

## **Вегетационний період в Українських Карпатах в умовах сучасного клімату** **Скрыник О.А.**

*Используя данные о среднесуточной температуре воздуха за 1961-2010 гг., полученные в рамках международного климатического проекта CARPATCLIM, проведено исследование особенностей вегетационного периода в Украинских Карпатах. Выявлено изменение дат начала, окончания и продолжительности вегетационного периода в 1986-2010 гг. по сравнению с 1961-1985 гг. Установлена зависимость выявленных изменений от метода расчета дат устойчивых переходов температуры воздуха.*

**Ключевые слова:** вегетационный период, Украинские Карпаты, изменения климата

## **The growing season in Ukrainian Carpathian region under modern climate conditions** **Skrynyk O.A.**

*Using the daily air temperature data for the period 1961-2010 which were obtained in the frame of the CARPATCLIM project the features of growing season in Ukrainian Carpathian region were studied. A change of the beginning, the end and the length of the growing season in 1986-2010 comparing to 1961-1985 have been revealed. Dependence of the changes revealed on a calculating method for the beginning and the end of the growing season has been shown.*

**Key words:** growing season, Ukrainian Carpathians, climate change

**Надійшла до редколегії 30.04.2014**

УДК 551.582.2

## **Затула В.І.<sup>1</sup>, Затула Н.І.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка

<sup>2</sup>Національний авіаційний університет, м. Київ

## **ГАРМОНІЧНИЙ АНАЛІЗ СЕЗОННИХ КОЛИВАНЬ ДЕЯКИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ВЕЛИЧИН НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ**

**Ключові слова:** середні місячні значення; сезонні коливання метеорологічної величини; амплітуда і фаза періодичних коливань; кліматологічний стандартний період

**Вступ.** Раціональне використання кліматичних ресурсів країни вимагає якомога повнішої характеристики усього комплексу її кліматичних умов, серед яких важливе місце відводиться їх зміні протягом року. Річний хід усіх метеорологічних величин є надзвичайно важливою і достатньо затребуваною характеристикою клімату.

**Постановка і актуальність проблеми.** Сезонні коливання основних метеорологічних величин становлять предмет вивчення не одного покоління учених, однак пошук найбільш точних та інформативних їхніх показників ніколи не припинявся і усе ще далекий від свого остаточного вирішення. Це добре простежується і в достатньо тривалій історії застосування гармонічного аналізу в прикладних метеорологічних і кліматичних дослідженнях [3, 7, 9].

Особливості часового ходу температури повітря в Україні викладено у монографії [4], швидкості вітру, хмарності, дефіциту насичення, концентрацій забруднювальних речовин – в роботах [1, 2, 6, 8].

**Основною метою даної роботи** є виявлення і комплексний аналіз особливостей річного ходу різномісних метеорологічних величин в Україні засобами гармонічного аналізу.

**Матеріали і методи дослідження.** Дане дослідження ґрунтується на даних Кліматичного кадастру України [5] про середні місячні значення семи різних метеорологічних величин на п'яти метеорологічних станціях країни за стандартний кліматологічний період 1961-1990 рр. Використовувалися дані метеорологічних спостережень по чотирьох станціях, розташованих на півночі (Чернігів), півдні (Одеса), заході (Львів) і сході (Харків) рівнинної території України, а також на

станції Пожежевська, що розташована на північно-східному відрозі гірського масиву Черногора, найвищій частині Українських Карпат. Дослідження ґрунтується на застосуванні методу гармонічного аналізу середніх місячних значень таких метеорологічних величин: температури і окремих елементів вологості повітря, кількості атмосферних опадів, атмосферного тиску, швидкості вітру. Усі вихідні матеріали опрацьовувалися з допомогою пакету програм "Microsoft Excel".

### Основні результати дослідження.

Приховані періодичності сезонних коливань середніх місячних значень вказаних вище метеорологічних величин виявлялися та оцінювалися за допомогою гармонічного аналізу, що дозволяє будь-яке із дванадцяти табличних значень розглядуваної величини подати у вигляді середнього арифметичного та скінченної суми доданків (гармонік) [3 ]:

$$x_t = \bar{x} + \sum_{i=1}^{n/2} \left[ A_i \sin\left(\frac{2\pi}{P} it\right) + B_i \cos\left(\frac{2\pi}{P} it\right) \right], \quad (1)$$

де  $x_t$  – середнє багаторічне значення величини за  $t$ -й місяць ( $t=1, 2, \dots, 12$ );  $\bar{x}$  – середнє річне значення метеорологічної величини;  $P=12$  міс. – повний період річного коливання величини;  $i$  – порядковий номер гармоніки;  $n=12$  – довжина вихідного ряду.

