

УДК 551.582.2

Затула В.І.¹, Затула Н.І.²

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка

² Національний авіаційний університет, м. Київ

ВИЯВЛЕННЯ ПРИХОВАНИХ ПЕРІОДИЧНОСТЕЙ СЕЗОННИХ КОЛИВАНЬ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ВЕЛИЧИН НА ТЕРИТОРІЇ ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ

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

Вступ. Рідко яке кліматологічне дослідження обходить увагою зміну метеорологічної величини протягом року. Відомості про такі зміни необхідні для повнішого врахування кліматичних умов в різні сезони року і є важливою складовою кліматичної характеристики будь-якого регіону.

Постановка і актуальність проблеми. Сезонні коливання метеорологічних величин є звичним предметом вивчення в метеорології і кліматології, та незважаючи на це, традиційні підходи до вирішення цього питання не завжди задовольняють потреби практики. Тому в пошуках найбільш точних та інформативних показників таких коливань дослідники вдаються до застосування спеціальних методів досліджень і методу гармонічного аналізу зокрема [4, 9, 11].

Кількісні характеристики сезонного ходу температури повітря в Україні наведено у монографії [5], швидкості вітру, хмарності, дефіциту насичення, концентрацій забруднювальних речовин – в роботах [1, 2, 7, 10]. Порівняльну характеристику сезонних коливань різних метеорологічних величин для обмеженої кількості метеорологічних станцій України представлено в [3]. Тоді в річному ході цих величин було виявлено значні відмінності, зумовлені неоднорідністю будови підстильної поверхні в різних регіонах України. Водночас, не в'ясненим залишилося питання, наскільки схожим є метеорологічний режим цих величин на просторово обмеженій території, що характеризується більшою однорідністю природних умов і кліматоутворювальних процесів.

У даній статті розглядається кліматичний режим Житомирського Полісся, поверхня якого представлена хвилястою рівниною із загальним похилом території у північно-східному напрямку. Це найбільш висока у гіпсометричному відношенні (180-200 м) та найменш заболочена (2,9 %) й залісна область Поліського краю Східно-Європейської фізико-географічної країни. Розораність території змінюється від 15-30 % на півночі і заході до 50 % на сході і в центральній частині природної області [8]. Завдяки компактності території та схожості будови підстильної поверхні, радіаційні і циркуляційні умови формування клімату у межах цієї таксономічної одиниці вирізняються значною однорідністю.

Основною метою даної роботи є встановлення закономірностей річного ходу окремих метеорологічних величин на території Житомирського Полісся засобами гармонічного аналізу.

Матеріали і методи дослідження. Інформаційну базу дослідження становлять відомості Кліматичного кадастру України [6] про середні місячні

значення (кліматичні норми) семи метеорологічних величин на метеорологічних станціях Житомирського Полісся за кліматологічний стандартний період 1961-1990 рр. В основу дослідження покладено дані спостережень п'яти діючих метеорологічних станцій, достатньо рівномірно розподілених по території розглядуваного регіону. Основні результати отримано в результаті застосування методу гармонічного аналізу до середніх місячних значень таких метеорологічних величин: температури і окремих характеристик вологості повітря, кількості атмосферних опадів, атмосферного тиску, швидкості вітру. Дані матеріали опрацьовувалися з допомогою пакету програм "Microsoft Excel".

Основні результати дослідження.

Приховані періодичності сезонних коливань середніх місячних значень вищезгаданих величин виявлялися та оцінювалися за допомогою гармонічного аналізу, який виходить з того, що будь-яке значення розглядуваної величини можна представити у вигляді середнього арифметичного та скінченної суми гармонік [4]:

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

де x_t – середнє багаторічне значення величини за t -й місяць ($t = 1, 2, \dots, 12$); \bar{x} – середнє річне значення метеорологічної величини; $T = 12$ 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:

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

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

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

На підставі обчислених коефіцієнтів Фур'є визначається амплітуда гармонік:

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

де C_i – амплітуда i -тої гармоніки.

