлювані джерела енергії відіграватимуть ключову роль у забезпеченні нас електрикою в майбутньому. Принаймні, 47 країн світу вже виробляють понад половину електроенергії з відновлюваних джерел, та, за оцінками, у 2025 році ВДЕ перевершать вугілля та стануть найбільшим джерелом електроенергії.

Сонячна та вітрова енергія дуже динамічно розвивається в усьому світі. Це дуже хороша новина, але варто додати, що електрика є лише однією з частин

енергії, яку ми використовуємо (енергетичний мікс). Дві інші частини - транспортування та опалення.

У той час як низьковуглецеві джерела забезпечують понад 36% електроенергії у світі, у загальній енергетичній суміші вони становлять лише 15%. Це тому, що транспорт та опалення набагато більше залежать від викопного палива, ніж від виробництва електроенергії.

У транспорті рішенням є електромобілі, але це також пов'язано зі збільшенням попиту на електроенергію, який, як очікується, збільшиться в 11 разів з доповідного 2019 по 2030 рік. Це робить ВДЕ ще більш актуальними.

Основною та все більш поширеною причиною використання альтернативних джерел енергії є потепління клімату. Це призводить до танення льодовиків, і через це можуть бути затоплені землі і прибережні міста. Це з тим, що при спалюванні нафти у повітря потрапляють забруднюючі речовини і шкідливі речовини. Ці забруднювачі утримують тепло і не дозволяють йому виходити в космос. Відбувається накопичення тепла, у результаті створюється парниковий ефект.

Виснаження запасів енергоресурсів та нафтові кризи змусили світ шукати альтернативні джерела енергії. Зростання витрат на виробництво енергії та ризик виснаження енергетичних ресурсів є рушійною силою пошуку альтернативних джерел енергії. Насамперед зверталися до найдавніших, відомих упродовж століть рішень. До них відноситься використання сили вітру та Сонця.

Вітряна електростанція виробляє електроенергію з вітру за допомогою вітряного двигуна, з'єднаного з електричним генератором. Електрика, що отримується від вітру, є екологічно чистою, тому що її виробництво не спричиняє спалювання будь-якого палива. Велика звичайна електростанція має потужність близько 1000 МВт, для її заміни потрібно до 1000 таких вітрогенераторів. У деяких країнах будуються вітряні електростанції, що

складаються з безлічі турбін, розташованих близько одна до одної. Однак громадськість іноді не схвалює цей тип інвестицій, бо вони псуєть ландшафт, тож майбутнє таких електростанцій невизначене. Слід, однак, визнати, що невеликі поодинокі турбіни є відмінним джерелом енергії у місцях, віддалених від центрів цивілізації, де немає зв'язку з національною енергосистемою. ККД цього типу електростанції не перевищує 40%.

Переваги: відновлюване джерело енергії, низькі експлуатаційні витрати, низька початкова вартість виробництва енергії, екологічно чисті технології. Можливість розміщення на пустирях та забруднених територіях зниження безробіття (постійна зайнятість для біля 5000 осіб).

Недоліки: Висока вартість будівництва та обслуговування. Змінює ландшафт, для заміни великої звичайної електростанції вимагатиме використання кількох вітряків. Займає великі площі, втрачені сільського господарства. Шум турбін. Залежність від вітру. Вони заважають прийому радіо - та телевізійних хвиль.

Природні види палива, такі як вугілля і нафта, що експлуатуються, як і раніше, з тією ж швидкістю, що й зараз, починають повільно виснажуватися, що в кінцевому підсумку призведе до їх повного зникнення, принаймні так вважається офіційно.

Ще одним аргументом на користь використання альтернативних джерел енергії є постійне забруднення довкілля. Електростанції, що працюють на шахтному паливі, виділяють шкідливі гази (окис вуглецю, діоксид вуглецю, оксиди азоту та сірки) та пил, що сприяють утворенню кислотних дощів, які викликають в'янення рослинності та ерозію будівель та споруд, сприяють посиленню парникового ефекту.

Атомні електростанції, які здавалися гарною альтернативою, досить ризиковані, прикладом може бути Чорнобильська катастрофа 1986 року та аварія на АЕС у Фокусімі 2011 року. Втім, їх використання триватиме, найбільше енергії - понад 10% зараз виробляють саме АЕС. Вона вважається

відновлюваною (хоч і неофіційно) тільки в тому випадку, якщо станція функціонує в замкнутому паливному циклі, тобто коли відходи, що утворюються, повторно використовуються як паливо реактора.

Розвиток технологій дозволяє вірити, що в майбутньому всі нові ядерні реактори функціонуватимуть у замкнутому циклі, що зробить ядерну енергію повністю відновлюваною. Навіть «Зелені» почали визнавати, що АЕС екологічна, під тиском промисловців.

Переваги: Велика кількість енергії виходить із невеликої кількості палива - 1 кг урану врівноважує 3000 тонн вугілля. За нормальної експлуатації вони практично нешкідливі. Низькі експлуатаційні витрати після запуску.

Недоліки: Якщо електростанція не має належних систем безпеки, є загроза забруднення у разі відмови. Проблеми із зберіганням відпрацьованого палива. Високі витрати на будівництво та знесення електростанції, коли вона завершить свою діяльність.

Термоядерна енергія — енергія у деякій придатній до використання формі (як правило, електрика), джерелом якої є реакція термоядерного синтезу. В деякому сенсі термоядерною є більшість генерованої енергії, оскільки вона врешті-решт є акумульованою сонячною, а Сонце є природним термоядерним реактором. Однак у вузькому значенні термін використовується стосовно енергії, що продукується під час штучно підтримуваної реакції термоядерного синтезу. На сьогодні жодного термоядерного електрогенератора не існує, хоча інтенсивні експерименти тривають.

З ряду причин енергія синтезу розглядається багатьма дослідниками як «природне» джерело енергії у довготривалій перспективі. Прихильники комерційного використання термоядерних реакторів для виробництва електроенергії наводять такі аргументи на їхню користь:

- практично невичерпні запаси пального (водень)

- пальне можна видобувати із морської води будь-де на узбережжі у світі, що робить неможливим монополізацію пального однією чи групою країн
- неможливість некерованої реакції синтезу
- відсутність продуктів згоряння
- немає необхідності використовувати матеріали, що можуть бути використанні для виробництва ядерної зброї, таким чином виключається випадки саботажу та тероризму
- у порівнянні з ядерними реакторами, незначна кількість радіоактивного сміття із коротшим періодом напіврозпаду.