Невідомі значення коефіцієнтів Фур'є  $A_i$  і  $B_i$ , які входять в (1), визначаються за формулами:

$$A_i = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n \left[ x_t \sin\left(\frac{2\pi}{P} it\right) \right], \quad (2)$$

$$B_i = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n \left[ x_t \cos\left(\frac{2\pi}{P} it\right) \right], \quad (3)$$

Для останньої ( $i = n/2$ ) гармоніки  $A_i = 0$ , а  $B_i$  додатково ділиться навпіл.

За значеннями коефіцієнтів Фур'є обчислюється амплітуда кожної окремої гармоніки:

$$C_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2}, \quad (4)$$

де  $C_i$  – амплітуда  $i$ -тої гармоніки.

Періодичні коливання метеорологічної величини, зумовлені окремою гармонікою, подаються як добуток

$$C_i \cos\left[\frac{2\pi}{P}(t - t_i)\right], \quad (5)$$

де

$$t_i = \frac{P}{2\pi i} \arctg(A_i/B_i) - \quad (6)$$

фаза, тобто час настання максимуму  $i$ -тої гармоніки.

В теорії гармонічного аналізу показано, що дисперсія за рахунок одиної гармоніки становить  $C_i^2/2$ , за винятком останньої, для якої вона дорівнює  $C_i^2$ . Отже, вклад окремої гармоніки в загальну дисперсію метеорологічної величини визначається за формулою

$$f_i = \frac{C_i^2}{2\sigma^2} \cdot 100, \quad (7)$$

де  $f_i$  – вклад  $i$ -тої гармоніки в загальну дисперсію розглядуваної величини, %;  $\sigma^2$  – загальна дисперсія ряду. Для останньої гармоніки оцінка вкладу збільшується вдвічі.

Саме цей показник використовувався для оцінки й порівняння особливостей сезонних коливань деяких метеорологічних величин (табл. 1).

**Таблиця 1. Середні оцінки вкладу окремих гармонік в загальну дисперсію річного ходу деяких метеорологічних величин на метеорологічних станціях України**

Метеорологічна величина	Гармоніка					
	1-а	2-а	3-я	4-а	5-а	6-а
Температура повітря	99,46	0,33	0,16	0,04	0,01	0,01
Кількість опадів	46,48	43,45	3,24	0,89	5,06	0,88
Дефіцит насичення	96,23	2,34	0,79	0,39	0,17	0,07
Відносна вологість повітря	76,62	5,74	8,30	6,58	2,30	0,46
Парціальний тиск водяної пари	98,21	1,64	0,09	0,05	0,00	0,00
Атмосферний тиск на рівні станції	76,96	7,98	9,45	0,86	3,88	0,88
Швидкість вітру	91,40	1,86	5,17	0,25	1,04	0,29
<b>В середньому</b>	<b>83,62</b>	<b>9,05</b>	<b>3,89</b>	<b>1,29</b>	<b>1,78</b>	<b>0,37</b>

З табл. 1 видно, що найістотнішими складовими при оцінці сезонних коливань є основні гармоніки таких величин, як температура повітря (99,5 %), дефіцит насичення (96,2 %) і парціальний тиск водяної пари (98,2 %). Усі наступні гармоніки цих характеристик не настільки значущі, тож їх вкладом цілком можна нехтувати. Те саме стосується і швидкості вітру на рівнинних станціях України, де перша гармоніка зумовлює від 92,7 % (Чернігів) до 97,1 % (Харків та Одеса) загальної дисперсії річного ходу. Водночас, на високогір'ї Українських Карпат (станція Пожежевська, 1451 м н.р.м.) цією гармонікою пояснюється тільки 76,5 % загальної дисперсії. Характерною особливістю цієї станції є великий вклад третьої гармоніки (18,4 %) з періодом коливань 4 міс.

Третя гармоніка спричиняє також досить значні збурення в річному ході атмосферного тиску (9,5 %) і відносної вологості повітря (8,3 %), причому вони найбільші на заході (14,2 %) і півночі (13,8 %) країни для атмосферного тиску й в Українських Карпатах (понад 29 %) – для відносної вологості повітря.