Періодичні коливання метеорологічної величини, зумовлені окремою гармонікою, часто подаються у вигляді

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

де

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

фаза, тобто час настання максимуму i -тої гармоніки (міс.).

В теорії гармонічного аналізу показано, що дисперсія за рахунок одиначної гармоніки становить $C_i^2/2$, за винятком останньої, для якої вона удвічі більша. Отже, вклад окремої гармоніки в сумарну 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 сумарну дисперсію розглядуваної величини (%); σ^2 – загальна дисперсія ряду. Для останньої гармоніки оцінка f_i подвоюється.

Показник f_i доцільно використовувати при зіставленні прихованих періодичностей різних метеорологічних величин (табл. 1).

Таблиця 1. Середні оцінки вкладу окремих гармонік в сумарну дисперсію річного ходу деяких метеорологічних величин на метеорологічних станціях Житомирського Полісся

Метеорологічна величина	Гармоніка					
	1-а	2-а	3-я	4-а	5-а	6-а
Температура повітря	99,20	0,59	0,15	0,04	0,01	0,01
Кількість опадів	67,40	25,98	4,40	0,71	1,33	0,18
Дефіцит насичення	96,69	1,65	1,24	0,38	0,05	0,00
Відносна вологість повітря	92,82	2,66	3,69	0,78	0,04	0,01
Парціальний тиск водяної пари	98,30	1,59	0,05	0,04	0,01	0,01
Атмосферний тиск на рівні станції	61,48	13,60	15,95	0,82	6,77	1,37
Швидкість вітру	91,63	3,05	2,73	0,38	1,51	0,70
В середньому	86,79	7,02	4,03	0,45	1,39	0,33

З табл. 1 видно, що провідну роль в сезонних коливаннях розглядуваних величин відіграють основні гармоніки ($f_1 > 50\%$). Особливо великим є їхній вклад в коливання температури повітря (99,2%), парціального тиску водяної пари (98,3%) і дефіциту насичення (96,7%). Сумарний вклад старших гармонік на усіх метеорологічних станціях Житомирського Полісся не перевищує 1% для температури повітря і становить тільки 2-3% для парціального тиску водяної пари та 3-4% для дефіциту насичення. Тож ними цілком можна нехтувати.

Дуже високим є вклад річної гармоніки і в сезонні коливання відносної вологості повітря (91-94%) та швидкості вітру (87-96%). У поодиноких випадках на тлі річної гармоніки в сезонних коливаннях відповідних величин (відносної вологості повітря в Олевську та швидкості вітру в Олевську і Новограді-Волинському) проглядаються слабкі піврічні коливання ($f_2 \approx 5\%$).

Таким чином, у 23 випадках із 33 річна гармоніка визначає понад 90% сумарної дисперсії перерахованих вище величин.

Як відомо, річний хід деяких метеорологічних величин характеризується двома максимумами і двома мінімумами значень. Такому ходу відповідає добре виражена піврічна гармоніка. Піврічна гармоніка особливо добре виявляється в сезонних коливаннях атмосферного тиску (13,6%) та кількості атмосферних опадів (26,0%). При цьому показник f_2 характеризується великою просторовою мінливістю для атмосферних опадів (від 16,8% у Житомирі до 32,8% в Олевську) та винятково рівним розподілом (13-14%) для атмосферного тиску. Імовірно, що настільки значні відмінності в розподілі цього показника зумовлені дією чинників різного масштабу.

Ще більші збурення в річному ході атмосферного тиску (16,0%) спричиняє третя гармоніка (з періодом 4 міс.), причому серед трьох станцій Житомирського Полісся вони найбільші для Коростеня (18,6%) і найменші – для Овруча (13,9%). Загалом, показник f_3 перевищує умовний п'ятивідсотковий поріг ще у випадку кількості опадів (тільки дві станції: Овруч і Коростень).

Зазвичай невеликою є інтенсивність гармонік ще старших порядків. Виняток становить тільки п'ята гармоніка (з періодом 2,4 міс.) коливань атмосферного тиску на рівні моря (показник f_5 для цієї величини змінюється від 6,4 % до 7,5 %).

