



Науковий центр
аерокосмічних досліджень Землі
ІТН НАН України



Української
гідрометеорологічний центр



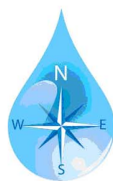
Національний університет
«КИЄВО-МОГИЛЯНЬСЬКА АКАДЕМІЯ»

ПАРНИКОВИЙ ЕФЕКТ І ЗМІНИ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ: ОЦІНКИ ТА НАСЛІДКИ

Відповідальний редактор академік НАН України
В. І. Лялько



Scientific Centre for
Aerospace Research of the Earth
Institute of Geological Science
National Academy of Sciences of Ukraine



Ukrainian
Hydrometeorological Center



National University of
"Kyiv - Mohyla Academy"

GREENHOUSE EFFECT AND CLIMATE CHANGES IN UKRAINE: ASSESSMENTS AND CONSEQUENCES

Editor-in-Chief
Academician of National Academy of Sciences of Ukraine
V. I. Lyalko

УДК 553.98(477+575.18+571.66):558.8.003

ПАРНИКОВИЙ ЕФЕКТ І ЗМІНИ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ: ОЦІНКИ ТА НАСЛІДКИ / ВІДП. РЕД. В. І. ЛЯЛЬКО. — КИЇВ, 2015

Сьогодні відбуваються масштабні просторово-часові кліматичні зміни на Землі глобального і регіонального характеру — так званий парниковий ефект. Це зумовило необхідність проведення різноманітних досліджень з метою виявлення їх природи, причин виникнення та прогнозування їх перебігу в майбутньому.

Викладено сучасний стан досліджень по проблемі визначення парникового ефекту в світі та Україні. Наведено результати експериментальних визначень балансу вуглекислого газу та оцінки розбіжностей у визначенні цього показника за методикою Національного кадастру та супутниковими вимірами. Проаналізовано багаторічні матеріали наземного та супутникового моніторингу температури повітря для пояснення кліматичних змін в Україні. Виконано оцінку ризиків впливу цих змін. Запропоновано заходи щодо мінімізації негативних наслідків подібного впливу.

Розглянуто прогнозні варіанти кліматичних змін у короткостроковій перспективі. Оцінено можливий еколого-економічний вплив цих процесів на природу і суспільство. Визначено напрями подальших досліджень та практичного впровадження їх результатів з метою раціонального природокористування та соціо-економічного розвитку України.

Для широкого кола читачів, яких цікавить вплив кліматичних змін на довкілля та еколого-економічний розвиток суспільства.

At present the large-scale spatial and temporal climate changes of the Earth are occurring at the global and regional levels known as greenhouse effect. This requires the different studies to reveal their character, causes of occurrence and predict their progressing in the future.

The current state of researches on the problem of estimating the greenhouse effect in the world and Ukraine is highlighted. The results of experimental determination of carbon dioxide balance and assessments of the discrepancies for this indicator determined by the method of the National Cadastre and satellite measurements are produced. The long-term air temperature data provided by in situ observations and satellite monitoring are analyzed to explain the climate changes in Ukraine. The risk assessment of climatic change impact is obtained. The measures for the mitigation of negative consequences of this impact are proposed.

The prediction versions for the climatic changes in the short – term perspectives are discussed. The possible ecological and economical influences of these processes on environment and society are evaluated. The lines of the further investigations and practical implementation of their results aiming to the environment management and socio-economic development in Ukraine are defined.

This book is addressed to a wide range of readers, who have an interest in the climatic changes in environment, as well as ecological and economic development of society.

Редакційна колегія:

канд. геогр. наук Л. О. Єлістратова, канд. біол. наук Г. М. Жолобак, канд. фіз.-мат. наук Ю. В. Костюченко, канд. геогр. наук М. І. Кульбіда (заст. відп. редактора), канд. геол. наук Д. М. Мовчан, д. геол. н. О. І. Сахацький (заст. відп. редактора)

Рецензенти:

чл.-кор. НАН України О. Д. Федоровський, чл.-кор. НАН України О. Ю. Митропольський

Затверджено до друку вченою радою Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук
НАН України і Бюро відділення наук про Землю

© О. А. Апостолов, І. Г. Артеменко, М. Б. Барабаш, Ю. Г. Білоус, М. В. Ваколюк, Л. О. Єлістратова, С. С. Дугін, Г. М. Жолобак, Ю. В. Захарчук, С. В. Киризок, І. М. Копачевський, Ю. В. Костюченко, М. І. Кульбіда, В. І. Лялько, Д. М. Мовчан, О. І. Сахацький, О. О. Халаїм, М. В. Ющенко

ISBN 978-966-95419-01

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВБ	— Всесвітній Банк
ВВК	— валовий вітальний капітал
ВВП	— внутрішній валовий продукт
ВГП	— валовий глобальний продукт
ВДК	— валовий духовний капітал
ВЕК	— питоме виробництво екокапіталу
ВЛК	— виробництво людського капіталу
ВМО	— Всесвітня Метеорологічна організація
ВНП	— валовий національний продукт
ВНС	— вакуум-насосна станція
ВРП	— валовий регіональний продукт
ВСК	— валовий соціальний капітал
ГІС	— геоінформаційна система
ГТК	— гідротермічний коефіцієнт
ГФВ	— гідрофторвуглець
ДЗЗ	— дистанційне зондування Землі
Екос	— глобальна система «людина — суспільство — природа»
ЕРВ	— ефективний радіаційний вплив
ЗЗЛГ	— зміни в землекористуванні та лісове господарство
ІГН	— Інститут геологічних наук НАН України
ІРЛ	— індекс розвитку людини
ІРЛП	— індекс розвитку людського потенціалу
МВФ	— Міжнародний Валютний Фонд
МГЕЗК	— Міжнародна група експертів зі змін клімату
МНС	— Міністерство надзвичайних ситуацій
НАН	— Національна академія наук
НАУКМА	— Наукова установа «Могилянська академія»
НМЛОС	— Неметанові леткі органічні сполуки
НЦОВПГ	— Національний центр обліку викидів парникових газів
ООН	— Організація Об'єднаних Націй
ПАК	— Північно-Атлантичне коливання
ПВК	— питомий відтворений капітал
ПГ	— парникові гази
ПЛК	— питомий людський капітал
ПФВ	— перфторвуглець
РВ	— радіаційний вплив
РТК	— репрезентативні траєкторії концентрацій
ЦАКДЗ	— Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі
СІГ	— індекс соціогуманітарного розвитку
СІР	— синтетичний індекс розвитку
УкрНДГМІ	— Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут
ЦГО	— Центральна геофізична обсерваторія
ЦДА	— Центр дії атмосфери
ЮНЕП	— Програма ООН по навколишньому середовищі
DAO	— Data Assimilation Office
GPP	— валова первинна продукція
ID	— Index of Drought (індекс посухи)
IPCC	— Intergovernmental Panel on climate Change
KPCA	— Kernel Principal Component Analysis
NCAR	— Національний центр досліджень атмосфери США
NPP	— Чиста первинна продукція

З М І С Т

ПЕРЕДМОВА

В. І. Лялько

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ПРОБЛЕМІ

В. І. Лялько, О. І. Сахацький, Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, І. Г. Артеменко, М. В. Ваколюк

РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ СТОКУ (АБСОРБЦІЇ РОСЛИНАМИ) CO₂ ДЛЯ ОСНОВНИХ АГРОКУЛЬТУР УКРАЇНИ

В. І. Лялько, О. О. Халаїм, О. І. Сахацький, М. В. Ваколюк, С. С. Дугін, Г. М. Жолобак

2.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНИХ УМОВ ТА БІОФІЗИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АГРОКУЛЬТУР НА ДОСЛІДНИХ ДІЛЯНКАХ
М. В. Ваколюк

2.2. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ГАЗОМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
О. О. Халаїм

2.2.1. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВАЛОВОЇ ПЕРВИННОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ЛІСОСТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ
О. О. Халаїм

2.3. ПОЛЬОВІ СПЕКТРОМЕТРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АБСОРБЦІЇ CO₂ АГРОКУЛЬТУРАМИ НА ТЕСТОВОМУ ПОЛІГОНІ “БЕРЕЗАНЬ” (КИЇВСЬКА ОБЛАСТЬ) ТА ВИЗНАЧЕННЯ КОРЕЛЯТИВНИХ ЗВ’ЯЗКІВ СПЕКТРОМЕТРИЧНИХ ДАНИХ З РЕЗУЛЬТАТАМИ АНАЛОГІЧНИХ ГАЗОМЕТРИЧНИХ ВИЗНАЧЕНЬ
С. С. Дугін

2.4. ВАЛОВА ПЕРВИННА ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ЧИСТА ПЕРВИННА ПРОДУКТИВНІСТЬ РОСЛИННОГО ПОКРИВУ ОСНОВНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ, МИКОЛАЇВСЬКОЇ ТА ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТЕЙ УКРАЇНИ ЗА ДАНИМИ ПРОДУКТІВ MODIS
О. І. Сахацький, Г. М. Жолобак

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА РОЗБІЖНОСТЕЙ У ВИЗНАЧЕННІ ЕМІСІЙ ТА СТОКУ (АБСОРБЦІЇ РОСЛИНАМИ) CO₂ ДЛЯ УКРАЇНИ, ВИКОНАНИХ ЗА МЕТОДИКОЮ НАЦІОНАЛЬНОГО КАДАСТРУ, В ПОРІВНЯННІ З ДАНИМИ СУПУТНИКОВИХ ВИМІРІВ

