

Ансамбль МЗЦАО у вивченні сезонних змін клімату в Україні для XXI-го століття

Ensemble of AOGCMs in the study of seasonal climate changes in Ukraine for the 21st century

Гнатюк Н.В.^{1,2}, Краковська С.В.¹, Паламарчук Л.В.², Шедеменко І.П.³, Дюкель Г.О.¹
Gnatiuk N.V.^{1,2}, S.V. Krakovska¹, L.V. Palamarchuk², I.P. Shedemenko³, G.O. Djukel¹

¹ Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут, Київ

¹ Ukrainian Hydrometeorological Institute, Kiev

² Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

² Kiev National Shevchenko University, Cathedra of Meteorology and Climatology

³ Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, Київ

³ Institute for Safety Problems of NPP NASU, Kiev

ABSTRACT

Research of the future climate changes for the territory of Ukraine is very important for national planning economic and social aspects of the country life in the 21st century. Indisputably, advanced tools of studying and forecasting of climate changes are Atmosphere-Ocean General Circulation Models (AOGCMs). Specially worked out scenarios of future changes (SRES) were recommended by IPCC for consideration we used for comparison three of them: B1, A2 and A1B. Note, in the presented study quantitative estimations of surface air temperature and precipitation changes for the territory of Ukraine have been received for the first time. In fact the received results became a first step in development of a new direction in studying the future climate changes in Ukraine with AOGCMs using.

Two meteorological characteristics – surface air temperature and precipitation were considered, in particular their mean seasonal values. For this purpose ten AOGCMs were selected from the project CMIP3 (Coupled Model Intercomparison Project, phase 3) of the IPCC archive as the most suitable for the analysis of climate changes in Ukraine and their results were used for the three above scenarios: B1, A2 and A1B. Since there was more than one run for some models (up to 7), the total number of the analyzed experiments were 84.

Firstly data for the territory of Ukraine were selected by geographical coordinates, cut off to hundred years period 2001-2100 since some models had longer runs and averaged over all model's runs for each scenario. Then mean seasonal parameters for every season and model were found and averaged over all ten models to obtain seasonal ensemble mean for every scenario.

Analysis of the carried out and presented research has shown that an increasing of average seasonal values of air temperature are the most probable in Ukraine during the 21st century, but an averaged precipitation sums remain almost unchanged for all scenarios and seasons. The most considerable coefficients of linear trends of air temperature have been obtained for A2 scenario – from 0,068 °/year for winter minimum temperatures. The lowest parameters have been found for B1 scenario: 0,019°/year for autumn and winter maximum temperatures. For A1B scenario coefficients of linear trends of 0,037 °/year have been got for all seasons except for winter (0,041 °/year).

Since Ukraine occupies relatively vast territory in the East Europe and expected climate changes could be different in the different parts of the country, it is necessary to investigate regional seasonal climate changes in the different regions in the further research. It requires application of regional climate models to reduce considerably horizontal steps of calculations and accordingly to increase accuracy of the received results.

АКТУАЛЬНІСТЬ

Дослідження майбутніх змін клімату на території України є дуже важливим для національного планування економічних та соціальних аспектів життя країни у XXI ст.

З метою отримання прогностичних значень кліматичних характеристик для території України у XXI столітті було сформовано ансамбль з 10 моделей загальної циркуляції атмосфери та океану (МЗЦАО), які були задіяні у проекті CMIP3 (Meehl et al, 2007; Randall et al, 2007), та проаналізовано результати їх розрахунків (всього 84) для трьох з шести найбільш вірогідних сценаріїв розвитку суспільства та економіки за номенклатурою МГЕЗК (Nakićenović et al, 2000): B1, A1B та A2. Для зменшення величини похибки прогнозу, отриманого за допомогою МЗЦАО, використовувалася метод паралельних розрахунків обраних моделей при однакових зовнішніх впливах – ансамблевий метод. Результат осереднення за ансамблем, як правило, має найбільший успіх при порівнянні з даними спостережень та дозволяє знівелювати систематичні помилки моделей.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Для оцінки очікуваних сезонних змін регіонального клімату на території України у XXI сторіччі, а саме розподілу двох метеорологічних величин – температури повітря та кількості опадів, з поміж 23 МЗЦАО, що використовувалися у проекті CMIP3, було відібрано десять (Краковська та ін., 2010). В результаті усестороннього аналізу обрані моделі були визнані найбільш придатними для аналізу кліматичної ситуації на території нашої держави. Слід зауважити, що деякі з відібраних моделей мають кілька розрахунків для кожного із сценаріїв і, таким чином, всього було використано результати 84-х розрахунків 10 МЗЦАО.