Так само як і реакція ділення, реакція синтезу не продукує атмосферного забруднення, що є головним внеском у глобальне потепління. Це є значною перевагою, оскільки використання горючих копалин для виробництва електроенергії має наслідком те, що, наприклад у США виробляється 29 кг CO₂ (один із основних газів що сприяють глобальному потеплінню) на жителя США на день.

Походження використання Сонця як джерела енергії перегукується з IV в до н.е., коли греки використовували сонячні промені, зосереджені у скляній кулі, наповненій водою, для розпалювання вогню. З другої половини XX століття на розвиток цього методу робиться великий наголос, що приносить відчутні результати.

З усіх джерел енергії сонячна енергія є найбезпечнішою. Близько 30% сонячної радіації, що надходить на нашу планету, відбивається атмосферою, 20% поглинається нею і лише 50% досягає Землі. Однак сонячна енергія, яка надходить до нас, використовується мало. Можливості її використання стикаються із технологічними перешкодами. Сонячні батареї потужністю 1000 МВт повинні мати площу 104 м². Найбільше сонячних днів на рік припадає на райони, розташовані в низьких широтах. З вищезгаданих причин сонячні батареї популярні лише у домашніх господарствах та на невеликих фермах.

Розміщені на дахах будівель вони нагрівають воду або використовуються для сушіння зерна або кормів.

Переваги: Це чисте джерело відновлюваної енергії, і сонячні елементи не вимагають особливого догляду, крім очищення, вони є надійними, легка установка колекторів.

Недоліки: Для створення фотоелектричних елементів використовуються токсичні елементи (кадмій, миш'як, селен, телур), а установка елементів займає великі площі. Складність використання цього джерела енергії пов'язана, зокрема, із мінливістю добової та сезонної сонячної радіації. До недоліків також відноситься низька добова густина потоку енергії сонячного випромінювання, яка навіть в екваторіальних районах становить лише $300 \text{ Вт} / \text{м}^2$.

У домашніх чи сільських господарствах протягом багатьох років також використовувалися геотермальні ресурси, тобто енергія гарячих джерел та гейзерів. На геотермальних електростанціях (геоелектричних заводах) електроенергія виробляється з енергії надр Землі. Термальні води на глибині 250-600 м можуть досягати температури близько 3000°C . Однак ККД такої електростанції складає близько 20-25%.

Переваги: Серед основних переваг геотермальної енергії - велика здатність генерувати енергію при збереженні незначного впливу на навколишнє середовище. Завдяки технологіям, що дозволяють пробивати 10 км углиб Землі, це може бути джерелом енергії, доступним практично будь-де планети. Вода, що використовується, повторно нагрівається і використовується в системах центрального опалення.

Недоліки: Дорожняча установок. Технічні проблеми під час обслуговування устаткування. Відповідні породи зустрічаються у небагатьох місцях у світі. Виділяється радон і сірководень. небезпека забруднення глибоководних джерел.

Гідроелектростанція перетворює енергію течії води на електрику, використовуючи водяну турбіну, з'єднану з генератором електроенергії. Ефективність таких електростанцій безперечно вище, ніж в інших електростанцій, і в середньому становить від 80 до 90%. У світі енергія річок задовольняє близько 3% потреби у первинній енергії. Енергія річок вважається невичерпною, але в умовах зміни клімату, що призводить до пересихання річок, це все дуже відносно.

Переваги: Це чисте відновлюване джерело енергії, є можливість швидкої зупинки та запуску електростанції, а також невеликі проблеми при обслуговуванні та експлуатації електростанції, можливість створення штучних водойм, які накопичують воду, тим самим знижуючи ризик повеней. Поглинання цієї енергії дуже вигідно як за екологічним, так і за економічним характером, оскільки вона забезпечує екологічно чисту енергію та регулює водні відносини, збільшуючи утримання поверхневих вод, що покращує умови вирощування сільськогосподарських культур та умови водопостачання населення та промисловості.

Недоліки: велика залежність від опадів та необхідність затоплення великих площ та переселення людей, що руйнує природне наземне місце існування для рослин і тварин.

Іншим альтернативним джерелом енергії є приливна енергія. Приливна сила, як і звичайна гідроелектростанція, обертає турбіну, поєднану з генератором. Однак у небагатьох місцях будівництво такої електростанції вигідне, оскільки ці електростанції характеризуються незначною рентабельністю.

Ще одним джерелом енергії може бути морські брижі. Великі океанські хвилі несуть за собою значну кількість, лише проблема полягає у її ефективному придбанні. Маремоторні електростанції виробляють саме електроенергію з енергії хвиль чи морських та океанських течій.

Різниця температур між теплими поверхневими шарами та холодними глибоководними шарами моря також використовується для отримання енергії.

Мареетермічні електростанції мають, однак, дуже мало користі у виробництві енергії.

До новаторських ідей, що набувають все більшої популярності, відноситься використання побутових, промислових і органічних відходів (біомаса) для виробництва енергії. Останні застосовуються для виробництва мазуту, або для виробництва т.зв. «біогазу».

Переваги: Найбільшою перевагою є нульовий баланс викидів вуглекислого газу (CO_2), що виділяються при спалюванні біомаси, а також нижчі, ніж викопне паливо, викиди діоксиду сірки (SO_2), оксидів азоту (NO_x) і окису вуглецю (CO).

Недоліки: Це джерело енергії, що має так багато переваг, однак також має деякі недоліки, серед яких можна згадати:

- відносно низька щільність сировини, що ускладнює його транспортування, зберігання та дозування;
- широкий діапазон вологості біомаси, що ускладнює її підготовку до використання в енергетичних цілях;
- менше, ніж у разі викопного палива, енергетична цінність сировини: для виробництва такої кількості енергії, яка виходить з тонни кам'яного вугілля гарної якості, потрібно близько 2 тонн деревини або соломи.
- деякі відходи доступні лише сезонно.

Рубіж 20-го та 21-го століть - це період, коли потреба в енергії в суспільстві стала величезною і продовжує зростати. Жити у наш час без електрики практично неможливо. Можна сказати, що вона необхідна для життя, як вода чи повітря. Саме слово "енергія" походить від грецької мови та означає діяльність.

З наведених фактів складається висновок, що людство перебуває на правильному шляху розвитку альтернативних методів отримання енергії. Однак вони найкраще функціонують на місцевому рівні, особливо в країнах, де рівень економічного розвитку недостатній та спочатку буде пов'язаний із значним збільшенням витрат на електроенергію. Як і раніше, багато методів, хоча й систематично вдосконалюються - недостатньо ефективні, або застосовувані в них складні технології залежать від погодних умов або просто не вигідні. Тому важко сказати, скільки часу потрібно, щоб ці методи знайшли широке застосування та домінували у методах звичайного отримання енергії.