В. І. Лялько, Д. М. Мовчан, Ю. В. Захарчук, І. Г. Артеменко

3.1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ІНВЕНТАРИЗАЦІЮ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ В УКРАЇНІ ЗГІДНО З МІЖНАРОДНИМИ УГОДАМИ ТА РОЗРОБЛЕНИМИ НАЦІОНАЛЬНИМИ МЕТОДИКАМИ
Ю. В. Захарчук

3.2. БАЗОВІ ПРИНЦИПИ ТА ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДОЛОГІЇ РОЗРАХУНКУ (ОЦІНКИ) ЕМІСІЙ/СТОКУ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ КРАЇНАМИ, ЗОКРЕМА УКРАЇНОЮ, ВІДПОВІДНО ДО РЕКОМЕНДАЦІЙ МГЕЗК (IPCC)
Ю. В. Захарчук

3.3. ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ, ПРОБЛЕМАТИКА ТА НЕТОЧНОСТІ, А ТАКОЖ ТЕНДЕНЦІЇ ЕМІСІЙ/СТОКУ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ЗА СЕКТОРАМИ, ВІДПОВІДНО ДО МЕТОДИК МГЕЗК ТА НАЦІОНАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ, ПОДАНИХ У НАЦІОНАЛЬНОМУ КАДАСТРІ
В. І. Лялько, І. Г. Артеменко, Ю. В. Захарчук

3.4. ДОСТОВІРНІСТЬ (ВЕЛИЧИНИ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ) ОЦІНОК БАЛАНСУ, СТОКУ ТА ЕМІСІЙ ВУГЛЕЦЮ І ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ В НАЦІОНАЛЬНІЙ СИСТЕМІ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ
Д. М. Мовчан

3.5. ОГЛЯД МЕТОДОЛОГІЇ ОЦІНКИ ЕМІСІЙ/СТОКУ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ НА ОСНОВІ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ
І. Г. Артеменко, Д. М. Мовчан

РОЗДІЛ 4. ОСОБЛИВОСТІ ЗМІН КЛІМАТУ В УКРАЇНІ НА КІНЕЦЬ ХХ–ПОЧАТОК ХХІ СТ. ЗА НАЗЕМНИМИ ТА СУПУТНИКОВИМИ ДАНИМИ

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, М. І. Кульбіда, О. А. Апостолов, М. Б. Барабаш

4.1. ОСОБЛИВОСТІ ЗМІНИ ГЛОБАЛЬНОГО І РЕГІОНАЛЬНОГО (УКРАЇНА) КЛІМАТУ У ЗВ’ЯЗКУ З ВПЛИВОМ АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРА
В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова

4.2. ПОТОЧНІ ЗМІНИ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ
Л. О. Єлістратова, О. А. Апостолов, М. І. Кульбіда

4. 2.1. РЕГІОНАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ

Л. О. Єлістратова, О. А. Апостолов

4. 2. 2. ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ ОПАДІВ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ЗА ПЕРІОД ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Л. О. Єлістратова, М. І. Кульбіда

4. 2. 3. КЛІМАТИЧНІ УМОВИ ПОЧАТКУ ХХІ ст.

Л. О.Єлістратова, М. І. Кульбіда, О. А. Апостолов

4. 2. 4. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ЕКСТРЕМАЛЬНІ КЛІМАТИЧНІ ЯВИЩА В ХХІ СТ. НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

М. І. Кульбіда, Л. О. Єлістратова

4. 3. ПРОГНОЗОВАНІ ЗМІНИ КЛІМАТУ

М. І. Кульбіда, Л. О. Єлістратова, М. Б. Барабаш

4. 4. НАЗЕМНИЙ ТА АЕРОКОСМІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ, НЕОБХІДНИЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ СУЧАСНОЇ ЗМІНИ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, О. А. Апостолов

4. 5. ВИЯВЛЕННЯ ЗМІН ЕКОСИСТЕМ У ТИПОВИХ ЛАНДШАФТНО-КЛІМАТИЧНИХ ЗОНАХ УКРАЇНИ З ВИКОРИСТАННЯМ СУМІСНОГО АНАЛІЗУ НАЗЕМНИХ ТА СУПУТНИКОВИХ ДАНИХ

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, О. А. Апостолов

4. 6. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМ ПОСУШЛИВОСТІ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ З ВИКОРИСТАННЯМ НАЗЕМНОЇ ТА СУПУТНИКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, О. А. Апостолов, М. І. Кульбіда

4. 7. ВПЛИВ КЛІМАТУ НА ВРОЖАЙНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

В. І. Лялько, М. І. Кульбіда, Л. О. Єлістратова

4. 7. 1. ПОГОДНІ РИЗИКИ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ ПРИ ПОТЕПЛІННІ ЗА НАЗЕМНИМИ ДАНИМИ

М. І. Кульбіда

4. 7. 2. НАСЛІДКИ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН І АДАПТАЦІЙНІ ЗАХОДИ ДЛЯ АГРАРНОГО СЕКТОРУ

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, М. І. Кульбіда

РОЗДІЛ 5. ОЦІНКА РИЗИКІВ ПРИ ЗМІНІ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ

Ю. В. Костюченко, М. В. Ваколюк, Д. М. Мовчан, Ю.Г. Білоус, М. В. Ющенко, І. М. Копачевський

5. 1. МЕТОДИ КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ РИЗИКІВ, ПОВ'ЯЗАНИХ ІЗ ДОВГОСТРОКОВИМИ ЗМІНАМИ КЛІМАТУ І ДОВКІЛЛЯ

Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, Ю. Г. Білоус, М. В. Ющенко, І. М. Копачевський

5. 1. 1. МЕТОДИ РЕГУЛЯРИЗАЦІЇ ДАНИХ. СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ РОЗПОДІЛІВ ПАРАМЕТРІВ НЕБЕЗПЕКИ

Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, Ю. Г. Білоус, М. В. Ющенко, І. М. Копачевський

5. 1. 2. МЕТОДИ РЕГУЛЯРИЗАЦІЇ ДАНИХ. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ НЕЛІНІЙНОЇ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ РЕГУЛЯРИЗАЦІЇ ДЛЯ АНАЛІЗУ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, Ю. Г. Білоус, І. М. Копачевський

5. 1. 3. АНАЛІЗ РУШІЙНИХ СИЛ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ШЛЯХОМ ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНОЇ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ РЕГУЛЯРИЗАЦІЇ ДАНИХ. ОЦІНКА ЙМОВІРНОСТІ ПРОЯВІВ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ КЛІМАТИЧНИХ ЯВИЩ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АНАЛІЗУ ДАНИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, Ю. Г. Білоус, І. М. Копачевський

5. 1. 4. МЕТОД ІНТЕГРАЦІЇ ДАНИХ ЛОКАЛЬНИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ В ГЛОБАЛЬНІ КЛІМАТИЧНІ МОДЕЛІ. ОСНОВИ ПІДХОДУ ДО РЕГІОНАЛІЗАЦІЇ МОДЕЛЕЙ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН ЗА ДАНИМИ РЕГУЛЯРИЗОВАНИХ РЕГІОНАЛЬНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Ю. В. Костюченко, Ю. Г. Білоус, І. М. Копачевський

5. 1. 5. МЕТОД ОЦІНКИ КОМПЛЕКСНИХ МІР РИЗИКУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ СПІЛЬНОГО АНАЛІЗУ БАГАТОВИМІРНИХ МУЛЬТИВАРІАТИВНИХ ВЕЛИЧИН

Ю. В. Костюченко, Ю. Г. Білоус

5. 1. 6. ОБМЕЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНОГО МЕТОДУ МОДЕЛЮВАННЯ

Ю. В. Костюченко

5. 2. МАТЕМАТИЧНА ТА ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА НЕБЕЗПЕК, ПОВ'ЯЗАНИХ З ДОВГОСТРОКОВИМИ ЗМІНАМИ КЛІМАТУ ТА ДОВКІЛЛЯ

Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, М. В. Ющенко, І. М. Копачевський

5. 2. 1. ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ РИЗИКІВ ЛАНДШАФТНИХ ПОЖЕЖ

Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, М. В. Ющенко

5. 2. 2. ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ БІОЛОГІЧНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ЛАНДШАФТІВ

Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, І. М. Копачевський

5. 2. 3. ЗАГАЛЬНІ ЗАСАДИ ОЦІНОК НЕБЕЗПЕК, ПОВ'ЯЗАНИХ З ДОВГОСТРОКОВИМИ ЗМІНАМИ КЛІМАТУ ТА ДОВКІЛЛЯ

Ю. В. Костюченко, М. В. Ющенко

5. 2. 4. ЕКСПЕРТНІ ОЦІНКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ З УПРАВЛІННЯ РЕГОНАЛЬНИМИ РИЗИКАМИ, ПОВ'ЯЗАНИМИ ІЗ ЗМІНАМИ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ

Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, М. В. Ющенко

5. 2. 5. ЕКСПЕРТНІ ОЦІНКИ РИЗИКІВ ПРИ ЗМІНІ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ

М. В. Ваколюк

РОЗДІЛ 6. ОЦІНКА ВПЛИВУ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ НА СОЦІО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗВИТОК УКРАЇНИ

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, Д. М. Мовчан, Ю. В. Костюченко, І. М. Копачевський С. М. Киристюк

6. 1. РЕГОНАЛЬНИЙ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗВИТОК В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ, ВИКЛИКАНИХ РІЗНОМАСШТАБНИМИ ЗМІНАМИ

Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, С. М. Киристюк

6. 2. ОЦІНКА РИЗИКІВ ВАРІАЦІЇ БІОПРОДУКТИВНОСТІ ЗА ДАНИМИ ДЗЗ З МЕТОЮ ОЦІНКИ СТАЛОСТІ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, І. М. Копачевський

6.2.1. РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ: РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО СЕКТОРУ З УРАХУВАННЯМ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН

Ю. В. Костюченко, С. В. Киристюк, Д. М. Мовчан

6. 3. ВПЛИВ ЗМІНИ КЛІМАТУ НА УМОВИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ НАСЕЛЕННЯ УКРАЇНИ

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова

6. 4. СУЧАСНІ ВПЛИВИ ЛЮДИНИ НА БІОСФЕРУ

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова

6. 5. ЙМОВІРНІСНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ РИЗИКІВ ПРИ МОЖЛИВІЙ НЕБЕЗПЕЦІ ДЛЯ ЛЮДИНИ І ПРИРОДИ ВИКЛИКАНИХ ЗМІНОЮ КЛІМАТУ

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова

6. 6. ОЦІНКА І ПРОГНОЗУВАННЯ ВЗАЄМОПОВ'ЯЗАНИХ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННИХ ТА СОЦІО-ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ, ЩО ОБУМОВЛЕНІ ЗМІНАМИ КЛІМАТУ

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, Д. М. Мовчан

6. 6. 1. ЕРГОДИНАМІЧНИЙ ЗВ'ЯЗОК БІОСФЕРИ ТА СОЦІУМУ (ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ЕРГОДИНАМІКИ)

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова

6. 6. 2. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКІВ ІНДИКАТОРІВ СОЦІОПРИРОДНОГО РОЗВИТКУ

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова

6. 6. 3. РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ СОЦІОПРИРОДНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ

Л. О. Єлістратова, Д. М. Мовчан

6. 6. 4. БЕЗРОЗМІРНІ ІНДЕКСИ РОЗВИТКУ

Л. О. Єлістратова

6. 6. 5. ВІДТВОРЕНИЙ КАПІТАЛ РЕГІОНІВ

Л. О. Єлістратова

6. 6. 6. ПРИРОДНА КОМПЕНСАЦІЯ АНТРОПОГЕННИХ ВПЛИВІВ НА БІОСФЕРУ ДЛЯ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ

Л. О. Єлістратова, Д. М. Мовчан

6. 6. 7. БІОСФЕРНА РЕНТА РЕГІОНІВ

Л. О. Єлістратова

6. 6. 8. СТАЛИЙ РОЗВИТОК І УКРАЇНА

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова

ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

В. І. Лялько

СПИСОК РИСУНКІВ

ПЕРЕДМОВА

Масштабні просторово-часові кліматичні зміни на Землі, як глобального, так і регіонального характеру, в останні десятиріччя є беззаперечним фактом. Оскільки вони впливають на стан довкілля та економіки, це викликало необхідність проведення різноманітних досліджень по виявленню їх природи, причин виникнення та прогнозування їх перебігу у майбутньому, а також вивчення можливого еколого-економічного впливу цих процесів на природу і суспільство, щоб превентивно запропонувати заходи щодо мінімізації негативних наслідків подібного впливу.

Для пояснення можливих причин і факторів, що могли спричинити вказані кліматичні зміни і, зокрема, так зване “глобальне потепління”, було залучено дві основні групи гіпотез — дію астрономічних чинників (в основному циклічних процесів на Сонці) та інтенсивне збільшення вмісту парникових газів (CO_2 , CH_4 та ін.), які внаслідок дії антропогенних факторів щороку накопичуються в атмосфері, створили відповідний теплонепроникний бар’єр для відтоку тепла із Землі.

Істина, як стверджує народна мудрість, повинна знаходитись десь посередині між вказаними твердженнями. Тому задача науковців полягає в проведенні цілеспрямованих теоретико-методичних та практичних інструментальних досліджень і вимірів, щоб визначити кількісні показники частки впливу на вказані кліматичні зміни як космічного, так і земного факторів.

Цьому питанню присвячена велика кількість публікацій — монографій, статей, матеріалів національних та міжнародних наукових форумів, основні з яких наведені далі у розд. 1 “Сучасний стан досліджень по проблемі”.

Визнаючи безсумнівний вплив астрономічних факторів на зміни клімату Землі в багаторічному геологічному часі, ми більш детально зупинимось на методах виявлення, оцінки і короткочасового прогнозування кліматичних змін в Україні, пов’язаних з впливом на довкілля парникового ефекту, тобто зростанням перш за все CO_2 в атмосфері в останні десяти-

тиріччя та оцінці можливого впливу цього феномена на соціо-економічні процеси*.

При цьому, залучаючи до аналізу матеріали наземних та супутникових інструментальних спектро- та газометричних зйомок, ми виходимо з положень, відображених у рішеннях Робочої групи по вивченню парникових газів супутниковими методами (Нідерланди, 5-7.05.2014, ESA ESTEK), що однією з основних проблем в цих дослідженнях є проблема невизначеності в інтерпретації одержаних результатів внаслідок, зокрема, недостатньої кількості наземних інструментальних вимірів відповідних характеристик на регіональному рівні в різних ландшафтно-кліматичних зонах нашої планети.

Ми також поділяємо точку зору деяких дослідників і, зокрема, академіка НАН Білорусі В. Ф. Логінова, який в своїй фундаментальній праці “Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата” (2012) справедливо відмічав, що хоча математичне моделювання змін клімату і досягло в світі високого рівня, однак більшість сучасних кліматичних моделей не враховує багатьох суттєвих планетарних і регіональних особливостей розвитку процесів енергомасообміну в довкіллі і тому не завжди одержуються коректні результати при багаторічних кліматичних прогнозах.

Отже, враховуючи вказані особливості і слабкі місця в сучасних дослідженнях парникового ефекту на Землі, необхідно приділити першочергову увагу саме наземним полігонним спектро- та газометричним вимірам в усіх регіонах, що характеризуються типовими ландшафтно-кліматичними умовами. Це дозволить не тільки більш коректно визначити складові балансу парникових газів (і перш за все CO_2) за наземними дослідженнями, але й суттєво підвищити надійність та достовірність результатів тематичної інтерпретації відповідних матеріалів супутникових зйомок.

При цьому слід мати на увазі, що лише залучення супутників зі спектро- та газометричною апаратурою високого ступеня спектрального та просторового розрізнення, які можуть експлуатуватись у режимі

* Як свідчать матеріали, опубліковані в “Бюлетені парникових газів” Всесвітньої метеорологічної організації за 2014 р., концентрація CO_2 в атмосфері в 2013 р. зросла майже на 3 частки на мільйон, досягнувши 396 ppm, що є рекордним значенням за останні 30 років. Глобальні викиди CO_2 в атмосферу вперше досягли величини близько 40 млрд тонн/рік. При цьому зазначається, що безпечним для оптимального розвитку земних екосистем є рівень концентрації CO_2 не вище 350 ppm.

щоденного загальнопланетарного моніторингу, може дати надійні практичні результати як для оцінки стану довкілля (в тому числі виявлення надзвичайних ситуацій), так і для оперативного прийняття відповідними структурами управлінських рішень по оцінці ризиків для навколишнього середовища та економіки і розробці та впровадженню відповідних заходів протидії виникаючим негараздам.

Тому, враховуючи вищенаведене, в даній монографії, авторський колектив якої представлений вченими Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України, Києво-Могилянської академії та Гідрометеоцентру України, коротко викладено сучасний стан досліджень по проблемі визначення парникового ефекту в світі та Україні а також результати експериментальних визначень балансу CO_2 та оцінки розбіжностей у визначенні цього показника за методикою Національного кадастру та супутниковими вимірами. Проаналізовано багаторічні ма-

теріали наземного та супутникового моніторингу температури повітря для пояснення кліматичних змін в Україні та виконано оцінку ризиків внаслідок впливу зазначених змін.

Розглянуто прогнози варіанти кліматичних змін у короткостроковій перспективі та оцінено вплив змін природно-антропогенних процесів на соціо-економічний розвиток України.

Автори усвідомлюють, що не всі поставлені задачі вирішені повністю, що можуть існувати і не враховані чинники кліматичних змін та методи їх оцінки. Але виконане узагальнення існуючих даних та одержаних нових експериментальних матеріалів буде корисне як для ознайомлення із сучасним станом цієї актуальної проблематики, так і для визначення напрямів подальших досліджень та практичного впровадження їх результатів з метою раціонального природокористування та соціо-економічного розвитку України.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ПРОБЛЕМІ

24 вересня 2014 р. у м. Нью Йорк завершився саміт ООН по клімату, на якому зібрались світові лідери, представники урядів, фінансових структур, бізнесу та громадянського суспільства з метою активізації і стимулювання дій на захист клімату. Були запропоновані пакети дій, які дозволять скоротити викиди парникових газів (ПГ), зміцнити стійкість геосистем до зміни клімату і мобілізувати політичну волю для укладання повноцінної юридичної угоди в 2015 р. [17].

