

М.Б. Барабаш, Т.В. Корж, О.Г. Татарчук

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН ТА КОЛИВАНЬ ОПАДІВ НА РУБЕЖІ XX І XXI СТ. В УМОВАХ ПОТЕПЛІННЯ ГЛОБАЛЬНОГО КЛІМАТУ

Розглянуто тенденцію зміни режиму зволоження території України у період глобального потепління клімату. Проаналізовано віковий хід опадів для станцій України у цілому за рік і сезони. Проведено порівняння двох кліматичних норм за періоди 1891-1964 і 1961-1990рр.

Об'єктивну оцінку спостережень за змінами, які відбуваються у кліматичній системі, регулярно надає для урядових та громадських організацій Міжурядова група експертів зі змін клімату (МГЕЗК) при ООН та Всесвітня Метеорологічна Організація (ВМО).

Згідно цієї інформації з кінця XIX до початку XXI ст. річна глобальна температура повітря підвищилася на $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$. На перший погляд це невелике значення, але за ним криються значні перетворення макроциркуляційних процесів на всій Земній кулі, зміна просторово-часового розподілу багатьох характеристик клімату. Середня швидкість підвищення глобальної температури до 1970 р. становила $0,05^{\circ}\text{C}/10$ років, в останні десятиріччя вона подвоїлася [2].

Основна причина глобального потепління вбачається у підсиленні природного парникового ефекту викидами в атмосферу парникових газів (вуглекислий газ, метан, оксид азоту та ін.) [5, 9, 10].

Супутникові дані свідчать, що впродовж XX ст. у Північній півкулі змінилася не лише температура повітря. Площа морського льоду у весняно-літній сезон скоротилася на 10-15%, зменшилася площа снігового покриву, у середніх широтах відбулося танення льодовиків, і з'явилися деякі риси зміни кліматичних зон. Кількість атмосферних опадів на початок XXI ст., у порівнянні з кінцем XIX ст., збільшилася на 8-10% за столітній період у більшості районів високих та середніх широт Північної півкулі. При цьому у другій половині століття дещо збільшилася повторюваність сильних опадів. По території Земної кулі

зміна кількості опадів не однозначна. Так у багатьох тропічних районах спостерігається їх зменшення [2, 5].

Актуальність дослідження полягає в необхідності вивчення регіональних особливостей режиму зволоження при глобальному потеплінні клімату. Клімат України достатньо чутливий до змін глобального клімату. Це підтверджується одноманітністю багаторічного ходу аномалії глобальної та регіональної температури повітря. Але підвищення температури повітря в Україні відбувається більш швидкими темпами. Тому вивчення сучасного клімату України і клімату найближчого майбутнього є важливим і необхідним [6,9,10].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нові відомості про зміни глобального клімату та клімату окремих регіонів містяться в матеріалах Всесвітньої конференції зі змін клімату (Москва, 29.09 – 3.10.2003 р.) , а також декількох інших працях [3, 5]. Змінам клімату в Україні присвячено не так багато робіт. Останні, найбільш вагомі результати містяться у монографії “Клімат України” [6]. У цій роботі розглянуто деякі теоретичні питання, зроблено спробу побудови сценаріїв клімату майбутнього. Ці сценарії враховують в основному температурний режим повітря. Що стосується опадів, то їх кліматологічна характеристика вивчена значно менше ніж температури, і в літературних джерелах присутні лише результати досліджень, які базуються на метеорологічній інформації до 1990 року і частіше на неоднорідному емпіричному матеріалі.

Постановка проблеми дослідження. Подальше поглиблене дослідження клімату України, як складової глобального клімату.

Мета роботи. Виявлення тенденції зміни режиму опадів на території України на рубежі XX і XXI ст. Аналіз вікової динаміки кількості опадів по десятиріччях.