Як висновок варто перерахувати загальні для всіх переваги та недоліки відновлюваних джерел енергії.

Переваги:

Нульові викиди - відсутність або значне скорочення викидів забруднюючих речовин у порівнянні зі спалюванням викопного палива, є однією з найважливіших переваг чистої енергії. Викиди всіх видів парникових газів та пилу при спалюванні нафти та вугілля несуть стільки наслідків, що перерахувати їх все справді складно.

До найважливіших можна віднести швидке потепління клімату, яке може повністю змінити життя на нашій планеті, або понад 5 мільйонів передчасних смертей, спричинених забрудненим повітрям. Відновлювані джерела енергії вирішують такі проблеми.

Необмежені ресурси - на відміну викопного палива, відновлювані джерела постійно оновлюються. Річки постійно течуть, вітер дме, і сонце світить щодня. Таким чином, ми можемо уникнути в майбутньому ситуації, подібної до нинішньої, коли викопне паливо починає закінчуватися, і ми шукаємо альтернативні джерела енергії.

Економія грошей - хоча створення нових вітряних або сонячних електростанцій досить дороге, але в довгостроковій перспективі витрати

окупаються. Крім того, не потрібно платити за паливо, щоб підживлювати їх, на відміну від вугілля та нафти, які потрібно видобувати, а потім транспортувати на електростанції.

Недоліки:

Вони не повністю екологічні - хоча ВДЕ набагато чистіші, ніж викопне паливо, вони також впливають на навколишнє середовище, але виразно менше. Греблі і водосховища дуже несприятливо впливають на екосистему річок, тому що вони блокують вільний потік мігруючих риб, таких як лосось і форель, вгору і вниз за течією. Крім того, будівництво греблі означає переселення цілих міст людей через необхідність створення водосховища, за оцінками, через це було переселено понад 80 мільйонів людей. А самі затоплені райони виділяють метан через рослини, що розкладаються під водою, тим самим сприяючи деякою мірою потеплінню клімату. Дуже великі вітряні електростанції можуть послабити силу вітру та посилити вертикальний рух вітру, що означає, що вони можуть певною мірою вплинути на клімат. Крім того, їх складно та дорого утилізувати.

Коливання продуктивності - відсутність стабільності в потужності, що генерується, - один з найбільших недоліків відновлюваних джерел. Їхня ефективність залежить від природних факторів. Вітер не завжди дме, і Сонце не світить вночі, через що потужність, що генерується, падає, і в даний час ми не можемо покладатися на них на 100%.

Вони займають великі площі - площа, займана вітряними і сонячними електростанціями, досить велика по відношенню до електрики, що генерується. Для роботи атомної електростанції потужністю 1 000 мегават потрібно менше 3 км², в той час як вітряній електростанції потрібно в 360 разів більше простору, а фотоелектричній електростанції - в 75 разів більше, щоб виробляти стільки ж енергії.

Перехід на відновлювані джерела енергії, впровадження енергоефективних технологій та просування сталого транспорту – ось деякі з ефективних способів керування парниковим ефектом. Крім того, впровадження методів регенеративного сільського господарства, створення міських зелених насаджень та інвестиції у технології вловлювання та зберігання вуглецю можуть допомогти компенсувати викиди та відновити екологічний баланс.

Принцип роботи гібридної технології дозволяє автомобілям значно зменшити викиди парникових газів. Гібридні автомобілі виділяють менше вуглекислого газу, оскільки споживають більше електроенергії, ніж бензин.

У порівнянні з вирощуванням м'яса, вирощування овочів потребує набагато менше енергії. Таким чином, зміна нашого раціону харчування за рахунок включення більшої кількості фруктів, овочів, зернових та бобових є ідеальним першим кроком до зниження концентрації парникових газів в атмосфері.

Через виробництво та переробку кормів і метану, який виділяють вівці та велика рогата худоба, який у 25 разів більш ефективний, ніж CO₂ утримуючи тепло в атмосфері протягом 100 років, на частку м'яса та молочних продуктів худоби припадає 14,5 відсотків усіх антропогенних глобальних викидів парникових газів.

Люди можуть скоротити щорічні викиди вуглекислого газу приблизно на 960 кг, переробляючи майже половину своїх побутових відходів. Замість того, щоб викидати зайве сміття, збільшуючи викиди вуглекислого газу в атмосферу, можна купувати товари у мінімальній упаковці. Ще один спосіб скоротити кількість відходів — купувати товари багаторазового використання, а не одноразові, наприклад, багаторазові пляшки для води. Люди повинні спочатку визначити ступінь свого вуглецевого сліду або обсяг вуглецю, який вони вносять в атмосферу внаслідок своєї повсякденної діяльності. Крім того, вони можуть визначити прилади, які споживають багато енергії, та вжити заходів щодо обмеження їх використання.

При купівлі побутової техніки дуже важливо звернути увагу на енергоефективні моделі. Існує необхідність визначити енергоефективні версії цієї побутової техніки, які гарантуватимуть зниження енергоспоживання та викидів парникових газів. Крім того, оскільки компактні люмінесцентні лампи споживають набагато менше енергії, ніж звичайні лампочки, їх можна використовувати замість останніх, щоб забезпечити природніше світло.

Обмеження користування автомобілем знижує викиди вуглекислого газу, оскільки люди споживатимуть менше бензину. Крім того, вони отримають більше фізичних вправ, якщо віддадуть перевагу їздити велосипедом або ходити пішки замість водіння. Крім того, дуже важливо перевірити ефективність автомобіля перед тим, як вирушити в дорогу.

Економія бензину автомобіля знижується більш ніж на 3%, якщо підтримувати правильно накачані шини, і її можна збільшити на 4%, якщо підтримувати автомобіль у добому робочому стані. Кожен літр бензину, який людина заощаджує, призводить до економії витрат. Аналогічно, це допомагає запобігти попаданню в атмосферу близько 8 кг вуглекислого газу, знижуючи викиди парникових газів. Безсумнівно, викиди автомобілів роблять великий внесок у глобальне потепління. Істотним джерелом викидів небезпечних для довкілля газів є виробництво цих автомобілів, виробництво бензину та будівництво доріг.

Дерева виділяють кисень в обмін на поглинання вуглекислого газу з повітря. За час існування дерево може поглинути близько однієї тонни вуглекислого газу. Отже, зараз саме час, коли хтось має ресурси для посадки дерев.

Чим більше людей почнуть вирощувати продукти харчування, тим більше викидів парникових газів можна видалити з атмосфери. Можна скоротити відстань, потрібну для доставки продуктів харчування від виробника до споживача. Деякі продукти переміщаються на великі відстані від джерела.