Підбиваючи підсумки тих рішень, які в ході зустрічі ухвалили держави, Генеральний секретар ООН Пан Гі Мун привернув увагу до заяви Європейського Союзу про готовність оголосити в жовтні 2014 р. про нову мету — скоротити емісії ПГ на 40%. “Я вітаю зобов’язання, пов’язані з поповненням Зеленого кліматичного фонду й мобілізацією 100 млрд доларів США на рік для боротьби з негативними змінами клімату”, — сказав Пан Гі Мун. “І, безумовно, я вітаю щедрі обіцянки президента Франції та канцлера Німеччини внести по 1 млрд доларів США”, — заявив глава ООН. Раніше він повідомив, що на першому кліматичному саміті пролунали нові партнерські ініціативи. Наприклад, Міжнародний союз залізниць, який нараховує 240 членів, серед яких представники Європи, Китаю, Росії, Індії й США, запропонував ініціативу по зниженню емісій ПГ у цій галузі — на 75% до 2050 р. А представники бізнесу і політики до 2030 р. частку електромобілів у містах планують збільшити до 30% [17].

Передбачається, що заходи, викладені в декларації, можуть привести до скорочення до 2030 р. викидів вуглекислого газу на 4,5–8,8 млрд тонн у рік. Це еквівалентно викидам вуглецю, які роблять мільярд автомобілів.

Транснаціональні нафтові й газові компанії оголосили про рішення об’єднати свої зусилля з урядами і міжнародними екологічними організаціями для того, щоб скоротити викиди метану — потужного парникового газу, що супроводжує виробництво нафти та газу. До цієї ініціативи приєдналися також уряди великих нафто- і газодобувних країн, у тому числі Мексики, Нігерії, Норвегії, Російській Федерації і США.

Фінансові корпорації пообіцяли виділити понад 200 млрд доларів США на забезпечення низьковуглецевого економічного розвитку до 2050 р. [15].

Все це наочно показує, що проблеми, пов’язані із наслідками кліматичних змін і, зокрема, парниковим ефектом, стали актуальними для всіх верств населення і потребують детального вивчення як на глобальному, так і на регіональному рівнях для розробки оптимальних стратегій соціо-економічної адаптації із залученням всіх сучасних технічних можливостей для сталого розвитку людства.

Останній звіт [9] Міжурядової групи експертів по зміні клімату (МГЕЗК) надає інформацію про оцінки, загрози та виклики, пов’язані із парниковим ефектом, а також таким фактором впливу на нього, як ПГ (наприклад, CO₂).

В основі спостережень за кліматичною системою лежать прямі виміри і дистанційне зондування, що здійснюється із супутників та інших платформ. Спостереження за температурою та іншими змінами в глобальному масштабі почалися в середині XIX ст. з початком ери інструментальних методів, а з 1950 р. стали доступні більш всеосяжні та різноманітні ряди спостережень. Палеокліматичні реконструкції подовжують деякі ряди на періоди від сотень до мільйонів років. У своїй сукупності вони дають всебічне уявлення про мінливість і довгострокові зміни в атмосфері, океані, криосфері та суходолі [9].

Глобально усереднені, сукупні дані про температуру поверхні суходолу та океану, розраховані на основі лінійного тренда, свідчать про потепління на 0,85°C (0,65–1,06°C) за період 1880–2012 рр., за які є численні, незалежно отримані масиви даних.

Протягом найтривалішого періоду, по якому розрахунок регіональних трендів достатньо адекватний (1901–2012 рр.), потепління спостерігалось майже по усьому світу (рис. 1.1) [9].

Карта складена згідно із трендами температури, визначеними за допомогою методу лінійної регресії по одному ряду даних. Тренди були розраховані для тих місць, де наявність даних дозволяє надати надійну оцінку (тобто для комірок сітки з наявністю понад 70% від можливого обсягу даних, причому більше 20% від можливого обсягу даних за перші та останні 10% періоду спостережень). Інші райони по-

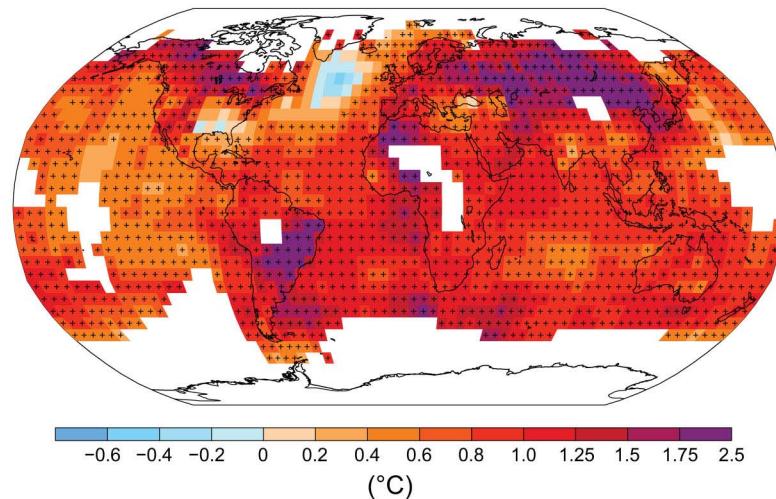


Рис. 1.1. Карта зміни приземної температури з 1901 по 2012 р. [9]

казані білим кольором. Коіркам сітки, для яких статистична значущість тренду досягає 10% відповідає знак <<+>>.

Реконструкції значень приземної температури в континентальному масштабі показують із високим ступенем вірогідності наявність десятиліть, що охоплюють багато періодів за час середньовічної кліматичної аномалії (950–1250 рр.), які були в деяких регіонах такими ж теплими, як при потеплінні в кінці ХХ ст. Однак необхідно зауважити, що ці регіональні теплі періоди не були настільки узгодженими в різних регіонах, як при потеплінні наприкінці ХХ ст. Концентрації двоокису вуглецю, метану та оксидів азоту в атмосфері зросли до рівнів, що є безпрецедентними щонайменше за останні 800 тис. років [9].

Концентрації двоокису вуглецю збільшилися на 40 % з доіндустріального періоду, по-перше, за рахунок викидів від спалювання викопного палива, і, по-друге, за рахунок нетто-викидів у результаті змін у землекористуванні. Річні викиди CO_2 , пов'язані із спалюванням викопного палива та виробництва цементу, в середньому становили 8,3 (7,6–9) Гт В в рік у 2002–2011 рр. та 9,5 (8,7–10,3) Гт В в рік у 2011 р., тобто були на 54 % вищими, ніж у 1990 р. Чиста річна емісія CO_2 в результаті змін в антропогенному землекористуванні склала в середньому 0,9 (0,1–0,7) Гт В в рік за період 2002–2011 рр. (1 Гт вуглецю = 1 Гт В = 1015 г вуглецю, що відповідає 3,667 Гт CO_2)

З 1750 по 2011 р. у результаті спалювання викопного палива та виробництва цементу в атмосферу вивільнилося 375 (345–405) Гт В, при цьому викиди, що пов'язані з обезлісненням та іншими змінами в землекористуванні оцінюються в 180 (100–260) Гт В. Таким чином, сукупна антропогенна емісія склала 555 (470–640) Гт В.

З цієї сукупної антропогенної емісії CO_2 240 (230–250) Гт В накопичено в атмосфері, 155 (125–185) Гт В поглинуто океаном і 160 (70–250) Гт В акумульовано в природних екосистемах суші (тобто сукупне остаточно поглинання ґрунтом) [9].

Факторами, що впливають на зміну клімату, є природні та антропогенні речовини і процеси, які змінюють енергетичний баланс Землі. Якщо не указано інше, то радіаційний вплив (РВ) є кількісним показником зміни енергетичних потоків, викликаних зміною цих факторів до 2011 р. у порівнянні з 1750 р. Позитивне значення РВ веде до підвищення температури поверхні, а негативне — до її зниження. РВ оцінюється на основі даних спостережень, здійснюваних на місці, і дистанційного зондування, властивостей ПГ і аерозолів, а також розрахунків з використанням чисельних моделей, що описують спостережувані процеси. Деякі сполуки, що викидаються, впливають на концентрації інших сполук в атмосфері. Інформація із РВ може бути представлена на основі зміни концентрації кожної з речовин. У якості альтернативи можуть повідомлятися дані про РВ, що ґрунтується на сукупності емісій і краще відображає безпосередній ефект людської діяльності. Таке РВ включає внесок усіх речовин, що зазнали даних емісій. При урахуванні всіх факторів емісій загальне антропогенне РВ в обох підходах ідентичне. Хоча останнім часом більше уваги приділяють саме РВ на основі сукупності емісій. Ступінь впливу факторів кількісно оцінюється як РВ у ватах на квадратний метр ($\text{Вт} \times \text{м}^{-2}$), як і в попередніх оцінках МГЕЗК. РВ — це зміна енергетичних потоків, що викликана яким-небудь фактором і розраховується в тропопаузі або у верхніх шарах атмосфери. У традиційній концепції РВ, яка використовувалася в попередніх доповідях МГЕЗК, малося на увазі, що всі поверхневі і тропосферні умови незмінні [9].

Але у [9] в розрахунках РВ для ідеально перемішаних ПГ і аерозолів допускається, що фізичні змінні, крім океанського та морського льоду, можуть швидко пристосовуватися до збурювань. Тому сьогодні підсумкове РВ називається ефективним радіаційним впливом (ЕРВ). Така зміна відбиває науковий прогрес, досягнутий за останній час, і доз-

воляє краще відображати поступовий температурний відгук на дію цих факторів. Для всіх факторів, крім ідеально перемішаних ПГ і аерозолів, швидке пристосування не настільки характерне та вважається незначним, тому для них використовується традиційне РВ.