Методика дослідження. В основу роботи покладено емпірико-статистичний метод дослідження. У цій роботі були використані дані з кількості опадів по 26 метеорологічних станціях за період 1900-2000 рр. і 48 станціях з 1946 р., які не мали пропусків у спостереженнях. Вивчення часової динаміки такої складної метеорологічної величини як опади, потребує додаткової уваги до формування інформаційної бази даних. У рядах опадів має місце суттєва неоднорідність, пов'язана зі зміною приладів вимірювання і внесенням інструментальних поправок, зміною строків спостережень і т.п. Положення також ускладнюється значною

просторовою неоднорідністю опадів, що робить значно менш надійними оцінки регіональних середніх значень. Попередньо було проведено відновлення однорідності у рядах місячних та річних сум опадів [11,12]. Неоднорідність усувалася шляхом введення відповідних поправок: перехідного коефіцієнту від показників дощоміру до показників опадоміру (з 1891 по 1952-54рр.) і поправки на змочування з 1881р. З 1966 року поправка на змочування вводиться безпосередньо на метеорологічних станціях.

Проведено осереднення кількості опадів по зонах України. Осереднення за площею дозволило частково виключити вплив мінливості клімату локального масштабу і спростити виявлення регіональних закономірностей зміни клімату. У цій роботі осереднення по зонах проводилося на основі агрокліматичного районування В.П. Попова [4]. Підставою для осереднення за площею є результати просторового кореляційного аналізу, проведеного для пар станцій, розташованих на території кожної зони. Коефіцієнт кореляції для станцій, розташованих у межах Західного, Центрального і Східного Полісся, Західного і Центрального Лісостепу, Північного та Південного Степу становить 0,7. Похибка опосередкування за площею для місячної, сезонної та річної кількості опадів складає 3-7%.

Для аналізу вікового ходу опадів і виявлення тенденції змін, характерних для ХХ ст., було використано метод побудови трендів за фактичними даними для річних значень та 5-річних ковзних для місяців та сезонів як для окремих станцій, так і для зон, що дозволило частково позбутися випадкових флуктуацій (шумів). Для розрахунку трендів використовувався поліном 2-го або 3-го ступеню. Оцінка статистичної значимості кліматичних трендів проводилася за допомогою дисперсійного аналізу. Тренд вважався значимим, якщо його дисперсія не перевищувала 20% від дисперсії ряду.

Виклад матеріалу досліджень. При статистичному аналізі багаторічних рядів спостережень за опадами (річні, місячні, і сезонні) поперше було оцінено різниці та співвідношення між двома вибірковими середніми столітнього ряду, який наближається до генеральної сукупності. Тобто порівнювалися дві кліматичні норми за періоди 1891-1964 рр. (\bar{x}_1) і 1961-1990 рр. (\bar{x}_2). Норма 1891-1964 рр. наводиться у Довіднику з клімату СРСР [11], норма за період 1961-1990рр. у Кадастрі клімату України і виданні [6]. Ці два нормативні документи існують одночасно. У практиці гідрометеорологічного обслуговування, як

правило, використовується кліматична норма, яка характеризує сучасний клімат (1961-1990 рр.). При оцінюванні стихійних опадів розглядається весь ряд спостережень за опадами. Щоб отримати відмінність між цими двома нормами, було розраховано співвідношення між ними, тобто $\frac{\overline{x_2}}{\overline{x_1}} \times 100$ по місяцях, сезонах і за рік (табл. 1).

Таблиця 1

Співвідношення кількості опадів (%) за періоди 1891-1964 ($\overline{x_1}$) і 1961-1990рр. ($\overline{x_2}$) за зонами України

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік	Зима	Весна	Літо	Осінь
Полісся	122	112	101	115	108	113	111	94	107	94	102	122	109	119	108	106	101
Західне Полісся	120	108	98	116	117	111	102	85	111	98	98	118	107	115	110	99	103
Цен.Сх.Полісся	125	117	104	114	99	115	120	103	103	89	106	126	110	122	106	113	99
Лісостеп	142	136	125	112	105	110	117	96	108	81	111	140	116	139	114	108	100
Зах.Лісостеп	122	120	112	112	117	118	112	91	105	78	102	136	110	126	114	107	95
Центр. Лісостеп	159	153	137	111	98	109	130	100	100	78	111	138	119	150	115	113	96
Східн. Лісостеп	146	134	126	111	101	102	110	96	119	87	120	147	117	142	113	103	109
Степ	134	132	122	118	106	93	116	106	126	83	119	145	117	137	115	105	109
Північний Степ	148	134	118	118	103	98	119	103	124	84	118	157	119	146	113	107	109
Південний Степ	120	131	125	117	109	88	112	110	128	82	119	133	115	128	117	103	110

