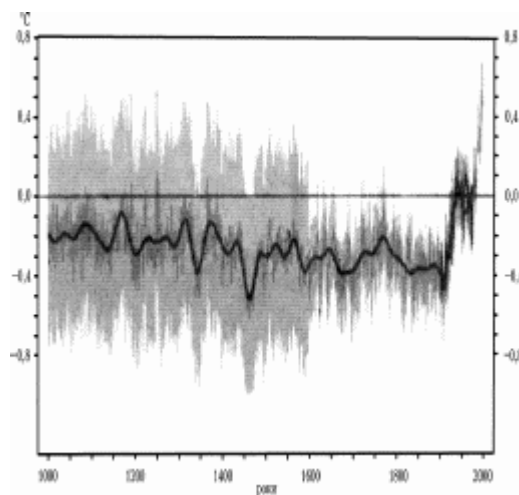


В. ЄРЕМСЄВ, В. ЄФІМОВ

## РЕГІОНАЛЬНІ АСПЕКТИ ГЛОБАЛЬНОЇ ЗМІНИ КЛІМАТУ

*«Згубні наслідки зміни клімату вже очевидні», — зазначено у Декларації конференції ООН зі сталого розвитку, яка відбулася в Йоганнесбурзі у вересні 2002 р. Певною мірою це формулювання підбиває підсумки дискусії останнього десятиліття щодо причин зміни клімату. Точилася вона з приводу того, чи пов'язане глобальне потепління Землі з природними факторами, чи воно виходить за їх межі і зумовлене антропогенним втручанням у кліматичну систему — збільшенням концентрації в атмосфері парникових газів. У звіті робочої групи експертів Міжурядової комісії зі зміни клімату, який ґрунтується на всебічному аналізі наявної інформації, зроблено висновок, що на 90% (з ризиком помилки не більше 10%) зміни глобальних кліматичних характеристик останнього століття викликані саме зростаючим антропогенним навантаженням на кліматичну систему Землі. Автори статті розглядають регіональні аспекти цієї проблеми.*

Нині проблема зміни клімату в її широкому розумінні, тобто всієї кліматичної системи «атмосфера—океан—суходіл—кріо—біосфера» у масштабах десятків років і більше, набула важливого наукового і прикладного значення. По суті всі великі сучасні міжнародні геофізичні програми пов'язані з нею чи спрямовані на її вирішення.



*Рис. 1.* Графік зміни у часі температури повітря Північної півкулі за останні 1000 років порівняно із середньою її величиною за 1961–1990 роки. Графік взято із звіту Робочої групи експертів Міжурядової комісії із зміни клімату

Динаміку кліматичних зрушень, які відбулися останнім часом, наочно ілюструє графік часових змін температури повітря Північної півкулі за останні 1000 років (рис. 1). Він побудований у результаті усереднення численних непрямих (однак добре каліброваних) апроксимацій, а також даних прямих інструментальних вимірювань температури з початку ХХ ст. [1]. Одержані результати переконують, що підвищення середньої температури Північної півкулі у ХХ ст., а надто в його другій половині, за швидкістю і величиною наростання виходить за межі оцінок природних флуктуацій, пов'язаних із

зовнішніми чи внутрішніми природними факторами (зміною сонячної активності, вулканічної діяльності тощо).

Які ж фізичні механізми змін клімату, зафіксованих на глобальному і регіональному рівнях? Наскільки вони пов'язані з антропогенними і природними факторами? У чому полягає небезпечне антропогенне втручання у кліматичну систему? Як оцінюється вплив кліматичних змін на навколишнє середовище у контексті стратегії сталого розвитку? Це лише частина тих запитань, на які наука шукає сьогодні відповіді. А ще їй належить вивчити глобальні і регіональні процеси, пов'язані із збільшенням концентрації парникових газів, і вплив цього чинника на частоту та інтенсивність екстремальних флуктуацій; з'ясувати, чи існує загроза катастрофічних і нелінійних змін; створити методи і засоби скорочення емісії парникових газів. Мають бути розроблені ймовірні сценарії розвитку, необхідні для прогнозування кліматичних, екологічних і соціально-економічних наслідків через 25, 50 і 100 років. Слід визначити часові масштаби та інерцію кліматичних змін.