Тільки від викидів CO_2 РВ дорівнює 1,68 (1,33–2,03) $\text{Вт} \times \text{м}^{-2}$. З урахуванням емісії інших вуглецевмісних газів, які також сприяли підвищенню концентрацій CO_2 , РВ від CO_2 складає 1,82 (1,46–2,18) $\text{Вт} \times \text{м}^{-2}$.

Розуміння недавніх змін кліматичної системи ґрунтується на комбінації спостережень, вивченні зворотних зв'язків і моделюванні. Оцінка здатності кліматичних моделей відтворювати недавні зміни вимагає враховувати стан всіх компонентів кліматичної системи, що моделюється на початку моделювання, а також природних і антропогенних впливів, які використовуються в розрахунках.

Вплив людини на кліматичну систему є очевидним. Про нього свідчать збільшення концентрацій ПГ в атмосфері, позитивний РВ, спостережуване потепління та загальне розуміння кліматичної системи.

Внесок ПГ у підвищення середньої глобальної приземної температури в 1951–2010 рр., імовірно, знаходиться у діапазоні 0,5–1,3°C, при цьому внесок інших антропогенних факторів, включаючи охолоджуючий ефект аерозолів, очевидно, коливається від –0,6 до 0,1°C. Внесок природних факторів, імовірно, становить від –0,1 до 0,1°C, і на частку внутрішньої мінливості, вочевидь припадає від –0,1 до 0,1°C. У своїй сукупності ці оцінки ролі кожного з факторів відповідають спостережуваному потеплінню за цей період, тобто приблизно 0,6–0,7°C [9].

Триваюча емісія ПГ буде причиною подальшого потепління і змін у всіх компонентах кліматичної системи. Обмеження кліматичних змін буде потребувати значного і безперервного зниження викидів ПГ.

Проекції на наступні кілька десятиліть демонструють просторову картину змін клімату, аналогічну прогнозу на кінець ХХ ст., але з більш низькими значеннями. Природна внутрішня мінливість буде, як і раніше, головним чинником, що впливає на клімат, особливо в короткостроковій перспективі та у регіональному масштабі.

Потепління буде продовжувати демонструвати мінливість на інтервалах від року до десятиліття і у регіональному масштабі не буде однорідним.

Практично визначено, що у міру підвищення середніх глобальних температур над більшою частиною поверхні суходолу в добовому і сезонному часових масштабах будуть більш часто спостерігатися екстремально високі та рідше — екстремально низькі температури.

Досить імовірно, що хвилі тепла будуть наступати більш часто та будуть тривалішими. Як і раніше в зимовий час подекуди будуть спостерігатися екстремально низькі температури.

Зміна клімату торкнеться процесів вуглецево-

го циклу, що приведе до підвищення вмісту CO_2 в атмосфері. Сукупні викиди CO_2 значною мірою будуть впливати на підвищення середньої глобальної приземної температури до кінця ХХІ ст. та в подальшому. Більшість аспектів зміни клімату будуть відмічатися протягом багатьох сторіч, навіть якщо викиди CO_2 припиняться. Це є відбиттям істотної інерції зміни клімату впродовж багатьох сторіч, спричиненої минулими, сучасними та майбутніми викидами CO_2 .

Сукупні сумарні викиди CO_2 і реакція середньої глобальної приземної температури характеризуються практично лінійною залежністю (рис. 1. 2) [9].

Результати, одержані по багатьох моделях класу “клімат – вуглецевий цикл” для кожного сценарію РТК (Сценарії – Representative Concentration Pathways (RCPs) – визначено за приблизним сукупним РВ для 2100 р. порівняно до 1750 р.: 2,6 $\text{Вт}/\text{м}^2$ для RCP 2,6; 4,5 $\text{Вт}/\text{м}^2$ для RCP 4,5; 6,0 $\text{Вт}/\text{м}^2$ для RCP 6,0 та 8,5 $\text{Вт}/\text{м}^2$ для RCP 8,5) до 2100 р., показані кольоровими лініями і середніми десятилітніми значеннями (точки). Деякі десятилітні середні позначені цифрами (наприклад, 2050 означає десятиліття 2040–2049 рр.). Результати, отримані на моделі за історичний період (1860–2010 рр.), показані чорним кольором. Кольоровий шлейф ілюструє міжмодельний розкид по чотирьох сценаріях РТК, а його менша яскравість показує зменшення кількості моделей у сценарії РТК 8,5. Середнє значення і діапазон розраховані по моделях ПССМ5, з урахуванням зростання CO_2 на 1 % в рік (розрахункове зростання CO_2 на 1 % у рік), показані тонкою чорною лінією і сірим кольором. Для конкретного обсягу сукупних викидів CO_2 розрахунки зростання CO_2 на 1 % в рік дає менше потепління, ніж у випадку із РТК, які включають додаткові впливи інших, ніж CO_2 , газів. Значення температури приводяться щодо базового періоду 1861–1880 рр., а викиди — відносно 1870 р. Середні значення по десятиліттях з'єднуються прямими лініями [9].

Кожен конкретний рівень потепління пов'язаний з діапазоном сукупних викидів CO_2 , і тому, наприклад, вищі рівні викидів у більш ранні десятиліття передбачають нижчі викиди в наступний період.

Обмеження потепління, викликаного тільки антропогенними викидами CO_2 , з 1861–1880 рр. з імовірністю >33 %, >50 % та >66 %, що не перевищує рівень 2°C, потребує, щоб сукупні викиди CO_2 із всіх антропогенних джерел залишалися на рівні 0–1570 Гт В (5760 Гт CO_2); 0–1210 Гт В (4440 Гт CO_2) та 0–1000 Гт В (3670 Гт CO_2) після зазначеного періоду, відповідно [9].

Для досягнення більш низького розрахункового показника потепління або забезпечення більш високої імовірності не перевищення конкретного температурного показника буде потрібно зниження рівнів сукупних викидів CO_2 [9].

Враховуючи зазначене, необхідно відмітити,

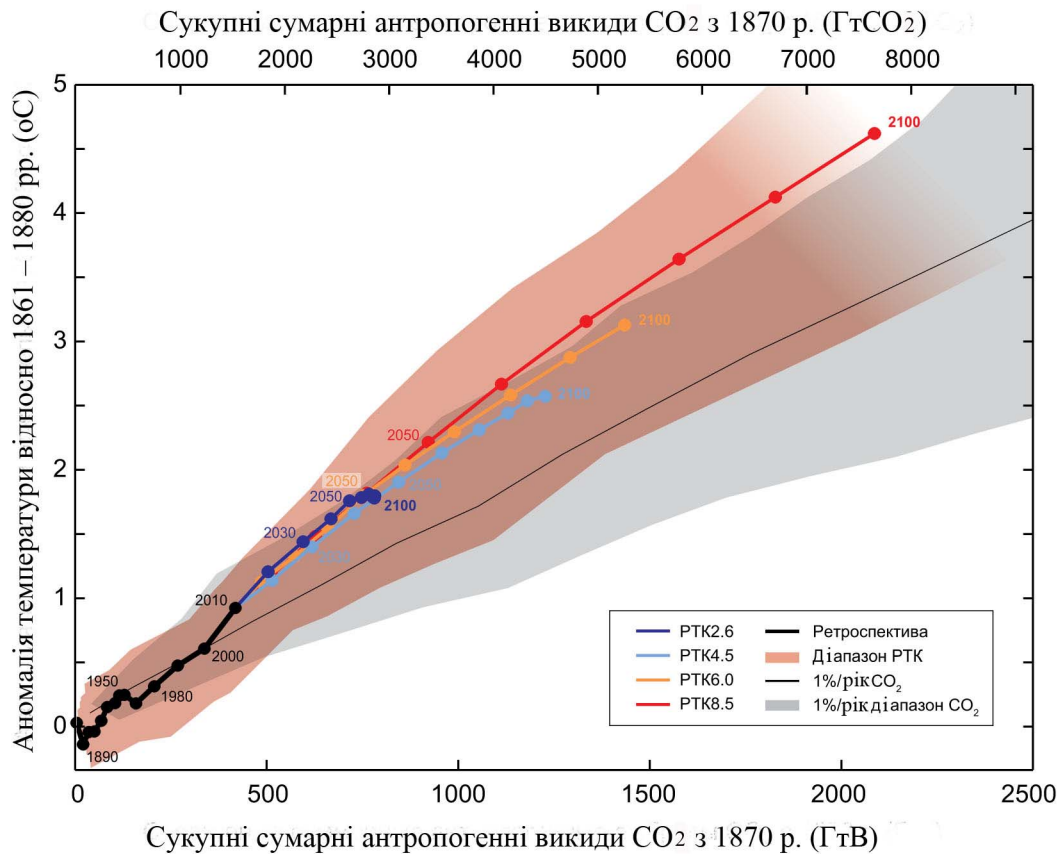


Рис. 1. 2. Підвищення середньої глобальної приземної температури як функція сукупних глобальних викидів CO₂, отриманих за різним даними [9]

що для контролю рівня CO₂ в атмосфері в останнє десятиріччя почали активно залучати дані отримані з супутників, які перш за все надають можливість постійного контролю за концентрацією вуглекислого газу в атмосфері. В процесі технічного вдосконалення супутників, що несуть на собі сенсори по визначенню CO₂ в атмосфері, розробки та оптимізації алгоритмів обробки даних, що вони отримують, з'являються можливості обчислювати більш якісні глобальні сценарії змін і оцінювати з більшою точністю істотні регіональні зміни спричинені зростанням концентрації CO₂. Це є важливим для виявлення зв'язку між природними і антропогенними компонентами глобальних змін, а також між глобальними тенденціями та регіональними особливостями.