Дані табл. 1 свідчать, що у більшості місяців кількість опадів за період 1961-1990 рр. перевищує середню за період 1891-1964 рр. у 8-10 місяцях року, а також за окремі сезони. Найбільша відмінність кількості опадів за два періоди мала місце взимку: у Лісостепу середня за сезон кількість опадів за період 1961-1990рр. відносно попереднього періоду (1891-1964 рр.) досягала 115-150%. По місяцях ці значення такі: у січні і лютому в центральному Лісостепу, у грудні в північному Степу співвідношення $\frac{\overline{x_2}}{\overline{x_1}}$ кількості опадів у зимові місяці досягало 108-159%.

Навесні кількість опадів за період 1961-1990 рр. на всій території була близькою до кількості опадів за період 1891-1964 рр. і варіювала від 106% у Поліссі до 117% у Степовій зоні. У березні в центральному Лісостепу значення ($\frac{\overline{x_2}}{\overline{x_1}}$) досягали 137%. Влітку значення кількості опадів за ці два

періоди також були близькими. Восени режим зволоження в основному залишився без змін, але слід зазначити, що у жовтні опади на всій території були меншими в період 1961-1990 рр. У цілому за рік

кліматична норма (1961-1990 рр.) склала 107-120% від попередньої норми (1891-1964 рр.).

Постає питання, чи можна вважати різницю між двома нормами ознакою зміни режиму опадів в Україні. На підставі існуючих в синоптичній метеорології правил, різниця у кількості опадів більше 20% вважається значною. Статистичну значущість різниці двох середніх (\bar{x}_1 і \bar{x}_2) вивчають на підставі “нульової” гіпотези за допомогою критерію Стюдента [1]. “Нульова” гіпотеза формулюється наступним чином: припускається, що обидві середні, які порівнюються, є вибірками з однієї генеральної сукупності і їх різниця повинна дорівнювати нулю. Фактично, як видно з табл.1, $\bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$. Нульову гіпотезу спростовують, а різницю $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$ вважають значущою, якщо розраховане значення t -критерію буде більшим табличного [1]. Якщо фактичне t дорівнює табличному, або менше від нього, то це значить, що різниця між \bar{x}_1, \bar{x}_2 не виходить за межі її випадкових коливань, тобто нульова гіпотеза не відкидається. Критерій Стюдента t представляє собою відношення різниці між середніми до похибки цієї різниці $-S_d$, і розраховується по формулі:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_d};$$

$$S_d = \sqrt{S^2 - \frac{n_1 + n_2}{n_1 \times n_2}},$$

де n – число випадків.

$$S^2 = \frac{\sum_1^{n_1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2 + \sum_1^{n_2} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2},$$

де $n_1 + n_2 - 2$ – число ступенів свободи, яке потрібно для визначення t -критерію за допомогою спеціальної таблиці. Задається той чи інший рівень істотності (0.1, 0.05, 0.01) [1].

Для всіх місяців і року розрахований t -критерій менший табличного, і це доводить, що різниця між середніми не виходить за межі коливань розглянутих нами двох вибірок. Але відомо, що використання t -критерію не дозволяє вважати доведеним відсутність різниці між середніми. Можна лише стверджувати, що обидві вибірки належать до однієї і тієї ж генеральної сукупності. Таким чином, різниця між середньою кількістю опадів за ці два періоди свідчить про нестационарність рядів опадів, яка частково пов’язана зі

змiнами та квазіперіодичними коливаннями клімату. Зупинимось на цьому питанні більш докладно.