Розглянемо методику аналізу вихідних даних МЗЦАО під час дослідження сезонних змін клімату для України. В першу чергу було надіслано запит до архіву CMIP3 та отримано середньомісячні дані температури повітря та кількості опадів на період XXI століття для 10 МЗЦАО на основі трьох сценаріїв розвитку людства B1, A1B та A2 (всього 84 набори даних для двох метеорологічних величин). Наступним кроком було виділення території України за її географічними координатами з масивів даних.

Набори даних для кожного з трьох використаних сценаріїв аналізувалися за наступним алгоритмом:

- спочатку було отримано середні значення прогнозованих рядів обраних метеорологічних величин для моделей, які мали більше одного розрахунку – ансамблеве осереднення, в результаті чого було отримано 20 наборів даних (два метеорологічні показники для 10 моделей);
- згодом для кожного з отриманих рядів середньомісячні характеристики були трансформовані у сезонні середні значення температури повітря та суми опадів;
- кінцевим етапом було виділення та осереднення за чотирма сезонами року даних середньомісячної температури повітря та кількості опадів для кожного з отриманих наборів по 10 моделях;
- в результаті було проведено ансамблеве осереднення для всіх обраних МЗЦАО та отримані мінімальні, середні та максимальні за площею значення для кожного сезону.

ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

На рис.1 – 3 представлено часові серії середніх, максимальних та мінімальних та мінімальних за площею значень двох досліджуваних кліматичних характеристик для основних та перехідних сезонів. На рис.4 зображено карти зміни в Україні середньої за 10-річчя температури повітря (°C) зими та літа порівняно з періодом 2001-2010 рр. за даними ансамблю 4 розрахунків моделі ECHAM5/MP1-OM за сценарієм A1B. В табл.1 наведено коефіцієнти лінійного тренду. Результати аналізу представлено в табл.2, 3, а саме ансамблеві середні сезонні приземні температури та суми опадів для кожного десятиріччя XXI ст. з їх стандартними відхиленнями та мінімальними і максимальними значеннями за модельними результатами.

Отримані коефіцієнти лінійних трендів (табл. 1) та зміни сезонних температур відносно сучасного десятиліття (табл. 2) вказують на те, що підвищення температури повітря в XXI ст. в Україні відбуватиметься за рахунок збільшення значень температури зимового сезону (середні значення коефіцієнтів лінійного тренду для B1 – 0,029°C/рік, A1B – 0,041°C/рік, A2 – 0,052°C/рік). В усіх сценаріях розрахунку показують дещо менше підвищення температури у весняно-літній період. Слід зауважити, що загальне підвищення температур повинно відбуватися через зменшення повторюваності по території низьких температур в зимовий період і, в меншій мірі, через збільшення повторюваності випадків високих температур в літній період. Для кожного з наведених сценаріїв значення коефіцієнту лінійного тренду для зимових мінімумів вище, ніж для літніх максимумів (відповідні пари: B1 – 0,035 та 0,023°C/рік, A1B – 0,053 та 0,040°C/рік, A2 – 0,068 та 0,046°C/рік). Результати розрахунків, що представлені в табл. 2 вказують на монотонне зростання температури повітря на території України у XXI ст. за усіх сценаріїв розвитку людства. Найбільше підвищення температура в зимовий період – від 2,2°C (B1) до 4,6°C (A2) та влітку – від 1,9°C (B1) до 5,2°C (A2). Повільніше підвищуватимуться температури восени – від 1,7°C (B1) до 3,9°C (A2), дещо нижчі прирости, але подібні до зимових, отримані для весняного сезону – від 1,9°C (B1) до 4,6°C (A2).

Таблиця 1. Коефіцієнти лінійного тренду ансамблевого моделювання по сезонах

Сценарій та сезони	температура, °C/рік			опадів, мм/рік			
	мінімум	середнє	максимум	мінімум	середнє	максимум	
B1	зима	0,035	0,029	0,019	0,047	0,061	0,072
	весна	0,024	0,022	0,020	0,054	0,103	0,163
	літо	0,021	0,021	0,023	-0,056	-0,080	-0,135
	осінь	0,022	0,021	0,019	0,023	0,017	-0,015
A1B	зима	0,053	0,041	0,031	0,017	0,123	0,208
	весна	0,041	0,037	0,034	0,008	0,103	0,162
	літо	0,035	0,037	0,040	-0,085	-0,185	-0,335
	осінь	0,040	0,037	0,035	-0,114	0,001	-0,010
A2	зима	0,068	0,052	0,039	0,061	0,195	0,254
	весна	0,041	0,038	0,035	0,087	0,107	0,113
	літо	0,039	0,042	0,046	-0,174	-0,305	-0,552
	осінь	0,044	0,043	0,040	-0,130	-0,190	-0,265