Необхідно зазначити, що технічні можливості по оцінці концентрації CO₂ супутниковими методами з'явилися у 2002 р., коли були задіяні супутники Envisat-1 та Aqua, на яких розміщуються сенсори відповідно SCIAMACHY та AIRS, що визначають вміст ПГ в атмосфері. В працях таких іноземних науковців, як M. Buchwitz, M. Reuter, Oliver Schneising, Edward T. Olsen, Thomas S. Pagano, H. Takagi, I. Morino, розроблено алгоритми визначення концентрацій за даними сенсорів, проведена верифікація на окремих ділянках, оцінена загальна достовірність визначення концентрації для деяких типів підстильної

поверхні, отримані глобальні розподіли концентрацій ПГ, визначені напрями роботи з розрахунків концентрації на регіональному масштабі.

В подальшому на основі досвіду, що був отриманий від попередніх місій та зважаючи на необхідність більш детального визначення емісій та абсорбції CO₂, були запущені ще більш технічно досконалі супутники такі, як розроблені японським космічним агентством JAXA супутники GOSAT (запуск успішно відбувся у 2009 р.) та запущений NASA у 2014 р. супутник OCO-2 (Orbiting Carbon Observatory-2), характеристики та можливості якого по оцінці концентрації CO₂ в атмосфері значно перевищують всі попередні місії цього призначення. В подальшому міжнародним співтовариством планується запуск (рис. 1. 3) [3] ще цілого ряду супутникових місій, спрямованих, зокрема, на визначення концентрації CO₂ в атмосфері, які були обговорені на конференції, що відбулась в м. Амстердам у 2014 р. [18].

Крім того, на конференції ставилися такі питання. Так, Секретаріатом GCOS (Global Climate Observing System), зазначається, що точні знання про суттєві кліматичні змінні (ECVs) необхідні для підтримки роботи РКЗК ООН та МГЕЗК. Для цього необхідно здійснення плану глобального моніторингу кліматичної системи, в тому числі особливо ПГ. В зв'язку із цим було розроблено документ [15], що містить в собі вимоги до даних супутникового

Супутник, інструмент (агентство)	CO ₂	CH ₄	FOV	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
ENVISAT SCIAMACHY (ESA)	•	•	30x60 km ²	■													
GOSAT TANSO-FTS (JAXA-NIES-MOE)	•	•	10.5 km (d)	■	■	■	■	■	■	■							
OCO-2 (NASA)	•		1.29x2.25 km ²			■	■	■	■	■							
TanSat (CAS-MOST-CMA)	•		1x2 km ²					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
OCO-3 (NASA)	•		~4 km ²										■	■	■	■	■
GOSAT-2 TANSO-FTS (JAXA-NIES-MOE)	•	•	10.5 km (d)														
MicroCarb (CNES)	•		~25 km ²														
PCW-PHEOS-FTS (CSA)	?	•	10x10 km ²														
CarbonSat (ESA)	•	•	2x3 km ²														
ASCENDS (NASA)	•		0.100 km (w)														
Умовні позначення				d = діаметр w = ширина полоси огляду				■ функціонуючі ■ плануються ■ розглядаються ■ продовження місії									

Рис. 1.3. Супутникові місії, спрямовані на визначення концентрації CO₂ в атмосфері

Таблиця 1.1

Цільові вимоги до супутникових даних по CO₂ та CH₄

Змінна/параметр	Горизонтальне розрізнення	Вертикальне розрізнення	Часове розрізнення	Точність	Похибка
Тропосферна колонка CO ₂	5–10 км	N/A	4 h	1 ppm	0.2 ppm
Тропосферний CO ₂	5–10 км	5 км	4 h	1 ppm	0.2 ppm
Тропосферна колонка CH ₄	5–10 км	N/A	4 h	10 ppb	2 ppb
Тропосферний CH ₄	5–10 км	5 км	4 h	10 ppb	2 ppb
Стратосферний CH ₄	100–200 км	2 км	Доба	5%	0.3 %

спостереження по систематичному спостереженню за кліматом, зокрема для даних про ПГ (табл. 1. 1).

В ході конференції [18] також було сформульовано деякі вимоги: наприклад, супутники дистанційного зондування Землі повинні мати точність вимірювання для даних XCO₂ і XCH₄ на рівні 0,1–0,2% з розрізненням 1–2 км, щоденною часовою дискретизацією, охопленням зйомкою всієї земної кулі з часовим інтервалом вибірки від 20 хв. до 1 год.

Одним з важливих досягнень в напрямі розвитку спостережень за ПГ є результати, які були отримані в ході проекту Climate Change Initiative (CCI) за підтримки Європейського космічного агентства. Деякі результати цього проекту були представлені на конференції [17], наприклад зміни поширотних розподілів у часі для CO₂ та CH₄ (рис. 1. 4, 1. 5).

Необхідно відмітити, що в ході проекту використовувалися спільно дані, отримані з супутника GOSAT (сенсор Tanso-FTS) та супутника Envisat (сенсор SCIAMACHY), що надало можливість одержати більш повні карти розподілів досліджуваних ПГ.

В ході дискусій на конференції з приводу стратегій для використання супутникового моніторингу в області визначення джерел CO₂ було окреслено основні перспективні переваги супутникової зйомки, їх сучасні проблеми та майбутні перспективи. Наведемо найбільш актуальні моменти вказаної дискусії.

Супутникові зйомки для вимірів концентрації ПГ [13]

1. Основна перевага:

- рівномірне покриття земної кулі;
- висока розрізненість.

2. Основні проблеми:

- висока точність, яка необхідна для виявлення і кількісної оцінки малих (<0,25 %) коливань CO₂, пов'язаних з джерелами і поглиначами;
- необхідність мінімізації просторових і часових зрушень.

3. Виклики майбутнього:

- проблеми, пов'язані із покривом хмар;
- необхідність поліпшення часового дозволу;
- дискретизація приповерхневого шару.

Проблеми пов'язані з вимірами [13]:

- експлуатуючі “візуалізації” інформації супутників, як CarbonSat, покращення відношення сигнал-шум (наприклад темна поверхня);
- скорочення кількості похибок внаслідок просторової варіації в хмарах і аерозолі (хмари, тіні, суміжності і т. д.);
- захоплення просторової когерентності світлового потоку інверсії моделей;
- збереження просторово-часових кореляцій малих газових аномалій і вертикальні/горизонтальні рухи;

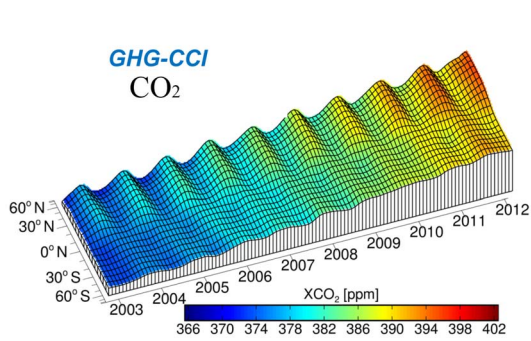


Рис. 1.4. Динаміка поширотної зміни концентрації CO₂ з 2003 по 2012 р. [6]

- відмінність поблизу поверхні варіації ПГ (місцевих джерел/стоків) від перенесених (віддалених джерел/стоків);
- пасивні методи (сонячних та термічних);
- проблеми з відображенням сонячних і теплових вимірів викидів;
- жорсткі вимоги для точності та нахилу;
- обмеження просторового охоплення.

Більш детально цілі майбутніх досліджень, спрямованих на моніторинг концентрацій ПГ викладені в роботі [19].

В Україні використання даних супутникового спостереження по оцінці концентрації CO₂ надало можливість фахівцям Державної установи “Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України” (ЦАКДЗ) розрахувати динаміку зміни концентрації CO₂ та CH₄ в атмосфері як для України в цілому, так і для кожної адміністративної області окремо (рис. 1.6–1.7) [1].

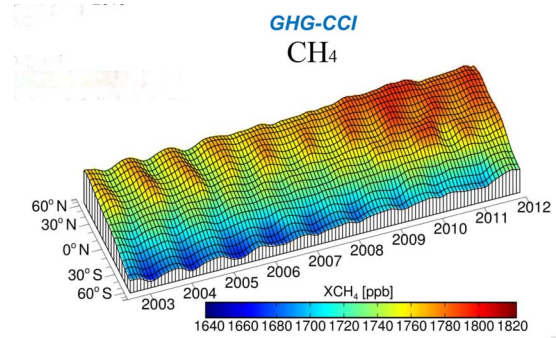


Рис. 1.5. Динаміка поширотної зміни концентрації CH₄ з 2003 по 2012 р. [7]

30 грудня 2014 року на сайті NASA (National Aeronautics and Space Administration) [4], була викладена перша карта глобального розподілу CO₂ отримана космічним апаратом OCO-2. З указаної карти фахівцями ЦАКДЗ були отримані дані про розподіл концентрації CO₂ для території України (рис. 1.8).

Отримані значення концентрації CO₂ вище ніж аналогічні значення за більше ранні періоди, що відповідає загальним тенденціям по підвищенню концентрації CO₂ в атмосфері.