Для характеристики столітньої динаміки опадів і виявлення тенденції їх змін (тренда) на території України у ХХ ст. було розглянуто багаторічний хід опадів по окремих станціях, що розташовані у різних регіонах і мають небагато пропусків у спостереженнях. Характерні особливості динаміки річної кількості опадів у м. Києві наведено на рис. 1.

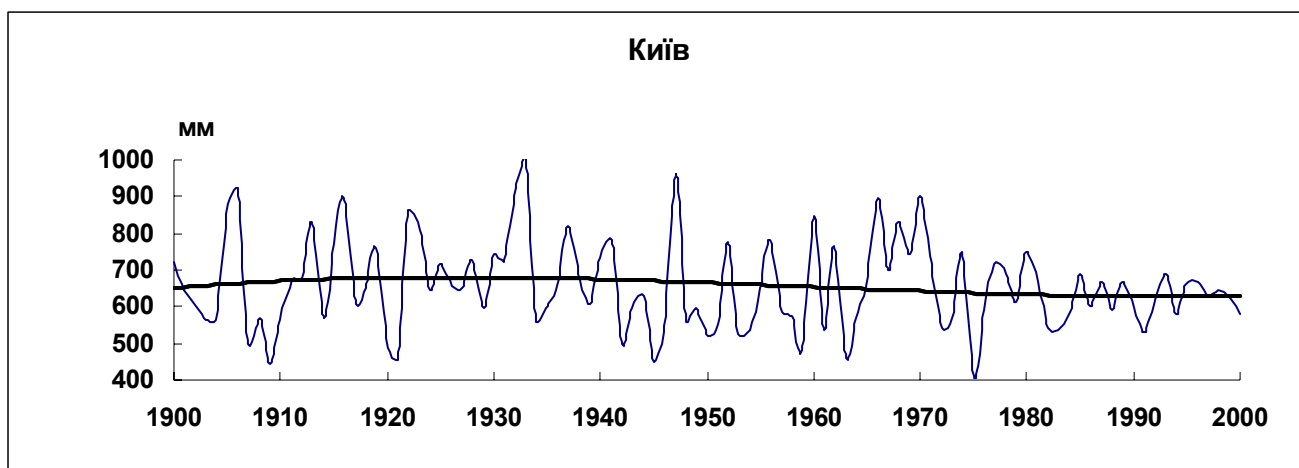


Рис. 1. Річна кількість опадів, мм

Аналіз розрахунків показав, що у південних і східних регіонах річна кількість опадів збільшилася (по тренду) на 10%, в інших регіонах залишилася у межах норми, або незначно зменшилася. За сезонами і в окремі місяці просторово-часовий розподіл опадів більш нерівномірний.

У період найбільш інтенсивного потепління клімату у ХХ ст. майже на всій території України, починаючи з 1975 р., відмічається зменшення амплітуди коливання опадів із року в рік. Тобто режим зволоження дещо стабілізувався і знаходиться у межах середнього багаторічного значення, лише наприкінці ХХ ст. кількість опадів дещо збільшилася. Зменшення амплітуди коливання опадів відмічається в усі сезони року, але найбільш помітне воно взимку і влітку. Незважаючи на це, в останні роки у межах місяця мінливість опадів залишилася значно, що не зменшило існуючу ймовірність випадання сильних дощів за окрему добу.

Додатково розглянуто річну кількість опадів за окремі десятиріччя ХХ ст. на території України і подано по окремих зонах на рис.2. Аналогічні дані одержано по сезонах і місяцях року.

Візуалізація даних по п'яти- і десятиріччях (рис. 2, табл. 2) свідчить про наявність у ХХ ст. в рядах річної кількості опадів і за окремі сезони

періодів підвищеного і зниженого режиму зволоження. Дослідження показали, що у другій половині ХХ ст. підвищений режим зволоження спостерігався у п'ятиріччя 1966-1970 рр. і 1976-1980 рр., коли річна кількість опадів складала більше 120% норми. Такий режим зволоження був зумовлений зимовими опадами. На всій території України взимку кількість опадів досягла 150-160% норми (1961-1990 рр.), чого не спостерігалось раніше за весь інструментальний ряд спостережень.