Значення сум опадів за сезонами на території України впродовж XXI ст. змінюватимуться неоднозначно. Відмічається збільшення середніх сум опадів в зимовий та весняний сезони від 4,0% (B1) до 14,0% (A2) та від 4,9% (A2) до 7,0% (B1) відповідно. Збільшення сум опадів в літній та осінній сезони порівняно з періодом 2001-2010 рр. за даними ансамблю 4 розрахунків моделі ECHAM5/MP1-OM за сценарієм A1B. Для B1 відмічається незначне підвищення опадів у 2 та 6 десятиріччях, а для A2 – для 2-4. Літні сезони у другій половині століття прогноуються відносно посушливими за будь-якого сценарію розвитку. За характером змін сум опадів осінній сезон наблизитиметься до літнього, тільки для B1 прогноуються незначне зростання – 0,3%, та зменшення до 1,8% (A1B) та 13,0% (A2).

Зауважимо, що отримані результати щодо кількості опадів, на відміну від температури повітря, повинні сприйматися досить обережно. Відомо, що опади є досить мінливим у просторі та часі явищем, хоча й мають при достатній осередненні певний сезонний хід та розподіл за площею, які обумовлені в першу чергу географічним положенням та підстильною поверхнею (Ліпінський та ін., 2003). Але в даному випадку дослідження було обмежене великостями МЗЦАО, і насамперед їх недостатньою роздільною здатністю для аналізу регіональних особливостей режиму зволоження.

Таблиця 2. Зміна в Україні температури повітря (°C) по десятиріччях XXI ст. порівняно з періодом 2001-2010 рр.

Десятиріччя, Показник	Сезон, сценарій	Зима			Весна			Літо			Осінь		
		B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
2	Середнє, °C	0,5	0,2	0,6	0,4	0,0	0,1	0,2	0,2	-0,1	0,1	0,0	0,4
	Ст. відх. (σ), °C	0,7	0,7	0,6	0,3	0,4	0,3	0,5	0,2	0,5	0,6	0,5	0,3
	Мін., °C	-0,5	-1,4	-0,3	0,0	-1,0	-0,3	-0,9	-0,2	-0,9	-1,6	-0,9	0,1
	Макс., °C	2,0	1,4	1,6	1,0	0,4	0,4	1,1	0,6	0,5	0,6	0,5	0,8
3	Середнє, °C	0,9	0,7	0,6	0,7	0,4	0,3	0,7	0,4	0,3	0,4	0,5	0,7
	Ст. відх. (σ), °C	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,4	0,3	0,4	0,2	0,4
	Мін., °C	0,0	-0,3	0,0	0,2	-0,5	-0,9	-0,8	-0,2	-0,5	-0,4	0,1	0,1
	Макс., °C	2,0	1,8	1,3	1,4	0,7	0,9	2,0	1,7	0,6	1,0	0,7	1,1
4	Середнє, °C	1,1	1,0	1,2	0,8	0,9	0,6	0,9	1,2	0,4	0,7	0,9	0,7
	Ст. відх. (σ), °C	0,9	0,7	0,6	0,7	0,3	0,5	0,6	0,5	0,5	0,7	0,5	0,6
	Мін., °C	-0,3	0,0	0,3	-0,4	0,2	-0,1	0,0	0,6	-0,2	-0,8	-0,2	-0,6
	Макс., °C	2,7	1,9	2,2	1,9	1,3	1,3	2,2	1,9	1,1	1,7	1,4	1,5
5	Середнє, °C	1,3	1,8	2,0	1,1	1,4	0,8	1,1	1,6	0,9	1,0	1,4	1,2
	Ст. відх. (σ), °C	0,7	0,7	1,0	0,5	0,4	0,6	0,7	0,6	0,6	0,8	0,3	0,3
	Мін., °C	0,6	0,9	1,0	0,2	0,9	-0,3	-0,5	0,8	-0,3	-0,8	0,9	0,9
	Макс., °C	2,9	3,2	4,2	1,9	2,3	1,8	2,5	2,7	1,7	2,2	1,8	1,6
6	Середнє, °C	1,7	2,2	2,5	1,3	1,8	1,4	1,2	1,9	1,3	1,0	1,7	1,7
	Ст. відх. (σ), °C	0,7	0,5	1,0	0,7	0,3	0,7	1,2	0,6	0,5	0,9	0,5	0,4
	Мін., °C	0,6	1,1	1,6	0,3	1,3	0,2	-0,9	1,0	0,8	-0,8	0,9	1,2
	Макс., °C	2,9	3,1	4,1	2,5	2,2	2,4	3,4	2,8	2,2	2,4	2,4	2,3
7	Середнє, °C	2,0	2,6	3,0	1,5	2,1	1,8	1,5	2,4	1,7	1,4	2,1	2,1
	Ст. відх. (σ), °C	1,0	0,6	0,6	0,7	0,7	0,9	0,9	0,6	0,7	1,0	0,5	0,5
	Мін., °C	0,9	1,4	2,3	-0,2	0,9	0,2	0,6	1,4	0,7	-0,6	1,4	1,2
	Макс., °C	3,9	3,5	4,0	2,4	3,4	3,1	3,1	3,2	3,1	2,8	3,0	2,9
8	Середнє, °C	2,2	2,8	3,5	1,6	2,5	2,2	1,7	2,7	2,5	1,5	2,3	2,8
	Ст. відх. (σ), °C	1,1	0,9	1,1	0,5	0,7	0,6	0,9	0,9	0,9	0,8	0,6	0,5
	Мін., °C	0,8	1,3	2,4	0,7	1,7	0,9	1,0	1,0	1,4	-0,2	1,6	2,2
	Макс., °C	4,1	3,8	4,9	2,2	4,0	2,7	3,9	3,8	3,6	2,4	3,2	3,6
9	Середнє, °C	2,8	3,1	4,0	1,8	2,7	2,8	1,8	3,0	2,8	1,7	2,4	3,4
	Ст. відх. (σ), °C	1,3	1,1	1,1	0,7	0,6	1,1	1,0	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8
	Мін., °C	0,9	1,2	2,6	1,0	2,1	1,2	0,8	1,6	1,6	0,0	0,9	2,4
	Макс., °C	5,1	4,5	5,4	2,9	3,9	4,7	4,2	4,0	3,9	3,2	3,9	4,6
10	Середнє, °C	2,2	3,4	4,6	1,9	3,0	3,1	1,9	3,2	3,6	1,7	2,9	3,9
	Ст. відх. (σ), °C	0,9	1,1	1,2	0,7	0,8	1,0	1,0	1,2	1,1	0,7	0,8	0,8
	Мін., °C	1,0	1,7	3,2	1,0	2,1	1,8	1,1	2,0	1,7	-0,5	1,9	3,0
	Макс., °C	3,3	5,0	6,9	3,0	4,7	4,6	3,8	4,5	5,2	3,0	4,0	4,9