Транспортні засоби, які викидають у повітря різні парникові гази, часто долають ці відстані.

Надмірна упаковка вказує на те, що зайве сміття викидатиметься у навколишнє середовище, особливо на звалища та підприємства з компостування, що погіршує екосистему. Отже, менша кількість упаковки краща, оскільки це зменшує кількість відходів і кількість парникових газів, що викидаються в атмосферу при виробництві продукту.

Більшість побутових засобів для чищення не тільки засновані на нафті, а й вважаються шкідливими. Вважається, що велика кількість парникових газів в атмосфері спричинена головним чином цими речовинами. Здійснюючи покупки у супермаркеті, цих токсичних речовин можна уникнути, вибираючи менш небезпечні для здоров'я людини чи навколишнього середовища продукти.

Можна зменшити глобальне потепління, використовуючи тільки ту енергію, яка потрібна зараз, вимикати комп'ютер, телевізор та музичну систему, коли вони не використовуються, особливо мобільні зарядні системи, оскільки вони споживають енергію, навіть коли вимкнені.

Необхідно реалізувати безліч ініціатив та правил, щоб полегшити обмін інформацією та знаннями для підвищення розуміння громадськістю наслідків викидів парникових газів. Усі співробітники офісу та прилеглих територій мають бути навчені питанням переробки відходів та енергозбереження. Про переваги такої політики та програм необхідно також доводити до відома державних чиновників, щоб ті підтримували їх та вживали відповідних заходів для вирішення порушених ними проблем.

3.3. Кіотський протокол

Одним з перших завдань, поставлених РКЗК ООН, було створення національних кадастрів викидів і абсорбції парникових газів. У 1997 році був укладений Кіотський протокол, тобто юридично оформлене зобов'язання для розвинених країн зі скорочення викидів парникових газів. Протокол зобов'язує

розвинуті країни та країни з перехідною економікою скоротити або стабілізувати викиди парникових газів у 2008–2012 роках до рівня 1990 року. На сьогоднішній день підписала та ратифікувала протокол 191 країна, в тому числі більшість промислово розвинутих країн, крім США, які підписали, але не ратифікували угоду [19].

Проблема зміни клімату вже давно непокоїть світову громадськість. У 1992 р. на конференції ООН з навколишнього середовища в Ріо-де-Жанейро 155 країн, включаючи Україну, підписали Рамкову конвенцію ООН про зміну клімату. У 1997 р. на конференції Сторін Рамкової конвенції ООН про зміну клімату в Кіото (Японія) було прийнято протокол, в якому запропоновано кількісні зобов'язання щодо обмеження викидів парникових газів країнами, які підписали конвенцію. Суть Кіотського протоколу зводилася до скорочення загальносвітових викидів парникових газів до 2008 року на 5% рівня 1990 року. За останнє десятиліття минулого століття багато промислово розвинених країн зазнали економічного підйому, тоді як економіки колишніх радянських республік переживали стагнацію. Таким чином, промислово розвинені країни більшою чи меншою мірою перевищували встановлений для них рівень викидів парникових газів, а країни з перехідними економіками та країни, що розвиваються, виявилися нижчими за встановлений для них рівень викидів.

Виник квотний мезальянс, що став передумовою ринкового підходу до виконання країнами своїх зобов'язань щодо скорочення викидів парникових газів. За перевищення встановленої кількості викидів, як і за перевищення швидкості на дорозі, треба платити!

16 лютого 2005 року Кіотський протокол набув чинності після його ратифікації країнами, відповідальними за більш ніж 55% викидів парникових газів станом на 1990 рік. Верховна Рада України ратифікувала Кіотський протокол роком раніше. Як було сказано вище, різницю між рівнем викидів і зобов'язаннями для різних країн було прийнято перевести в площину ринкових відносин. Такий підхід є м'яким у тому сенсі, що промислово розвинені країни

мають вибір під час виконання своїх зобов'язань щодо зниження викидів парникових газів. Вони можуть виконувати свої кількісні зобов'язання щодо скорочення викидів за допомогою внутрішніх заходів, а також за допомогою трьох зовнішніх ринкових механізмів:

1. Міжнародна торгівля викидами – жорсткий механізм передачі надлишкових одиниць встановленої кількості однієї країни іншій країні за фінансування чи інші економічні вигоди. Право на продаж одиниць встановленої кількості належить державі, яка є Стороною конвенції ООН щодо зміни клімату. Можливість торгівлі викидами лише на рівні підприємств можлива у разі розподілу квот на викиди парникових газів у країні (рис. 3.2).



Рис.3.2. Механізм торгівлі викидами [19].

2. Механізм спільного здійснення – м'який проектно-орієнтований механізм передачі одиниць скорочення викидів іноземному інвестору, що утворилися. Участь у цьому механізмі можуть брати країни зі списку Додатка 1 Кіотського протоколу, до якого входить і Україна. У цьому механізмі держава уповноважує підприємство (або об'єкт), на якому реалізується проект спільного здійснення, передати одиниці скорочення викидів іноземному інвестору, який бере участь у фінансуванні цього проекту.

3. Механізм чистого розвитку – аналогічний до механізму спільного здійснення. Участь у цьому механізмі передбачено для країн зі списку Додатка

2 Кіотського протоколу, до якого входять країни, що в основному розвиваються.

На сьогоднішній день Україна не перевищує свою національну квоту з викидів парникових газів і, отже, може брати участь у встановлених Кіотським протоколом ринкових механізмах щодо передавання квот (статті 6 і 17 Кіотського протоколу) як продавець [28].

Україна має право брати участь у двох механізмах торгівлі викидами: міжнародній торгівлі викидами та механізмі СО. Оскільки внутрішньої системи розподілу квот на викиди парникових газів в Україні немає, то міжнародна торгівля викидами може здійснюватись лише державою. При цьому кошти від торгівлі надходять безпосередньо до державної скарбниці або до спеціального фонду. Брати участь у механізмі спільного здійснення мають окремі підприємства різної форми власності за умови проходження проекту через незалежну міжнародну експертизу отримання схвалення від держави. Кошти від продажу у цьому випадку надходять безпосередньо на рахунок підприємства, що реалізує проект СО[22].

Торгівля викидами за допомогою проектів СО – це нова можливість залучення підприємствами України іноземних інвестицій у енергозбереження та технічну модернізацію.

Як реагуватиме економіка на дію різних інструментів кліматичної політики? Виявилось, що податки та квоти дозволяють ефективно боротися із глобальним потеплінням за певних умов, але можуть значно відрізнятися залежно від ситуації [20].

Ці два інструменти працюють приблизно однаково за певних умов, але відмінності є і можуть бути значними. Якщо порівнювати, то вуглецевий податок здатний забезпечити більшу стабільність, ніж торгівля емісійними квотами.