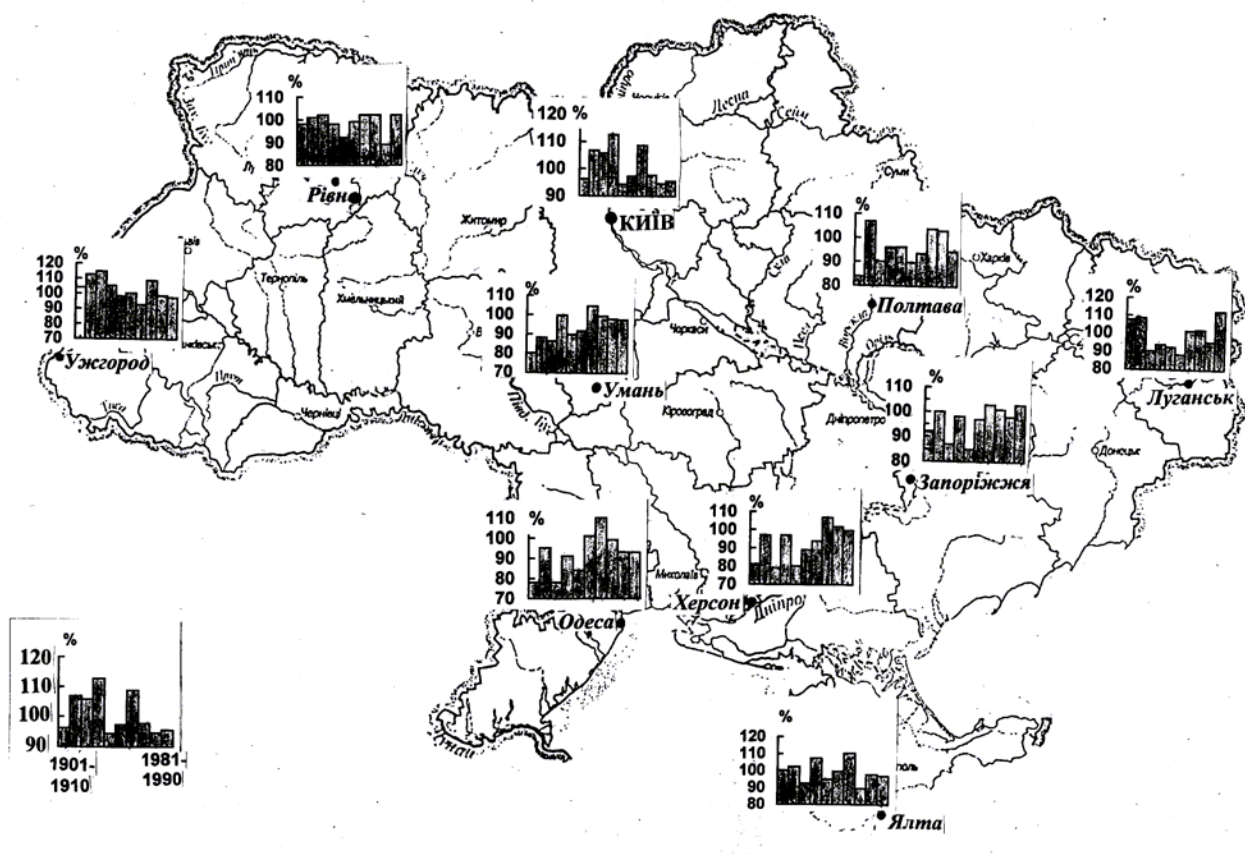


Рис. 2. Річна кількість опадів за окремі десятиріччя ХХ ст.

З 1960 по 1970 рік приріст середньої глобальної температури повітря і в цілому у Північній півкулі трохи зменшився і розпочався знову з 1975 р. Таким чином візуально і за допомогою трендів у рядах опадів не вдалося виявити фізично обумовленої і статистично значимої тенденції, пов'язаної зі змінами глобального клімату.