Таблиця 3. Зміна в Україні кількості опадів (%) по десятиріччях XXI ст. порівняно з періодом 2001 – 2010рр.

Десятиріччя, Показник	Сезон, сценарій	Зима			Весна			Літо			Осінь		
		B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
2	Середнє, %	1,1	3,1	0,1	0,1	0,1	3,8	5,2	-1,2	2,9	2,5	-1,8	0,5
	Ст. відх. (σ), %	3,6	6,8	0,6	0,6	0,6	4,6	6,1	10,9	9,4	12,1	7,6	5,1
	Мін., %	-6,8	-4,2	-1,6	-1,6	-1,6	-3,3	-5,0	-25,9	-9,2	-18,5	-21,9	-8,5
	Макс., %	5,0	16,8	0,6	0,6	0,6	9,6	15,8	16,3	19,5	22,3	5,9	7,3
3	Середнє, %	2,4	1,6	0,4	0,4	0,4	4,4	-1,1	1,6	0,5	-1,8	-4,1	
	Ст. відх. (σ), %	4,2	4,3	0,4	0,4	0,4	5,4	8,5	11,4	5,6	12,1	3,8	3,0
	Мін., %	-4,6	-4,2	-0,4	-0,4	-0,4	-2,0	-17,9	-28,8	-7,6	-27,1	-8,9	-9,4
	Макс., %	7,4	10,1	1,0	1,0	1,0	14,2	9,5	7,4	9,2	14,0	4,0	-1,5
4	Середнє, %	1,8	5,7	0,7	0,7	0,7	-1,6	-1,3	-4,9	0,9	-3,0	-1,3	-1,2
	Ст. відх. (σ), %	5,0	6,4	0,7	0,7	0,7	6,9	7,8	11,1	11,5	7,5	6,4	7,5
	Мін., %	-10,4	-5,3	-0,8	-0,8	-0,8	-11,6	-15,7	-31,1	-8,3	-13,5	-14,6	-12,2
	Макс., %	6,8	14,6	1,7	1,7	1,7	10,0	10,7	6,8	27,7	10,5	8,1	9,2
5	Середнє, %	1,7	1,7	1,0	1,0	1,							