Основною причиною глобального потепління є викиди в атмосферу різних промислових відходів. Зменшивши кількість викидів парникових газів, особливо вуглекислого газу, можна скоротити темпи глобального потепління. У багатьох країнах у тій чи іншій формі існує вуглецевий податок. Також є емісійні квоти – сертифікати, що дають право на забруднення, – якими фірми можуть торгувати одна з одною. Як свідчать дослідження, ці заходи справді ефективні і дозволяють скоротити викиди парникових газів на 10% і більше без серйозної шкоди для економіки. Існуючі моделі, присвячені цій темі, не зважають на складну динамічну систему економіки, учасники якої не завжди надходять раціонально.

Фірми встановлюють ціну товар виходячи з передбачуваного попиту. Якщо є торгівля квотами — продають їх та купують через аукціон. Потім йде виробництво та продаж товарів, після чого учасники вирішують, чи можуть вони скоротити кількість викидів, інвестуючи у нові технології. Вартість емісії парникових газів впливає вартість продукції і на рішення, чи варто фірмі поліпшити виробниче обладнання, зробивши його більш ефективним і екологічним.

Виявилось, що у разі податків вдається контролювати розмір виплат так, щоб у виробництв була можливість закупити ефективне обладнання і таким чином усунути пріоритет на ринку у бік більш екологічних фірм. З продажем квот ситуація дещо складніша, тому що при скороченні викидів ціни на квоти падають і менш екологічні фірми починають закуповувати ці активи. Надалі вчені планують розширити модель та отримати точніший аналіз ефектів від економічних заходів кліматичної політики.

3.4. Паризька угода (2015)

Наступним документом у межах Рамкової конвенції ООН про зміну клімату стала Паризька угода щодо регулювання заходів зі зменшення викидів діоксиду вуглецю з 2020 р. Текст угоди погодили на 21-й Конференції учасників

UNFCCC в Парижі та прийняли консенсусом 12 грудня 2015. Вступила в дію 4 листопада 2016.

Вироблена у Парижі у грудні 2015 року угода щодо клімату вперше в історії об'єднала зусилля всіх світових держав щодо стримування кліматичних змін. Її схвалили 195 країн, що дозволило оглядачам назвати цю угоду історичною.

Вона прийшла на заміну Кіотському протоколу, що діяв до того моменту від 1997 року, який встановив квоти з викиду парникових газів тільки для кількох розвинених країн, проте США вийшли з цієї угоди, а низка інших країн не виконали домовленості.

Договір набув чинності у листопаді 2016 року.

Ключові положення угоди:

Не дозволяти середній температурі на планеті зростати вище 2⁰С по відношенню до показників доіндустріальної епохи, а по можливості знизити її до 1,5⁰С.

Почати в період з 2050-2100 рр. обмежувати викид парникових газів, одержуваних в результаті промислової діяльності людини, до рівня, який дерева, ґрунт і Світовий океан можуть переробити природним чином.

Переглядати у бік збільшення кожні п'ять років вклад кожної окремої країни зі зниження шкідливих викидів в атмосферу.

Розвинені країни повинні виділяти кошти до спеціального кліматичного фонду для допомоги біднішим державам на боротьбу з наслідками кліматичних змін (наприклад, стихійні лиха або підйом рівня океану) та перехід на використання відновлюваних джерел енергії.

Найголовніше - це втримати зростання температури на Землі в межах 2⁰С по відношенню до показників доіндустріальної епохи - показники вищі за це, на думку вчених, призведуть до незворотних наслідків.

На жаль, ми вже на півдорозі до цього сценарію, оскільки середні температури зросли, порівняно з ХІХ століттям, майже на 1⁰С, у зв'язку з чим

багато країн виступали за введення більш жорсткого обмеження - до $1,5^{\circ}\text{C}$; серед цих країн були ті, які розташовані в низинах і, відповідно, знаходяться в зоні ризику затоплення у разі підвищення рівня моря.

У результаті остаточний текст угоди включено обіцянку прагнути обмежити зростання середніх температур планети до $1,5^{\circ}\text{C}$.

У той же час вперше в таку угоду включено довгостроковий план щодо якнайшвидшого зниження викидів парникових газів і досягнення балансу між парниковими газами, що виникають в результаті діяльності людини, і їх поглинанням морями і лісами - до другої половини XXI століття.

Якщо вдасться домовитися та виконати ці домовленості, це означатиме зниження сальдо викиду парникових газів до нуля протягом кількох десятиліть. Країни, що розвиваються, заявили, що їм необхідна фінансова і технологічна допомога, щоб одразу перескочити на безвуглецеву економіку.

Їм пообіцяли виділяти до 2020 року 100 млрд доларів на рік - але це менше, ніж розраховували отримувати багато хто з них [18].

Паризька угода зобов'язала розвинені країни підтримувати фінансування цієї суми в 100 млрд доларів щорічно до 2020 року, і, відштовхнувшись від неї, домовитися до 2025 року про продовження фінансування цього процесу [38].

Лише окремі положення Паризької угоди є обов'язковими до виконання.

Національні стратегії скорочення парникових газів мають добровільну основу; до того ж переговори якраз спіткнулися на питанні про те, коли потрібно буде їх переглянути у бік посилення [42].

Договір зобов'язував учасників переглянути досягнутий прогрес у 2018 році, а надалі проводити подібну оцінку кожні п'ять років.

Як вважають аналітики, Паризька угода - це лише початковий етап впровадження енергозберігаючих технологій, і зробити доведеться ще дуже багато.

3.5. Виконання конвенції Україною

В Україні виконання вимог цієї конвенції та впровадження механізмів Кіотського протоколу до неї, у тому числі в частині реалізації проектів, спрямованих на охорону навколишнього природного середовища, було метою діяльності Національного агентства екологічних інвестицій України (з вересня 2014 функції передані Мінекології)[2].

Україна підписала Паризьку угоду (2015) цієї Конвенції 22 квітня 2016 року у м. Нью-Йорку. Верховна Рада України ратифікувала її 14 липня 2016 року.

Згідно з «Додатком 1» до конвенції, сформованим на початку 1990-х, Україна знаходиться в переліку розвинутих країн. Це означає, що Україна зараз не може претендувати на фінансову допомогу менш заможним країнам для боротьби зі зміною клімату та адаптації до неї (у 2019 році сукупна річна допомога склала майже \$80 млрд)[3].

По-перше, досягнення швидкого поступового скорочення викидів CO₂ потребує зростання внутрішнього збору за викиди вуглецю з прикордонним митом на продукти з країн, які не сплачують збору за викиди вуглецю, а також підтримки сучасної атомної енергетики на додаток до відновлюваних джерел енергії[5].