Для різних сценаріїв соціально-економічного розвитку людства і, відповідно, різних швидкостей зростання концентрацій в атмосфері парникових газів (вуглекислого газу, метану, закису азоту та інших), а також аерозолей головним методом вивчення ймовірних змін клімату на Землі є чисельне моделювання. Сучасні моделі, включаючи блоки, що описують атмосферну циркуляцію, океан, суходіл, лід і наземну біоту, дають змогу одержувати так звані чисельні проєкції можливих змін клімату у ХХІ ст. Усі вони прогнозують підвищення глобальної температури повітря на 2,5–4,5°C, зростання кількості опадів, інтенсифікацію гідрологічного циклу (вологообігу) на Землі. Водночас існуючі і заплановані чисельні моделі мають недостатню просторову «роздільну здатність», і їх використання потребує значних економічних затрат (застосування суперЕОМ). Тому в рамках загальної проблеми зміни клімату розвивається окремий напрям — регіоналізація, пов'язана з розробкою методів і вивченням очікуваних у ХХІ ст. змін кліматичних характеристик в окремих регіонах і на площах порядку десятків кілометрів.

Це особливо важливо для помірних широт у Європі, щодо яких прогнози ймовірних змін кількості опадів і температури повітря досить непевні. Україна належить до таких «критичних» регіонів, де очікуються відносно великі меридіональні градієнти змін температури (на відміну, приміром, від просторовооднорідних континентальних регіонів чи тропіків, де чисельні оцінки прогнозованих змін надійніші). Крім того, наявність Чорного та Азовського морів, Карпатських, Кримських і сусідніх Кавказьких гір, які теж погано описуються у сучасних глобальних кліматичних моделях, також потребує розробки і використання спеціальних методів регіоналізації.

Актуальність регіональних досліджень для України зумовлена тим, що протягом ХХ ст. основні кліматичні характеристики на її території активно змінювалися, і ці зміни помітно перевищували глобально усереднені величини. Цікаво проаналізувати результати обробки метеоданих за 95-річний період (1901–1995), які включають середньомісячні величини (нормалі) приземної температури повітря, опадів (мм на добу), хмарності (бали за 100-бальною системою), відносної вологості (%), інтервал добових змін температури і кількість морозних днів для зимового сезону (грудень–лютий).

Цей інформаційний масив зібрано на підставі даних вимірювань протягом 1961–1996 рр. на метеостанціях, які входять до системи всіх національних гідрометеорологічних служб [2]. Звідти відібрали дані для території України. Їх згрупували за чотирма субрегіонами, поділеними за меридіаном 32,5° з. д. і паралеллю 50° пн. ш. (Північно-Західний, Північно-

Східний, Південно-Західний, Південно-Східний і окремо територія Криму). Такий поділ зроблено для спрощення викладу. Хоча він і досить умовний, все ж дає змогу у першому наближенні виокремити як загальні, так і субрегіональні особливості зміни кліматичних характеристик України у ХХ ст. Найбільший інтерес становлять оцінки величин трендів за весь 95-річний період ХХ ст. Останній 30-річний інтервал розглядається лише як опорний для порівняння з результатами розрахунків ймовірних змін клімату у ХХІ ст. з використанням глобальних моделей.

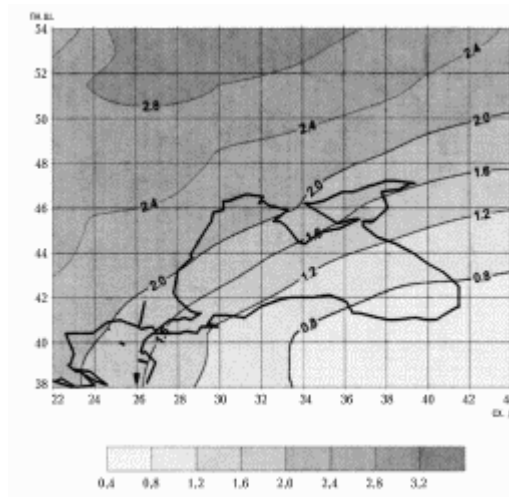
Середня температура повітря зросла у Північно-Східному і Південно-Східному субрегіонах України на 2,7–2,8°C, у Північно-Західному — на 1,1–1,7°C. Усі ці оцінки статистично вагомі. Відповідно до підвищення температури повітря кількість морозних днів зменшилася приблизно на 5–10%. Помітно збільшилася вологість — на 10–25%. Відносно менші зміни спостерігалися щодо опадів: для них величини трендів перебувають за межами 90% рівня значущості. У Криму тенденції зміни температури і вологості були такими ж самими, як і для материкових регіонів, але абсолютна величина їх виявилася меншою, що, мабуть, пов'язано з впливом Чорного моря [3].