У випадку двомодального розподілу метеорологічної величини протягом року підвищеним вкладом в дисперсію характеризується друга гармоніка (з періодом 6 міс.) [2]. Наприклад, для атмосферних опадів її вклад (43,5 %) не поступається вкладу першої гармоніки (46,5 %), а в Харкові та Одесі взагалі виходить на перший план – 57 % і 73 %, відповідно. Істотний, хоча і не настільки виражений, її вплив на сезонні коливання атмосферного тиску (8,0 %) і відносну вологість повітря (5,7 %). Особливо значні піврічні коливання атмосферного тиску на станціях Лівобережжя України (Чернігів – 14,2 %, Харків – 11,2 %), а відносної вологості повітря – на станції Пожежевська (19,3 %).

Четверта гармоніка (з періодом 3 міс.) суттєво впливає тільки на відносну вологість повітря (6,6 %), а п'ята (з періодом 2,4 міс.) – на річний розподіл атмосферних опадів (5,1 %), причому у першому випадку – винятково за рахунок Українських Карпат (28,8 %), а у другому – за рахунок Одеси (20,2 %).

Вклад шостої гармоніки в загальну дисперсію розглядуваних метеорологічних величин на усіх станціях гідрометеорологічної мережі України тільки у виняткових випадках перевищує рівень 2-3 %, що свідчить про відсутність квазідвохмісячної періодичності умов їхнього виникнення.

Таким чином, існує деяке загальне правило, згідно з яким зі збільшенням порядку гармоніки її вклад зменшується. Зокрема, суттєвий вклад (5 % і більше) у загальну дисперсію річного ходу метеорологічної величини одразу декількох гармонік старшого порядку спостерігається при послабленні ролі першої гармоніки до рівня нижче 80 % (див. табл. 1).

Оскільки перша гармоніка визначає зазвичай більше 80 % загальної дисперсії розглядуваних часових рядів, то максимум і мінімум ходу метеорологічної величини протягом року можна легко встановити за значенням фази першої гармоніки. У цьому плані досить характерними є графіки річного ходу парціального тиску (рис. 1) і відносної вологості повітря (рис. 2).