По-друге, Захід, який головним чином відповідає за зміну клімату, повинен співпрацювати з країнами, що розвиваються, щоб допомогти їм досягти енергетичних шляхів, які відповідають сприятливому клімату для всіх.

По-третє, навіть за таких зусиль, глобальне потепління досягне рівня з небезпечними наслідками; люди також повинні проводити дослідження та розробки для тимчасових, цілеспрямованих дій для вирішення нині величезного енергетичного дисбалансу Землі.

Земля вийшла з енергетичного балансу на 0,6 Вт/м² (ват на квадратний метр). Надходить набагато більше енергії (поглиненого сонячного світла), ніж

виходить (теплове випромінювання в космос). Цей надлишок, який є безпосередньою причиною глобального потепління, еквівалентний 400 000 атомних бомб Хіросіми на день, причому більша частина цієї енергії йде в океан [36].

Тепер, в основному через зменшення кількості аерозолів, дисбаланс подвоївся приблизно до $1,2 \text{ Вт/м}^2$. Цей величезний дисбаланс є безпосередньою причиною прискореного глобального потепління та посиленого танення полярного льоду, що, ймовірно, призведе до зупинки циркуляції в океані та призведе до значного, швидкого підвищення рівня моря пізніше цього століття.

Потенційні дії включають введення стратосферних аерозолів, для яких вулкани надають відповідні, але неадекватні тестові приклади, і розпилення солоної океанської води автономними вітрильниками в регіонах, сприйнятливих до засівання хмарами. Такі дії будуть необхідними, щоб уникнути більшої геотрансформації, яка відбудеться за відсутності таких дій.

Люди повинні зосередитися на основній проблемі, яка виникла в західних демократіях, особливо в Сполучених Штатах: Ідеал – «одна людина/один голос» повинен бути замінений на «один долар/один голос». Особливі фінансові інтереси – промисловість викопного палива, хімічна промисловість, лісопромисловість, харчова промисловість, наприклад – можуть купувати політиків. Не дивно, що клімат виходить з-під контролю, токсичність навколишнього середовища знищує комах, у тому числі запилювачів, лісами погано керують, а сільське господарство створено для прибутку, а не для харчування та добробуту населення.

Ми живемо на планеті з кліматом, який характеризується запізнілою реакцією, що є рецептом несправедливості між поколіннями. Люди повинні зрозуміти цю ситуацію та дії, необхідні для забезпечення світлого майбутнього для себе та своїх дітей.

ВИСНОВКИ.

1. Управління парниковим ефектом є найважливішим завданням, що потребує колективних зусиль та інноваційних рішень. Завдяки вивченню різних ефективних стратегій стає ясно, що існують життєздатні способи пом'якшення парникового ефекту та боротьби зі зміною клімату.

- зменшення викидів парникових газів в атмосферу. Це можна зробити за допомогою встановлення спеціальних фільтрів. Замість спалювання використовувати вторинну переробку (сміття сортувати і використовувати вторинно; опавше листя закладати в компостні ями (компостери) та інше).

- збільшення кількості поглиначів парникових газів. Рішенням є озеленення. Постійне і систематичне. Прибрати фактори знищення рослинності (пожежі, вирубка лісів). Також можна встановлювати екологічні установи, що вирішуватимуть це питання. Обов'язкове вирішення питання стосовно океанів, їх очищення і підтримання сталості екосистем.

- перехід на альтернативні види палива. Їх розробка ведеться, але впровадження, на жаль, повільне.

Також очевидно, що окремі дії, такі як скорочення харчових відходів, економія енергії та вибір сталого способу життя можуть сприяти управлінню парниковим ефектом на особистому рівні. Освіта та обізнаність відіграють ключову роль у стимулюванні позитивних змін та розширенні можливостей співтовариств, бізнесу та урядів для вжиття активних заходів у напрямку сталого розвитку [39].

Однак керування парниковим ефектом вимагає більшого, ніж просто технологічні досягнення чи індивідуальні зусилля. Це потребує системних змін, політичного втручання та глобальної співпраці. Неможливо вирішити цю проблему в окремо взятій країні. Вкрай важливо, щоб уряди, організації та окремі особи працювали разом, щоб скоротити викиди парникових газів,

захистити наші природні ресурси та зробити пріоритетом сталий розвиток у всіх аспектах життя.

2. Переваги ефективного управління теплицею виходять за межі захисту навколишнього середовища. Поліпшення якості повітря, збільшення біорізноманіття та економічні можливості — це лише деякі з позитивних результатів, яких можна досягти за допомогою сталих методів. Перехід до «зеленішого» майбутнього також створює можливості для інновацій, створення робочих місць та соціального благополуччя.

Вчені впевнені, що глобальні температури продовжуватимуть зростати в найближчі десятиліття, в основному через викиди парникових газів, спричинені діяльністю людини. На довкілля вже вплинула глобальна зміна клімату. Відступили льодовики, розтанув лід на річках та озерах, змінилися ареали рослин та тварин, раніше стали цвісти дерева. Діяльність, пов'язана з виробництвом електроенергії та її споживанням, асоціюється з викидами, що потенційно впливають на парниковий газ, який є основним джерелом глобального потепління, що насувається. Насправді антропогенні викиди парникових газів від енергетичної діяльності більше, ніж викиди парникових газів від інших видів людської діяльності. Дослідження також показало необхідність скорочення викидів парникових газів, збільшення споживання відновлюваних джерел енергії, щоб вирішити питання енергетичної безпеки, енергетичного контролю та проблем, пов'язаних зі здоров'ям.

3. Російська збройна агресія проти України призвела до катастрофічних наслідків – тисячі жертв, мільйони людей залишили країну, масштабні руйнування. Поряд із цим, війна негативно впливає на зміну клімату, загрожує глобальним зусиллям з досягнення цілей Паризької кліматичної угоди.

Питання захисту довкілля, зокрема зміни клімату, будуть одними з основних у переговорному процесі щодо набуття повноцінного членства України в ЄС. Тому перед нашою державою постає завдання щодо якнайшвидшої

імплементатії вимог, котрі передбачено Угодою про асоціацію між Україною та ЄС у сфері зміни клімату [37].

Перше – оновити відповідні документи в рамках Паризької угоди про зміну клімату та ратифікувати Кігалійську поправку до Монреальського протоколу, яка передбачає поетапне скорочення виробництва і споживання гідрофторвуглеців, що використовуються як холодоагенти в кондиціонерах та холодильниках..