Для оцінки достовірності даних супутникового спостереження було використано критерій, який дозволив врахувати розбіжності у просторово-часових розподілах описів досліджуваних параметрів моделями та вимірами супутникових спостережень. Тобто розбіжності в розрізненні моделі та різних даних супутникового спостереження враховували-

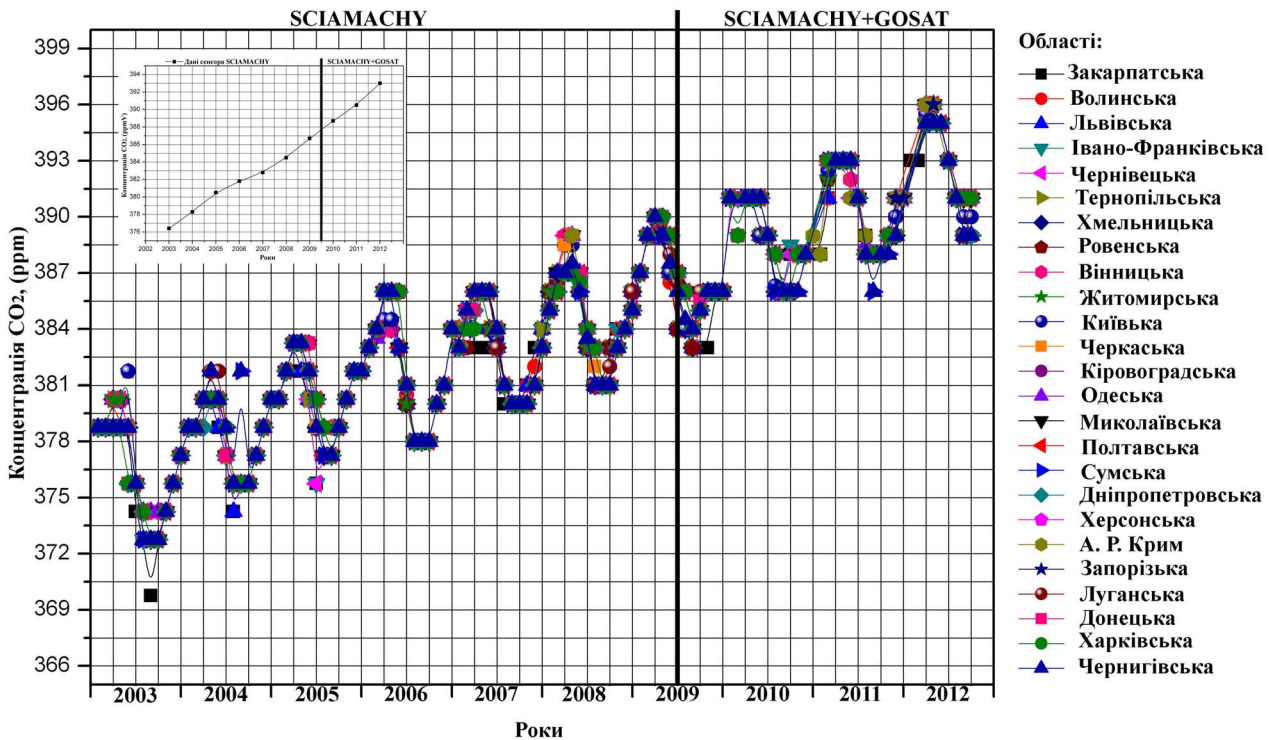


Рис. 1.6. Динаміка змін концентрації CO₂ над територією України за даними супутникового спостереження

Таблиця 1. 2.

Коефіцієнти відносної достовірності оцінювання окремих розрахованих даних

Середньомісячна концентрація CO ₂ за 2003–2005 рр. для території України	Сенсор		Carbon Tracker	Mauna Loa (дані по Північній півкулі)
	AIRS	SCIAMACHY		
Сенсор AIRS		0.52	0.40	0.82
Сенсор SCIAMACHY	0.52		0.85	0.58
Carbon Tracker –	0.40	0.85		0.38
Mauna Loa (дані по Північній півкулі)	0.82	0.58	0.38	

Таблиця 1.3.

Коефіцієнти відносної достовірності оцінювання окремих розрахованих даних

Середньомісячна концентрація CO ₂ з квітня по жовтень 2009 р. для території України	Сенсор		Mauna Loa (дані по Північній півкулі)
	AIRS	TANSO-FTS	
Сенсор AIRS		0.94	0.77
Сенсор TANSO-FTS	0.94		0.66
Mauna Loa (дані по Північній півкулі)	0.77	0.66	

якому країнами-учасниками проекту були обговорені результати напрацювань.

На секціях “CSO робота в напрямку адаптації до кліматичних змін в Білорусії, Молдові та Україні”, “Створення Форуму кліматичних експертів Східного партнерства” та “Пропагування фондів на адаптацію до змін клімату: індикативні системи страхування” ставилися питання впливу зміни клімату на екосистеми Молдови, Білорусії та майбутніх заходів щодо адаптації до кліматичних змін. Доповідь українських вчених була присвячена оцінці вразливості до кліматичних змін у містах України та результатам вже проведених оцінок.

Презентація Андрея Краньяца (Andrej Kranjc) — координатора Словенії по IPCC “Спільні дії з адаптації до зміни клімату в країнах Східного Партнерства”, оприлюднила матеріали п'ятого звіту IPCC (AR 5) та результатам робіт трьох робочих груп експертів та науковців. Зокрема, були подані такі висновки та прогнози оцінки експертів:

- атмосферні концентрації ПГ — CO₂, CH₄, N₂O збільшилися з 1750 р. в результаті діяльності людини;
- в 2011 р. концентрація ПГ – CO₂, CH₄, N₂O складала 391 ppm, 1803 ppb та 324 ppb і перевищувала допромисловий рівень приблизно на 40, 150 та 20 % відповідно;
- річні викиди CO₂ пов'язані із спалюванням викопного палива та виробництвом цементу, становили в середньому 8,3 [7,6–9,0] Гт С рік⁻¹ в 2002–2011 рр. (високий ступінь вірогідності) і 9,5 [8,7–10,3] Гт С рік⁻¹ в 2011 р., тобто були на 54 % вище рівня 1990 р.;
- згідно з прогнозами [6], зміна середньої глобальної приземної температури за період 2016–2035 рр. в порівнянні із 1986–2005 рр. буде, ймовірно, в діапазоні 0,3–0,7°C (середній ступінь віро-

гідності). Порівняно із середніми значеннями за 1850–1900 рр. зміна глобальної приземної температури до кінця XXI ст. ймовірно перевищить 1,5°C відповідно до прогнозів за сценаріями РТК * 4,5, РТК 6,0 і РТК 8,5 (високий ступінь вірогідності);

- за різних сценаріїв прогнозів є вірогідності, що вказують на зміну глобальної приземної температури на 2°C за одними сценаріями та на 4°C за іншими сценаріями до кінця XXI ст. [6].

Детально із результатами прогнозів та звітами можна ознайомитися на офіційному веб-сайті МГЕЗК [3].

Другий період зобов'язань за Кіотським протоколом завершується у 2020 р. Країнами, які взяли на себе зобов'язання по зменшенню викидів, є 27 країн ЄС, Норвегія, Швейцарія, Ісландія, Ліхтенштейн, Монако, Австралія, Україна, Білорусь та Казахстан [8]. Їх частка в світових викидах ПГ становить близько 15 %. У другому періоді зобов'язань за Кіотським протоколом брати зобов'язання по скороченню викидів відмовилися Росія, Канада, Японія, Нова Зеландія, США, Китай та Індія взагалі не брали на себе зобов'язань по Кіотському протоколу. Нову кліматичну угоду планують підписати в 2015 р.

За результатами переговорів у 2013 р. в Досі (Катар) Україна взяла зобов'язання скоротити викиди на 20 % від рівня 1990 р. до 2020 р. [13]. Станом на жовтень 2014 р., це зобов'язання не ратифіковане українським урядом [15].

З 1 по 12 грудня 2014 р. в м. Ліма (Республіка Перу) відбулася Конференція зі зміни клімату, а також 20-та сесія Сторін Кіотського протоколу і 10-та сесія нарада Сторін Кіотського протоколу. На конференції будуть підніматися питання політики Кіотського протоколу, глобальні цілі з адаптації, джерела фінансування заходів щодо адаптації, закріплення зобов'язань за країнами.

Сьогодні Державне агентство екологічних інвестицій України, до функцій якого входило виконання вимог Рамкової конвенції Організації Об'єднаних

* РТК — репрезентативні траєкторії концентрацій [12]

Націй про зміну клімату та Кіотського протоколу, а також реалізація державної політики у сфері регулювання негативного антропогенного впливу на зміну клімату та адаптації, постановою Кабінету міністрів України № 442 від 10 вересня 2014 року “Про оптимізацію системи центральних органів виконавчої влади”, є ліквідованим. Функції ліквідованого агентства екологічних інвестицій перейняло на себе Міністерство екології та природних ресурсів. Міністерство переймає завдання з адаптації до кліматичних змін на території України та, можливо, змінить офіційну позицію України щодо кількості запланованих одиниць викидів парникових газів Україною в другому періоді зобов'язань. В офіційній Позиції неурядових екологічних організацій щодо пост-Кіотської угоди [5] вказано, що згідно з одним із сценаріїв Україна може скоротити викиди на –58% від рівня 1990 р. у другий період зобов'язань. Тому Україна може взяти на себе амбітніші цілі зі скорочення викидів ПГ протягом другого періоду Кіотського протоколу.