Великий практичний інтерес становить не лише кліматична мінливість середньомісячних параметрів, а й статистика їхніх екстремальних значень. Ми, зокрема, показали, що повторюваність аномально високих середньомісячних температур до кінця ХХ ст. зросла у два-три рази порівняно з початком століття. Аномально холодні зимові сезони стали менш ймовірними.

Дослідження регіональних змін клімату у ХХІ ст., пов'язаних з антропогенним забрудненням, включає кілька підходів, — таких, приміром, як проста емпірична екстраполяція лінійних трендів метеохарактеристик, зафіксованих за останні 50–100 років, на майбутнє або деякі суб'єктивні передбачення щодо тенденцій зміни характеру регіональних атмосферних процесів. Однак справді строгими методами можна вважати або пряме часове чисельне моделювання з допомогою глобальних кліматичних моделей (яке поки що не застосовується через велику кількість обчислювальних операцій), або спеціальні методи регіоналізації, котрі ґрунтуються на використанні результатів чисельного моделювання (downscaling).

У Морському гідрофізичному інституті НАН України розвиваються нові методи регіоналізації, які включають лінійні і нелінійні статистичні методи та кластерний аналіз. За вхідну інформацію для них правлять вихідні дані сучасних чисельних моделей глобальних змін клімату, а результатом стає прогностична інформація щодо змін кліматичних характеристик для регіонів України. При цьому враховуються особливості їхньої орографії та властивості підстилаючої поверхні [4].

Перспективні підходи до регіоналізації проєкцій майбутніх глобальних змін клімату реалізуються у динамічному і динаміко-статистичному методах. Для цього сучасна чисельна модель атмосферної циркуляції 5-го покоління ММ-5 була адаптована до регіону України та Азово-Чорноморського басейну [5]. Вона дає змогу відтворювати процеси на просторових масштабах приблизно десятка кілометрів, що на порядок краще, ніж в існуючих моделях глобального клімату. Таким чином, динамічні методи регіоналізації прогностів зміни клімату нині активно розвиваються. Однак якість прогносту (проєкцій) змін клімату у ХХІ ст. для конкретного регіону Землі залежить передусім від удосконалення чисельних глобальних кліматичних моделей, які створюються у кількох провідних міжнародних кліматичних центрах. А важливою умовою виконання регіональних кліматичних програм є міжнародна наукова кооперація, тобто можливість використовувати глобальне моделювання у регіональних моделях.



*Рис. 2.* Прогноз зміни зимової температури повітря для періоду 2079–2099 рр. щодо фактичної температури протягом 1961–1990 років за моделлю HadCM2

На рис. 2 наведено один з результатів чисельного моделювання змін клімату наприкінці XXI ст.: показано різницю між розрахованою на моделі HadCM2 [6] приземною температурою повітря для періоду 2079–2099 рр. і фактичною зимовою температурою протягом 1961–1990 років. Як бачимо, прогнозоване потепління становить 2–3°C, однак будь-які локальні особливості розподілу температури тут відсутні, що пов'язано з грубою просторовою «роздільною здатністю» глобальних кліматичних моделей. Виявлення місцевих особливостей у полі температури, а також в інших метеополях (таких, як вологість, опади, вітер тощо), вивчення змін статистики екстремальних подій, реакцій на ці зміни регіонального гідрологічного циклу, змін у системі Чорного моря та інших проявів загальної тенденції потепління на Землі — предмет регіональних кліматичних досліджень.