Нещодавно ухвалений закон "Про основні засади державної кліматичної політики" закріпив нову довгострокову ціль – досягнути кліматичної нейтральності до 2050 року. Це було зроблено для імплементатії кліматичного закону ЄС і повністю відповідає основній цілі Європейського зеленого курсу[7].

На практиці це означає необхідність розробки, ухвалення та подання в ООН двох документів: оновленого національного внеску та довгострокової стратегії низьковуглецевого розвитку. Це потребуватиме складного моделювання та пошуку нових компромісів з ключовими секторами (енергетика, транспорт, промисловість тощо) [21].

Друга рекомендація – відновити роботу системи моніторингу, звітування та верифікації викидів парникових газів від промисловості та прийняти дорожню карту впровадження системи торгівлі викидами[10].

Усе це стосується запровадження європейського механізму плати за викиди парникових газів. Навряд чи виконання цієї рекомендації є дуже складним завданням, оскільки не вимагатиме запровадження додаткових податків чи зборів для бізнесу вже сьогодні[6].

Для врахування наслідків впливу російської збройної агресії на зміну клімату, збереження та подальшого відновлення основних компонентів довкілля Кабінету Міністрів України, Міністерству захисту довкілля та природних ресурсів України рекомендується:

1) розглянути створення під егідою міжнародних організацій спеціальної місії з екологічного моніторингу викидів парникових газів унаслідок російської збройної агресії;

2) визначити можливість включення всіх типів викидів унаслідок російської збройної агресії до глобального підрахунку парникових газів;

3) спільно з ООН та ЄС запровадити дистанційне спостереження за масштабним руйнуванням під час війни резервуарів з паливом, інфраструктури міст та лісовими пожежами у рамках Конвенції ООН про зміну клімату [27].

Вирішення проблеми парникового ефекту вимагає багатогранного підходу, який поєднує в собі технологічні досягнення, політичні заходи та індивідуальні дії. Вживаючи активних заходів щодо забезпечення сталого розвитку, можна ефективно управляти парниковим ефектом та захистити нашу планету для нинішнього та майбутніх поколінь. Необхідно приділяти пріоритетну увагу сталим практикам і колективно працювати над більш зеленим, здоровим та стійким майбутнім. Настав час діяти, і разом ми можемо вплинути на нашу планету і боротися з проблемами зміни клімату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Акерман А. Зміна клімату загрожує українській житниці. Анна Акерман, Атлантична рада, 2020. URL: <https://atlanticcouncil.org/blogs/ukrainealert/climate-change-threatens-the-ukrainian-breadbasket/>
2. Аналітичний документ кліматична дипломатія В ЄС: висновки та рекомендації для України. Експертно-дорадчий центр «Правова аналітика», 2017. URL: <https://www.rac.org.ua/uploads/content/371/files/climate-diplomacy.pdf>
3. Аналітична доповідь Україна і політика протидії зміні клімату: економічний аспект, 2016. URL: http://razumkov.org.ua/images/Material_Conference/11_24_2016/2016_Klimat.pdf
4. Державна Казначейська служба України [Електронний ресурс] – URL: <https://www.treasury.gov.ua/ua>
5. Єременко І. КЛІМАТИЧНА ПОЛІТИКА УКРАЇНИ: ЕНЕРГЕТИЧНА СКЛАДОВА / І. Єременко, М. Винярска, Ю. Мельник. – 2019. URL: https://ua.boell.org/sites/default/files/hbs_klimatichna_politika_ukrayini_energetichna_skladova.pdf
6. Закон України "Про Рахункову палату". URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/576-19>
7. Закон України від 08.10.2024 № 3991-IX. Верховна Рада України. Про основні засади державної кліматичної політики. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3991-IX>
8. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2019 році. URL: <https://www.dsns.gov.ua>.
10. Координований паралельний аудит EUROSАI з питань зміни клімату. URL: <https://rp.gov.ua/IntCooperation/IntAudits/>
11. Коваленко Ю.Л. Метеорологія і кліматологія. Харків 2018.
12. НАСА, обсерваторія. Джошуа Стівенс, <https://climate.nasa.gov/news/2537/nasa-noaa-data-show-2016-warmest-year-on-record-globally/>
13. Офіційний портал Міністерства енергетики та захисту довкілля України. URL: <https://menr.gov.ua/>
14. Офіційний сайт Державної служби статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
15. Офіційний сайт Метеорологічної служби Weather Online Ltd. URL: <https://www.weatheronline.co.uk/>

16. Офіційний сайт Національного управління з питань аеронавтики та космосу, Інститут космічних досліджень Годдарда. URL: <https://data.giss.nasa.gov/>

17. Офіційний сайт служби моніторингу льодовиків у світі. URL: <https://wgms.ch/>

18. Офіційний сайт Світового банку. URL: <https://www.worldbank.org/>

19. Питання та відповіді про зміну клімату та Кіотський протокол. URL: <http://climategroup.org.ua/>

20. Податковий кодекс України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17>

20. 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.

21. Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_044.

22. Рахункова палата. URL: <https://rp.gov.ua/home/>.

23. Сніжко С., Шевченко О., Дідовець Ю., Аналіз впливу кліматичних змін на водні ресурси України 2021.

24. Соломенко Л.І., Боголюбов В.М., Волох А.М. Загальна екологія . Київ НУБІПУ 2020.

25. Степаненко С.М. Динаміка та моделювання клімату: підручник для студентів вищих навчальних закладів. Одеса: Екологія, 2013. 204с.

26. Терлецька К., Кузьменко Д. «Клімат у твоїх руках». Vivat, 2023. 80с.

27. Урядовий портал. URL: <https://www.kmu.gov.ua/>

28. Шосте національне повідомлення України щодо зміни клімату, 2013. URL: <http://www.seia.gov.ua/seia/doccatalog/document?id=638134>

29. Що таке зміни клімату? НАСА: Глобальні зміни клімату. URL: <https://climate.nasa.gov/>

30. A Global Knowledge Portal for Climate and Development Practitioners. URL: <https://www.climatelinks.org/>

31. AMADEO K. Climate Change Facts and Effect on the Economy. KIMBERLY AMADEO, 2020. URL: <https://www.thebalance.com/economic-impact-of-climate-change-3305682>

32. Arrhenius S. On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. Svante Arrhenius, Philosophical Magazine and Journal of Science. – 1896. – Series 5, Volume 41. – C. 237–276. URL: https://www.rsc.org/images/Arrhenius1896_tcm18-173546.pdf

33. Can we make better graphs of global temperature history? URL: <http://www.realclimate.org/index.php/archives/2014/03/can-we-make-better-graphs-of-global-temperature-history/>

34. Emission Database for Global Atmospheric Research. URL: <https://edgar.jrc.ec.europa.eu/#>

35. Global Temperature: URL: <http://www.columbia.edu/~mhs119/Temperature/>

36. “Global warming in the pipeline” by James E Hansen, Makiko Sato, Leon Simons, Larissa S Nazarenko, Isabelle Sangha, Pushker Kharecha, James C Zachos, Karina von Schuckmann, Norman G Loeb, Matthew B Osman, Qinjian Jin, George Tselioudis, Eunbi Jeong, Andrew Lacis, Reto Ruedy, Gary Russell, Junji Cao and Jing Li, 2 November 2023, Oxford Open Climate Change.