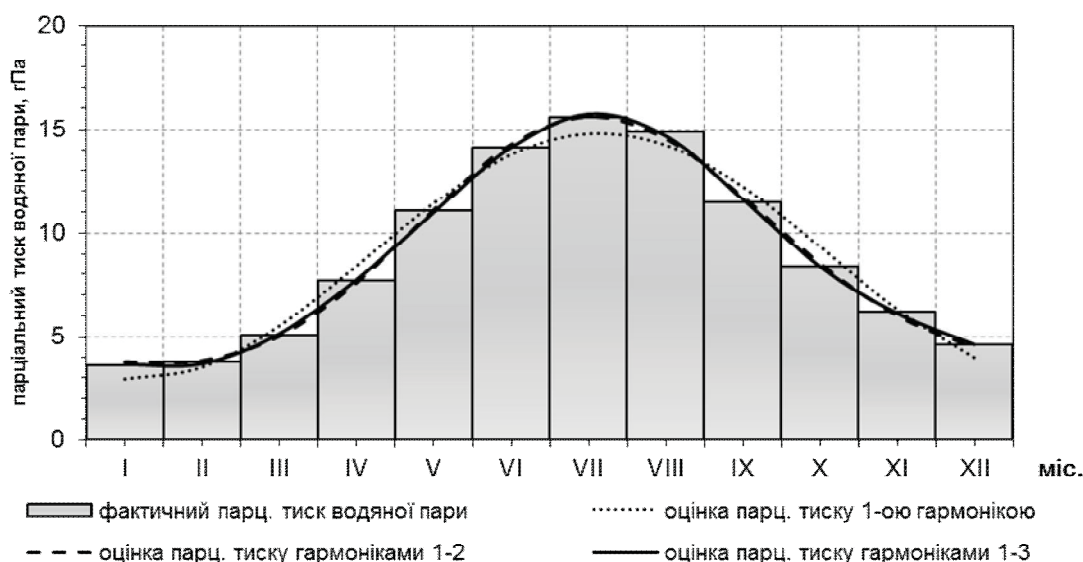


Рис. 1. Річний хід парціального тиску водяної пари в Чернігові

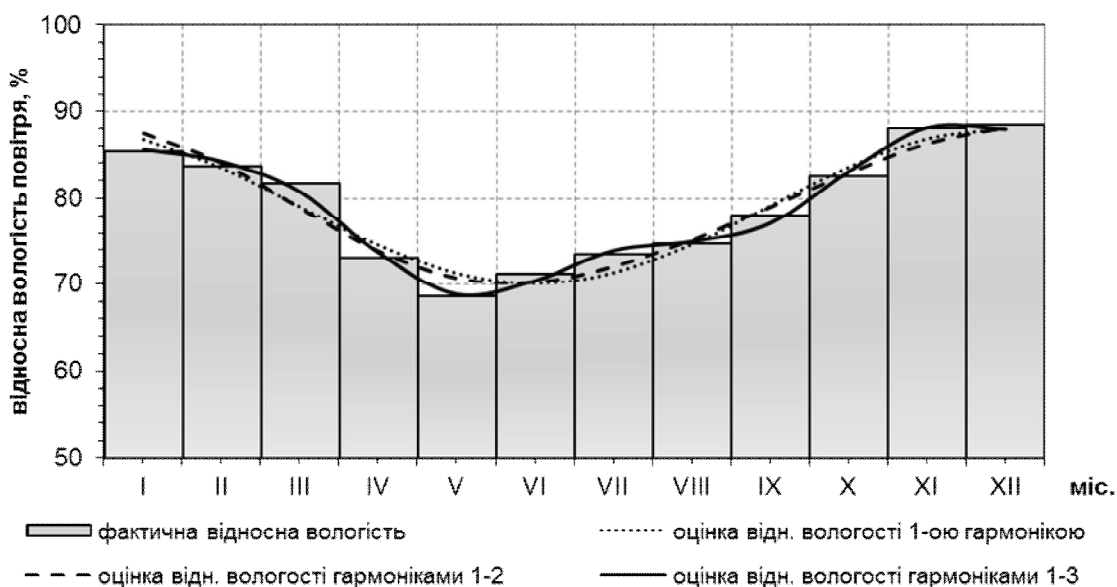


Рис. 2. Річний хід відносної вологості повітря в Чернігові

Так, в Чернігові максимальне значення парціального тиску водяної пари спостерігається у другій половині липня ( $t_1 = 7,15$ ), а максимальне значення відносної вологості повітря – в середині грудня ( $t_1 = 11,98$ ). В річному циклі обидві величини визначаються процесами вологообігу і з деяким запізненням слідують за

сезонними змінами сонячної радіації як визначального фактору формування клімату.

Зауважимо, що з метою наочності застосування гармонічного аналізу на цих самих графіках зображено декілька моделей річного ходу розглядуваних метеорологічних величин, що враховують тільки першу, перші дві і перші три гармоніки. Добре видно, що врахування старших гармонік підвищує точність статистичних оцінок середніх місячних значень обох величин, але у випадку відносної вологості повітря це помітніше, оскільки тільки після врахування третьої гармоніки модель правильно відображає настання мінімуму відносної вологості в середині травня.

Амплітуда першої гармоніки зазвичай краще інших корелює з амплітудою річного ходу відповідної метеорологічної величини. Так, наприклад, амплітуда  $C_1$  температури повітря в Українських Карпатах (9,2 С) поступається її значенню на рівнинних станціях, де вона коливається від 11,0°C у Львові до 13,8 С у Харкові, однак амплітуда річної гармоніки кількості опадів в Українських Карпатах (38,3 мм) значно більша, ніж у Львові (24,8 мм) і, тим більше, в Одесі (0,6 мм). Амплітуда річної гармоніки швидкості вітру на ст. Пожежевська (0,4 м/с) вдвічі, дефіциту насичення (1,3 гПа) – в 4 рази, а відносної вологості повітря (0,7 %) – навіть у 18 разів менші, ніж у Харкові (0,8 м/с, 5,1 гПа, 12,8 %, відповідно), де клімат вирізняється більшою континентальністю. І, навпаки, амплітуда  $C_1$  парціального тиску водяної пари з підняттям у гори (3,8 гПа) менша, ніж на найближчій рівнинній станції Львові (5,4 гПа). Непрямою ознакою більшої мінливості погоди в горах може бути більша амплітуда  $C_1$  атмосферного тиску: 4,2 гПа на Пожежевській і 1,7 гПа у Львові. Водночас, на хребті Чорногора вклад річної гармоніки (92,5 %) у сезонний хід атмосферного тиску також більший, ніж на решті станцій (65÷83 %), у чому також виявляються своєрідні особливості гірського клімату.