Діапазон коливань метеорологічних величин прийнято оцінювати за допомогою їх амплітуди. Для цього найчастіше використовується спосіб перетворення статистичного ряду, який містить періодичні компоненти, в ряд Фур'є [1]. Але це перетворення найбільш ефективно при розгляді рядів добових опадів. Проведення більш детальних досліджень

амплітудно-частотних характеристик процесу вікових коливань клімату потребує використання спектрально-часового аналізу.

При дослідженні вікового режиму опадів (XX ст.) задовільний результат одержано з використанням методу селективних перетворень [7].

Таблиця 2

Кількість опадів за окремі п'ятиріччя відносно кліматологічної стандартної норми (1961-1990 рр.)

Зони	1946-1950	1951-1955	1956-1960	1961-1965	1966-1970	1971-1975	1976-1980	1981-1985	1986-1990	1991-1995	1996-2000
					Зима						
Полісся	86	88	103	95	150	87	108	107	92	88	87
Лісостеп	71	80	88	90	144	71	98	99	80	71	79
Степ	74	92	97	112	159	67	106	103	87	76	92
					Весна						
Полісся	68	102	85	98	117	86	114	100	90	107	104
Лісостеп	66	98	80	96	100	90	115	91	91	106	97
Степ	75	95	94	116	96	105	124	92	88	109	105
					Літо						
Полісся	108	89	97	95	98	98	109	97	110	87	110
Лісостеп	108	85	87	92	91	100	106	102	97	89	100
Степ	106	103	97	86	102	97	125	117	99	93	107
					Осінь						
Полісся	102	106	121	80	107	114	103	104	98	108	116
Лісостеп	106	105	123	79	105	113	111	97	99	117	131
Степ	104	94	118	88	95	116	105	94	112	98	129
					Рік						
Полісся	94	96	101	92	114	96	109	101	100	96	107
Лісостеп	90	91	93	90	106	94	108	97	93	95	101
Степ	90	97	102	99	113	94	117	102	97	93	107

Коливання опадів у часі наступні: у зміні річних сум опадів є декілька основних періодів, причому їх тривалість на станціях, які розглядалися досить близька: 9-11, 13-14, 18-19, 21-22 і 27-28 років. Досліджувати в такий спосіб періодичність змін елементів з періодом більше 30 років не є можливим, тому що існує обмеженість використаного ряду спостережень (близько 80-100 років).

Майже співпадання тривалості періодів в зміні кількості опадів на станціях, що розташовані на значній відстані одна від одної, свідчить про спільні причини цих змін, якими можуть бути багаторічні цикли в змінах сонячної активності (11 років, 22 роки), вулканічної діяльності або коливань атмосферної циркуляції з періодом близько 28 років, які викликані іншими причинами.

Виявлення прихованих періодичностей іншими авторами, у тому числі за допомогою автокореляційного аналізу, розкладу в ряди Фур'є та селективно-часового аналізу дають близькі результати [8].

Не зважаючи на те, що періодичність в рядах опадів має в основному діагностичне значення, вона дає уявлення і про можливі коливання кількості опадів у найближчому майбутньому. Тобто квазіперіодичні коливання кількості опадів у часі є основною ознакою їх закономірності. Але це припущення надалі може не зберігатися.

За оцінками експертів ВМО у найближчому майбутньому передбачається подальше підвищення глобальної температури повітря, що може супроводжуватись зростанням інтенсивності опадів і збільшенням числа випадків з екстремальними опадами. Ці явища спостерігаються у багатьох регіонах Північної півкулі, у помірних і високих широтах. У той же час, у ряді регіонів можливе (а в деяких уже спостерігається) зростання повторюваності та інтенсивності посушливих явищ [13].

Висновки

1. Порівняння двох кліматичних норм за періоди 1891-1964 і 1961-1990 рр. по зонах України показало, що середня місячна кількість опадів за період 1961-1990 рр. в окремі місяці року збільшилася порівняно з періодом 1891-1964 рр. Причина цього полягає в тому, що в період 1961-1990 рр. відмічалось два п'ятиріччя (1966-1970, 1976-1980 рр.) з надмірно високим рівнем зволоження, яке не спостерігалось протягом усього ХХ ст. Це вплинуло на значення норми 1961-1990 рр.