37. Government expenditure on environmental protection [Електронний ресурс]. – 2020. – URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics>

38. National Inventory Submissions 2019. United Nations Climate change. URL: <https://unfccc.int/process-and-meetings>

39. Report with ES Stern Review: The Economics of Climate Change. URL: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/sternreview_report_complete.pdf

40. The Intergovernmental Panel on Climate Change. URL: <https://www.ipcc.ch/>

41. T. Wang. Global Climate Change - Statistics & Facts. T. Wang, Statista. URL: <https://www.statista.com/topics/1148/global-climate-change/>

42. United Nations Framework Convention on Climate Change. URL: <https://unfccc.int/>

43. Vulnerability of Ukrainian Forests to Climate Change. A. Shvidenko, I. Buksha, S. Krakovska, P. Lakyda, 2017. URL: https://www.researchgate.net/publication/318073496_Vulnerability_of_Ukrainian_Forests_to_Climate_Change

44. The Global Risks Report 2023. Url: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2023.pdf P.6

45. Міндовкілля: Війна росії проти України пришвидшує зміну клімату.
Url: <https://www.kmu.gov.ua/news/mindovkillia-viina-rosii-proty-ukrainy-pryshvydshuie-zminu-klimatu-ta-sprychyniaie-zbilshennia-vykydiv-parnykovykh-haziv>
46. Зміна клімату 2023: збільшення викидів внаслідок війни та прогнози.
Url: <https://mepr.gov.ua/news/40943.html>
47. Див.: Url: <https://www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2023-01-18/secretary-generals-remarks-the-world-economic-forum>
48. Nord Stream Gas Leaks May Be a New Disaster for the Climate.
Url: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-09-28/nord-stream-gas-leaks-could-be-unprecedented-climate-disaster?srnd=premium-europe&leadSource=uverify%20wall>
49. Shi, X. et al. Sorbents for the direct capture of CO₂ from ambient air. *Angew. Chem. Int. Ed.* **59**, 6984–7006 (2020).
50. Zhu, X. et al. Recent advances in direct air capture by adsorption. *Chem. Soc. Rev.* **51**, 6574–6651 (2022).
51. Chen, O. I.-F. et al. Water-enhanced direct air capture of carbon dioxide in metal-organic frameworks. *J. Am. Chem. Soc.* **146**, 2835–2844 (2024).
52. Deutz, S. & Bardow, A. Life-cycle assessment of an industrial direct air capture process based on temperature–vacuum swing adsorption. *Nat. Energy* **6**, 203–213 (2021).
53. Miao, Y., He, Z., Zhu, X., Izikowitz, D. & Li, J. Operating temperatures affect direct air capture of CO₂ in polyamine-loaded mesoporous silica. *Chem. Eng. J.* **426**, 131875 (2021).
54. Rim, G., Feric, T. G., Moore, T. & Park, A. H. A. Solvent impregnated polymers loaded with liquid-like nanoparticle organic hybrid materials for enhanced kinetics of direct air capture and point source CO₂ capture. *Adv. Funct. Mater.* **31**, 2010047 (2021).
55. Choe, J. H. et al. Boc protection for diamine-appended MOF adsorbents to enhance CO₂ recyclability under realistic humid conditions. *J. Am. Chem. Soc.* **146**, 646–659 (2024).
56. Barsoum, M. L. et al. Probing structural transformations and degradation mechanisms by direct observation in SIFSIX-3-Ni for direct air capture. *J. Am. Chem. Soc.* **146**, 6557–6565 (2024).

57. Carneiro, J. S. A. et al. Insights into the oxidative degradation mechanism of solid amine sorbents for CO₂ capture from air: roles of atmospheric water. *Angew. Chem. Int. Ed.* **62**, e2023028 (2023).
58. Yaghi, O. M., Kalmutzki, M. J. & Diercks, C. S. *Introduction to Reticular Chemistry: Metal-Organic Frameworks and Covalent Organic Frameworks* (Wiley, 2019).
59. Li, H., Dilipkumar, A., Abubakar, S. & Zhao, D. Covalent organic frameworks for CO₂ capture: from laboratory curiosity to industry implementation. *Chem. Soc. Rev.* **52**, 6294–6329 (2023).
60. Lyu, H., Li, H., Hanikel, N., Wang, K. & Yaghi, O. M. Covalent organic frameworks for carbon dioxide capture from air. *J. Am. Chem. Soc.* **144**, 12989–12995 (2022).
61. Lin, J.-B. et al. A scalable metal-organic framework as a durable physisorbent for carbon dioxide capture. *Science* **374**, 1464–1469 (2021).
62. Lyu, H., Diercks, C. S., Zhu, C. & Yaghi, O. M. Porous crystalline olefin-linked covalent organic frameworks. *J. Am. Chem. Soc.* **141**, 6848–6852 (2019).
63. Ji, W. et al. Removal of GenX and perfluorinated alkyl substances from water by amine-functionalized covalent organic frameworks. *J. Am. Chem. Soc.* **140**, 12677–12681 (2018).
64. Mao, H. et al. A scalable solid-state nanoporous network with atomic-level interaction design for carbon dioxide capture. *Sci. Adv.* **8**, eabo6849 (2022).
65. Panda, D., Kulkarni, V. & Singh, S. K. Evaluation of amine-based solid adsorbents for direct air capture: a critical review. *React. Chem. Eng.* **8**, 10–40 (2023).
66. Kolle, J. M., Fayaz, M. & Sayari, A. Understanding the effect of water on CO₂ adsorption. *Chem. Rev.* **121**, 7280–7345 (2021).
67. Ilkaeva, M. et al. Assessing CO₂ capture in porous sorbents via solid-state NMR-assisted adsorption techniques. *J. Am. Chem. Soc.* **145**, 8764–8769 (2023).
68. World Meteorological Organization <https://wmo.int/>
69. Zhou, Z. et al. Computational results for the publication “Carbon dioxide capture from open air using covalent organic frameworks”. Zenodo <https://doi.org/10.5281/zenodo.13382234> (2024).