В 2014 р. Комітет зі супутникового спостереження Землі (СЕОС), який виступає в ролі міжнародного координатора програм з цивільних космічних спостережень Землі і сприяє обміну даними в рамках оптимізації суспільного благополуччя та інформування при прийнятті рішень для забезпечення сталого розвитку людства, випустив свій черговий звіт [12] стосовно стратегії по дослідженню вуглецевого балансу з космосу, опублікованої в 2010 р. В даному звіті детально описані минулі, сучасні та заплановані на майбутнє супутникові місії, спрямовані на вивчення наземного, океанічного та атмосферного вуглецю. Визначені найважливіші виклики, пов'язані з супутниковим спостереженням вуглецю, і дії, що необхідно спрямувати на їх вирішення. Розробка такої стратегії була викликана необхідністю покращення нашого обмеженого розуміння глобального вуглецевого циклу, адже це може стати вирішальним елементом у прогнозуванні можливих соціо-економічних змін, пов'язаних з кліматичними змінами. А постійний розвиток і удосконалення методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) відкриває нові перспективи в даній області.

СЕОС-стратегія передбачає чотири основних напрями з вивчення вуглецевого балансу:

- оцінка наземного вуглецю;
- оцінка океанічного вуглецю;
- оцінка вуглецю атмосфери;
- інтеграція результатів.

Головні елементи системи моніторингу наземного вуглецю включають спостереження та моделювання: а) потоків CO_2 та CH_4 між атмосферою та наземним покривом; б) змін у наземних вуглецевих резервуарах; в) динаміки екосистем; (г) головних режимів порушення; д) винесення вуглецю з наземних біомів.

Численні моделі первинних компонентів наземного вуглецевого циклу були розроблені на основі інформаційних продуктів, отриманих з використанням даних супутникових систем дистанційного зондування. Такі моделі включають моделі вивільнення вуглецю внаслідок згорання біомаси, моделі валової та чистої первинної продуктивності екосистем. Крім того, існує ряд інших моделей наземного вуглецю, що базуються на вхідних даних, отриманих методами ДЗЗ. Для прикладу, в моделі екосистемної демографії було використано дані висоти рослинного покриву, отримані авіаційним лідаром, для оцінки стану екосистем.

Вуглекислий газ в океані є досить активним. Беручи участь в фізико-хімічних та біологічних процесах і проходячи різні шляхи він може переходити зі зваженої форми в розчинну і навпаки. Океани є досить динамічними системами з притаманною їм значною мінливістю на різних масштабах. Тому при їх вивченні завжди постає питання нестачі відбору зразків. Дослідження *in situ*, які базуються на відборі проб з морських суден і буїв, не можуть забезпечити адекватного просторового охоплення, необхідного для виявлення будь-яких потенційних змін з накладанням на довгостроковий тенденції. Супутники ж забезпечують повторювані спостереження з глобальним охопленням, які можуть бути використані як засіб для екстраполяції та інтеграції прямих спостережень. Особливо це стосується горизонтальної площини на поверхні. Крім того, супутники можуть надавати інформацію по низці багатьох інших фізичних чинників, які впливають на переміщення вуглецю в самому океані та обмін вуглецем між океаном та атмосферою.

Вивчення вуглецю атмосфери методами ДЗЗ базується на спектроскопічних вимірюваннях відбитого сонячного світла молекулами CO_2 та CH_4 . Такі вимірювання є надзвичайно важливими для оцінки приповерхневих потоків CO_2 , оскільки їх результати можуть бути використані для отримання поверхнево-зважених оцінок мольних частинок CO_2 та CH_4 в усереднених колонках сухого повітря. SCIAMACHY і GOSAT були двома піонерними проектами, що використовували даний підхід. А в найближчому майбутньому заплановано ще цілий ряд подібних супутникових місій – OCO-2 (Orbiting Carbon Observatory), OCO-3, TanSat, GOSAT-2, MicroCarb, CarbonSat, ASCENDS.

При цьому в звіті важливе місце відводиться інтеграції результатів, отриманих в різних напрямках, для повного охоплення глобального циклу вуглецю. Елементи такої інтеграції включають таке:

- міждисциплінарна інтеграція: розуміння планетарного циклу вуглецю вимагає інтеграції різноманітних наукових дисциплін (фізика, хімія, біологія, біогеохімія, екологія, соціологія та ін.);
- інтеграція між напрямками вивчення: розуміння

змін циклу вуглецю та проведення діяльності по пом'якшенню його впливу вимагає врахування взаємодії між собою головних глобальних вуглецевих резервуарів (океан, земний покрив, атмосфера);

- інтеграція систем спостереження: взаємодія системи наземних спостережень (in situ) з системами супутникового спостереження є надзвичайно важливим елементом створення системи вуглецевого моніторингу планетарного масштабу;
- інтеграція безпосередніх вимірювань з результатами моделювання: порівняння результатів безпосередніх вимірів з модельованими є критичним для розуміння вуглецевого циклу та прогнозування впливу його змін на кліматичну систему і навпаки;
- міжсенсорна інтеграція: вивчення вуглецевого циклу і кліматичних змін вимагає тривалих часових рядів даних. Проте тривалість життя окремих сенсорів, як правило, не дозволяє отримати достатньо тривалих часових рядів. А тому важливим є стандартизація сенсорів, які могли б доповнювати один одного;
- інтеграція продуктів: попри те, що забезпечення даними є головним завданням систем спостереження, не менш важливим елементом є обробка та аналіз отриманих даних та доступ до них.

Література до розд. 1

1. Лялько В. І. Дослідження впливу змін CO₂ та CH₄ в атмосфері на клімат за матеріалами космічних зйомок / В. І. Лялько, О. І. Сахацький, Ю. В. Костюченко [та ін.] // Геол. журн. — 2007. — № 4 (321). С. 7—16.
2. Офіційний веб-сайт проєкту Climate Forum East. Червоний хрест., 2013–2014 рр. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: www.climateforumeast.org.
3. Офіційний веб-сайт Міжурядової групи експертів по зміні клімату (МГЕЗК) — <http://www.ipcc.ch/>.
4. Офіційний веб-сайт NASA . [Електронний ресурс]. — <http://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/mainco2mappia18934.jpg>.
5. Пропозиції до формування офіційної позиції України на переговорах з питань зміни клімату у Варшаві (2013). Робоча Група неурядових екологічних організацій України з питань зміни клімату. — 2010. — 6 ст. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://climategroup.org.ua/wp-content/uploads/2007/02/prpnoz2013.pdf>.
6. Резюме для політиків. Содержится в публикации “Изменение климата, 2013 г.: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Пятый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата”. [Стоккер, Т.Ф., Д. Цинь, Дж.-К. Платтнер, М. Тигнор, С. К. Аллен, Дж. Бошунг, А. Науэлс, Ю. Ся, В. Бекс и П. М. Мидглей (редакторы)]. МГЭИК. — Кембридж: Университи Пресс, Кембридж, Соединенное Королевство и Нью-Йорк, США. 2013 г. — Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_brochure_ru.pdf.
7. Шевченко О., Власюк О., Ставчук І., Ваколюк М., Ляльш О., Рожкова А. Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна. Кліматичний форум східного партнерства, Робоча група громадських організацій зі зміни клімату, 2014. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://climategroup.org.ua/wp-content/uploads/2014/07/ukraine_cc_vulnerability.pdf.
8. Хабатюк О. Переговори у Досі “народили” слабкі кліматичні домовленості, 2012 р. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.ecoinvest.com.ua/uk/content/peregovori-u-dosi-narodili-slabki-klimatichni-domovlenosti>
9. Alexander Lisa V., Allen Simon K., Bindoff Nathaniel L. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. — 2013. — 30 p.
10. Bovensmann Heinrich. CarbonSat and the overall vision of a global GHG monitoring system // Future GHG Mission Challenges WS May 8th, 2014.
11. Buchwitz Michael. Satellite observations of greenhouse gases: Achievements for CO₂ obtained within the GHG-CCI project of ESAs Climate Change Initiative // Future GHG Mission Challenges WS May 8th, 2014.
12. CEOS Strategy for Carbon Observations from Space. The Committee on Earth Observation Satellites (CEOS) Response to the Group on Earth Observations (GEO). Carbon Strategy, Issued date: September 30, 2014.
13. Crisp David. The Future Vision of Space-Based GHG Monitoring // Future GHG Mission Challenges WS May 8th, 2014.
14. Doha amendment to the Kyoto protocol. Adoption of an amendment to the protocol. Doha, 8 December 2012. — 41 ст. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://treaties.un.org/doc/Publication/CN/2012/CN.718.2012-Eng.pdf>.
15. Mason Paul J. Systematic observation requirements for satellite-based data products for climate. Supplemental details to the satellite-based component of the “Implementation Plan for the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC (2010 Update)” / Paul J. Mason, Adrian Simmons, Stephan Bojinski, Anna Christina Mikalsen, Carolin Richter // Chairperson, Publications Board World Meteorological Organization (WMO)— Geneva 2, Switzerland-2011. — 138 p.
16. Status of the Doha Amendment. Interactive Map showing ratification of the Doha Amendment establishing the second commitment period of the Kyoto Protocol. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://unfccc.int/kyoto_protocol/doha_amendment/items/7362.php
17. UN Climate Summit 2014: <http://www.un.org/climatechange/summit/ru/2014/09/2014-climate-change-summary-chairs-summary-ru/>
18. 10th International Workshop on Greenhouse Gas Measurements from Space: <http://www.congrexprojects.com/2014-events/14CO2/introduction>.
19. Wickland Diane E. CEOS Strategy for Carbon Observations from Space / Diane E. Wickland Stephen Plummer Masakatsu Nakajima and all // Printed in Japan by JAXA and I&A Corporation, September 30, 2014. — 215 p.