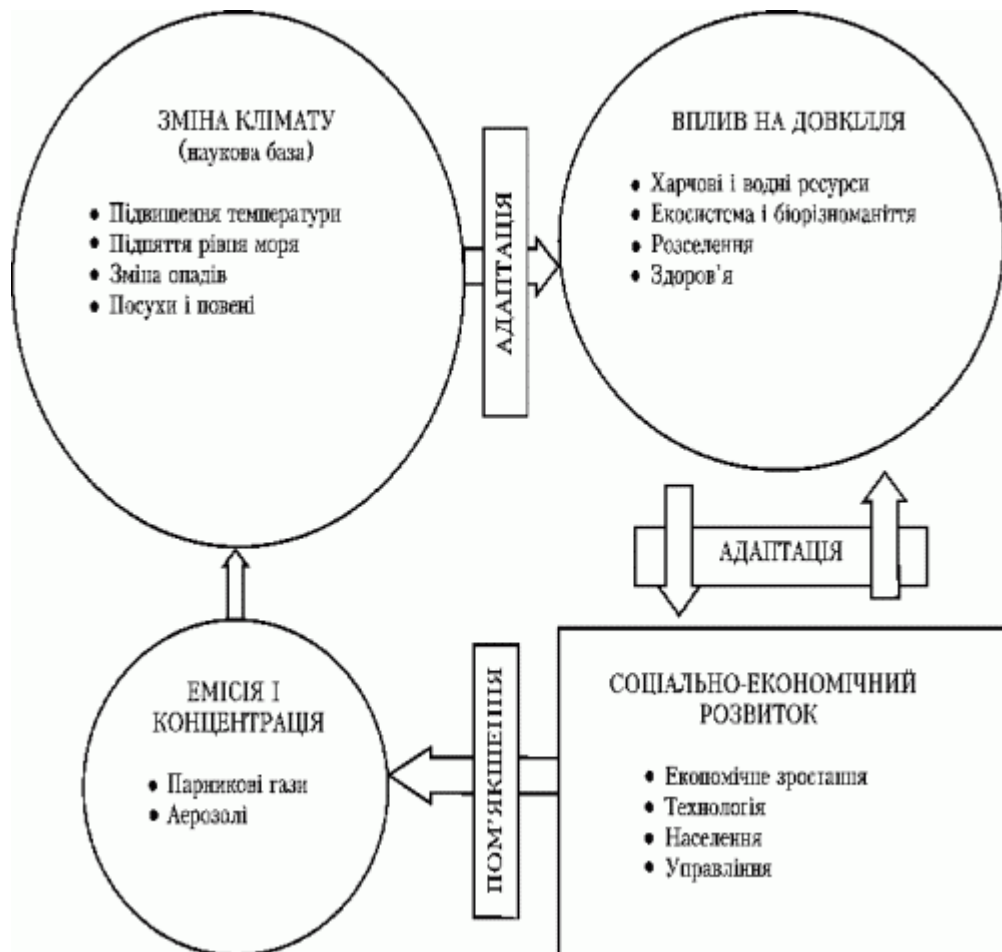


Рис. 3. Блок-схема досліджень проблеми зміни клімату

Загалом ланцюг причинно-наслідкових зв'язків, які визначають загальну проблему антропогенної зміни клімату, схематично подано на рис. 3. Емісія і збільшення концентрації парникових газів та аерозолів в атмосфері, що є наслідком соціально-економічного розвитку людства, впливає на кліматичну систему Землі, викликаючи зростання температури, підвищення рівня моря, зміну кількості опадів та інших фізичних параметрів навколишнього середовища, зумовлюючи екстремальні погодні умови. Такі зміни позначаються на довкіллі (на екосистемах і біорізноманітті, харчових та водних ресурсах), здоров'ї і розселенні людей. Від цих змін у довкіллі залежать подальші шляхи майбутнього соціально-економічного розвитку, котрі, зі свого боку, впливають на фактори, які їх спричиняють. Усі складові цієї загальної комплексної міждисциплінарної і міжнародної кліматичної проблеми нині активно вивчаються. Основна увага приділяється ланці, яка має найбільше значення для розв'язання всієї проблеми: науково обґрунтованим оцінкам змін фізичних параметрів атмосфери, океану, суходолу і кріосфери внаслідок антропогенного впливу на кліматичну систему. Нині досягнуто успіхів у розробці адекватних чисельних моделей глобального клімату, а також активно розвиваються методи регіоналізації кліматичних оцінок. Однак через надзвичайну складність проблеми створення наукових основ теорії зміни клімату перебуває лише на початковій стадії.