2. Досвід роботи з довгими рядами опадів показує, що для різних практичних і наукових завдань найбільш об'єктивні результати можна отримати використовуючи середні багаторічні значення кількості опадів за весь період спостережень (1891-2000 рр.), який статистично більш достовірний і наближується до генеральної сукупності даних. Для характеристики сучасного клімату в практиці Українського гідрометцентру використовується кліматологічна норма, рекомендована ВМО, яка розрахована за даними спостережень з 1961 по 1990 рр. У Росії і Білорусі використовуються середні багаторічні дані за період 1961 по 2000 р. Використання середніх багаторічних характеристик опадів не за однакові періоди спостережень погіршує порівняння одержаних результатів.

3. Аналіз вікового ходу кількості опадів за сезони і рік свідчить, що основною закономірністю є не стільки зміна їх кількості, скільки їх коливання,

тобто наявність періодів підвищеного і зниженого режиму зволоження. Основними з них є 11, 22, 28, 30-річні періоди.

4. У період найбільш інтенсивного глобального потепління у ХХ ст. (1975-2000 рр.) майже на всій території України відмічається зменшення амплітуди коливань опадів. Режим зволоження знаходиться у межах середнього багаторічного значення ($\pm 10\%$). Лише в останнє п'ятиріччя кількість опадів збільшилися.

5. Одночасний розгляд зміни глобальної температури повітря і річної кількості опадів в Україні показує, що зв'язок між цими двома змінними не є лінійним, що ускладнює прогнозування тенденції режиму зволоження на майбутнє.

* *

Рассмотрена тенденция изменения режима увлажнения территории Украины в период глобального потепления климата. Проанализирован вековой ход осадков для станций Украины в целом за год и по сезонам. Проведено сравнение двух климатических норм за периоды 1891-1964 и 1961-1990 гг.

* *

1. Венецкий И.Г., Кильдишев Г.С. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Статистика, 1975. – 264 с.
2. Всемирная конференция по изменению климата // Тезисы докладов. – М. – 2003, 700 с.
3. Гребенюк Н.П., Корж Т.В., Яценко О.О. Нове про зміни глобального та регіонального клімату в Україні на початку ХХІ ст. // Водне господарство України. – № 5-6. – 2002. – 34 с.
4. Заставний Ф.Д. Географія України. – Львів: Світ, 1994. – 472 с.
5. Израэль Ю.А., Груза В.Г., Катцов В.М., Мелешко В.П. Изменения глобального климата. Роль антропогенных воздействий // Метеорология гидрология. – 2001. – № 5. – С.5-21.
6. Клімат України / За ред. В.М.Ліпінського, В.А.Дячука, В.М.Бабіченко. – Київ: Вид-во Раєвського, 2003.
7. Логвинов К.Т., Барабаш М.Б. Исследование периодических изменений температуры воздуха и осадков на Украине // Труды УкрНИГМИ. – 1987. – Вып. 224. – С.71-76.

8. *Логинов В.Ф., Кузнецов Г.П., Микуцкий В.С.* Математические методы в исследовании климата Беларуси. – Минск: Природопользование, 2002. – Вып.8. – С.75-87.
9. Тенденції змін клімату України на початок ХХІ століття. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2000 році. Міністерство екології та природних ресурсів, Видавництво Раєвського, 2001. – 92 с.
10. Проблеми і стратегія виконання Україною Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату / За ред. В.Я.Шевчука. – Рада Національної Безпеки і Оборони України. – К. – 2001.
11. Справочник по климату СССР. – Вып. 10. Ч. 4. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 210 с.
12. *Швер Ц.А.* Атмосферные осадки на территории СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 302 с.
13. Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC. Summary for Policymakers and Technical Summary. – WMO/UNEP, 2001.

*Український науково-дослідний
гідрометеорологічний інститут, Київ*