**Висновки.** З представлених вище матеріалів дослідження видно, що на основі даних стандартних таблиць кліматичних довідників можна дістати важливі результати щодо ступеня схожості або відмінності сезонних коливань метеорологічного режиму різних метеорологічних величин на значній за просторовим охопленням території у всій глибині їхнього взаємозв'язку. Математичний апарат гармонічного аналізу рядів дискретних спостережень забезпечує точність виявлення і порівняння кількісних оцінок прихованих періодичностей річного ходу метеорологічних величин. Водночас, фізичні причини, що зумовлюють наявність або відсутність тих чи інших періодичностей в сезонних коливаннях цих величин не завжди очевидні і потребують окремого дослідження, що виходить за рамки даної роботи.

#### Список літератури

1. Затула В. І. Деякі особливості просторово-часового розподілу середньої швидкості вітру на території України / В. І. Затула, Т. М. Горбач // Фіз. географія та геоморфологія. – 2012. – Вип. 1(65). – С. 149-156. 2. Затула В. І. Застосування методів кореляційного і гармонічного аналізу для виявлення часової структури місячних рядів хмарності / В. І. Затула, Н. І. Затула / 14-та міжнародна наукова конф. ім. акад. М. Кравчука (Київ, 19-21 квітня, 2012 р.) – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – Т. 3. Теорія ймовірностей та математична статистика. – С. 55-56. 3. Исаев А. А. Статистика в метеорологии и климатологии / А. А. Исаев. – М. : Изд-во МГУ, 1988. – 248 с. 4. Клімат України / За ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. – К. : Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с. 5. Кліматичний кадастр України (електрон. версія) / Держ. гідрометеоролог. служба; УкрНДГМІ; ЦГО. – К., 2006. 6. Куликов В. В. Использование статистических методов при моделировании динамики загрязнения атмосферы / В. В. Куликов, В. И. Затула // Сб. трудов Междунар. конф. по интервальному і стохастическим методам в науке и технике (Интервал – 92) (Москва, 22–26 сент. 1992 г.). – М., 1992. – Ч. I. – С. 84-86. 7. Пановский

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2014. – Т.2(33)



Г. А. Статистические методы в метеорологии / Г. А. Пановский, Г. В. Брайер. – Л. : Гидрометеиздат, 1967. – 242 с. 8. Сидоренко А. В. Особливості просторово-часової структури полів дефіциту насичення та їх зв'язок з Північноатлантичним коливанням в умовах сучасного клімату України / А. В. Сидоренко, В. І. Затула // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2011. – Вип. 260. – С. 95-109. 9. Хргиан А.Х. Очерки развития метеорологии / А. Х. Хргиан. – Л. : Гидрометеорологическое изд-во, 1959. – 428 с.

**Гармонічний аналіз сезонних коливань деяких метеорологічних величин на території України**

**Затула В.І., Затула Н.І.**

*Розглянуто результати застосування гармонічного аналізу для виявлення прихованих періодичностей сезонних коливань температури і вологості повітря, кількості атмосферних опадів, атмосферного тиску, швидкості вітру на п'яти метеорологічних станціях України.*

**Ключові слова:** середні місячні значення; сезонні коливання метеорологічної величини; амплітуда і фаза періодичних коливань; кліматологічний стандартний період.

**Гармонический анализ сезонных колебаний некоторых метеорологических величин на территории Украины**

**Затула В.И., Затула Н.И.**

*Рассмотрены результаты применения гармонического анализа для выявления скрытых периодичностей сезонных колебаний температуры и влажности воздуха, количества атмосферных осадков, атмосферного давления, скорости ветра на пяти метеорологических станциях Украины.*

**Ключевые слова:** средние месячные значения; сезонные колебания метеорологической величины; амплитуда и фаза периодических колебаний; климатологический стандартный период.

**Harmonic analysis of seasonal oscillations of some meteorological values on Ukrainian territory**

**Zatula V.I., Zatula N.I.**

*The results of applying of the harmonic analysis for identifying the hidden periodicities of seasonal oscillations of air temperature and humidity, amount of precipitation, atmospheric pressure and wind velocity are considered on five weather stations of Ukraine.*

**Keywords:** mean monthly values; seasonal oscillations of meteorological value; amplitude and phase of periodic oscillations; climatological standard period.

**Надійшла до редколегії 12.05.2014**