Важливе завдання розвитку кліматичних досліджень в Україні — вибір пріоритетних напрямів з урахуванням результатів, досягнутих на рівні реалізації міжнародних кліматичних програм, а також основних потреб народногосподарського розвитку країни. Серед них можна виділити такі:

– розробка наукових основ регіоналізації глобальних сценаріїв зміни клімату Землі у XXI ст. для території України та Азово-Чорноморського басейну на базі емпіричних, статистичних і чисельних методів прогнозу;

– оцінка змін основних кліматичних характеристик України, які сталися протягом XXI ст. внаслідок антропогенного забруднення; регіональних змін середніх параметрів (температура, опади, хмарність, інсоляція, вологість, швидкість вітру, діапазон добових коливань температури тощо) та їх екстремальних проявів на сезонних і синоптичних просторово-часових масштабах;

– дослідження кліматичної мінливості фізико-хімічних характеристик, біопродуктивності і біорізноманіття екосистеми Азово-Чорноморського басейну під дією природних та антропогенних факторів;

– вивчення впливу змін клімату у XXI ст. на функціонування сільськогосподарського комплексу (прогноз зміни врожайності основних культур), на водне господарство, транспорт і паливно-енергетичний сектор народного господарства, а також вироблення рекомендацій для усунення негативних наслідків прогнозованих змін для України загалом та для її ключових найвразливіших регіонів (Карпати, Крим) зокрема.

Одна з передумов успішного розв'язання цих проблем — співробітництво та участь у міжнародних кліматичних програмах, які інтенсивно розвиваються нині у провідних наукових центрах світу.

1. IPCC, 2001 Climate Change 2001: Synthesis report. A Contribution of Working I and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Watson R.I. and the Core Writing Team (eds)]. Cambridge Univ. Press., Cambridge, United Kingdom and New York., NY, USA. 398 p.

2. Hulme M., Conway D., Jones P.D., Jiang T., Barrow E.M., Turney C. Construction of a 1961–1990 European climatology for climate change modelling and impact applications // Int. Journal of Climatology, 1995.— Vol. 15.— P. 1333–1363.

3. Еремеев В.Н., Ефимов В.В., Суворов А.М., Шокуров М.В. Аномальная климатическая тенденция изменения температуры Черного моря // Доп. НАН України. — 2001. — № 11. — С. 91–95.

4. Ефимов В.В., Шокуров М.В. Исследование искусственной нейтронной сети для статистического оценивания температуры поверхности Черного моря. (Тр. Междун. универ. конф., посвященной 75-летию академика Г.И. Марчука и 20-летию Института вычислительной математики), 2000. — М.: ИВМ РАН. — Т. 2. — С. 267–274.

5. Барабанов В.С., Ефимов В.В., Шокуров М.В. Об использовании мезомасштабной модели для расчета полей приводного ветра и осадков над Черным морем // Глобальная система наблюдений Черного моря. — Севастополь: МГИ НАН Украины (в печати).

6. IPCC Data Distribution Centre for Climate Change and Related Scenarios for Impacts Assessment, CD-ROM, Version 1.0, April, 1999.

РЕГІОНАЛЬНІ АСПЕКТИ  
ГЛОБАЛЬНОЇ ЗМІНИ КЛІМАТУ

Резюме

Автори розглядають методи вивчення ймовірних змін клімату на Землі загалом, а також в окремих регіонах, формулюють основні завдання розвитку кліматичних досліджень в Україні.

*V. Yeremeyev, V. Yefimov*

REGIONAL ASPECTS  
OF GLOBAL CLIMATE CHANGE

Summary

Authors describe methods of studies of the possible climate change on the Earth in general and in separate regions, define the main tasks of development of climatic studies in Ukraine.

---

© ЄРЕМЄЄВ Валерій Миколайович. Академік НАН України. Директор Морського гідрофізичного інституту НАН України (Севастополь).  
ЄФІМОВ Володимир Васильович. Доктор фізико-математичних наук. Заступник директора тієї ж установи. 2003.