Аналіз табл. 1 підтверджує висновок про те, що зі збільшенням порядку гармоніки зумовлена нею дисперсія зменшується [3]. Суттєвий вклад (5 % і більше) у сумарну дисперсію річного ходу метеорологічної величини одразу декількох гармонік старшого порядку можливий тільки при значному послабленні ролі першої гармоніки.

Табл. 2 ілюструє ті самі закономірності, але уже в розрізі окремих метеорологічних станцій за сукупністю шести метеорологічних величин (за винятком атмосферного тиску на рівні станції, про який на частині станцій відомості відсутні).

Таблиця 2. Середні оцінки вкладу окремих гармонік в сумарну дисперсію річного ходу сукупності метеорологічних величин на метеорологічних станціях Житомирського Полісся

Метеорологічна станція	Гармоніка					
	1-а	2-а	3-я	4-а	5-а	6-а
Овруч	87,30	6,59	3,83	0,36	1,45	0,47
Олевськ	88,85	7,84	1,97	0,53	0,69	0,12
Коростень	87,17	6,19	4,74	0,37	1,34	0,19
Новоград-Волинський	89,64	7,33	1,63	0,54	0,61	0,26
Житомир	88,91	5,42	3,94	0,36	1,11	0,26
В середньому	88,37	6,67	3,22	0,43	1,04	0,26

Як видно з табл. 2, розподіл величин f_i на окремих метеостанціях Житомирського Полісся схожий.

Оскільки перша гармоніка на всіх станціях визначає понад 60 % сумарної дисперсії кожної із величин, то максимум і мінімум ходу метеорологічної величини протягом року можна встановити за значенням фази першої гармоніки. У цьому сенсі показовими є графіки річного ходу парціального тиску (рис. 1) і відносної вологості повітря (рис. 2).

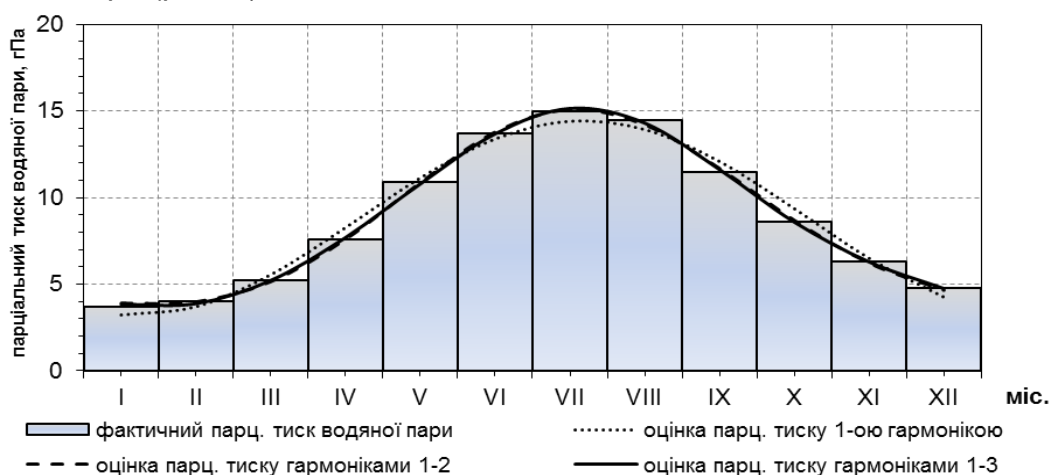


Рис. 1. Річний хід парціального тиску водяної пари в Житомирі

Так, в Житомирі максимальне значення парціального тиску водяної пари спостерігається у другій половині липня ($t_1 = 7,19$ міс.), а максимальне значення відносної вологості повітря – в середині грудня ($t_1 = 12,02$ міс.). На інших станціях

Житомирського Полісся максимум парціального тиску водяної пари практично збігається у часі з його значенням у Житомирі ($t_1 = 7,18 \div 7,22$ міс.). Розбіжності у часі настання максимуму відносної вологості повітря більші ($t_1 = 11,37 \div 11,85$ міс.).

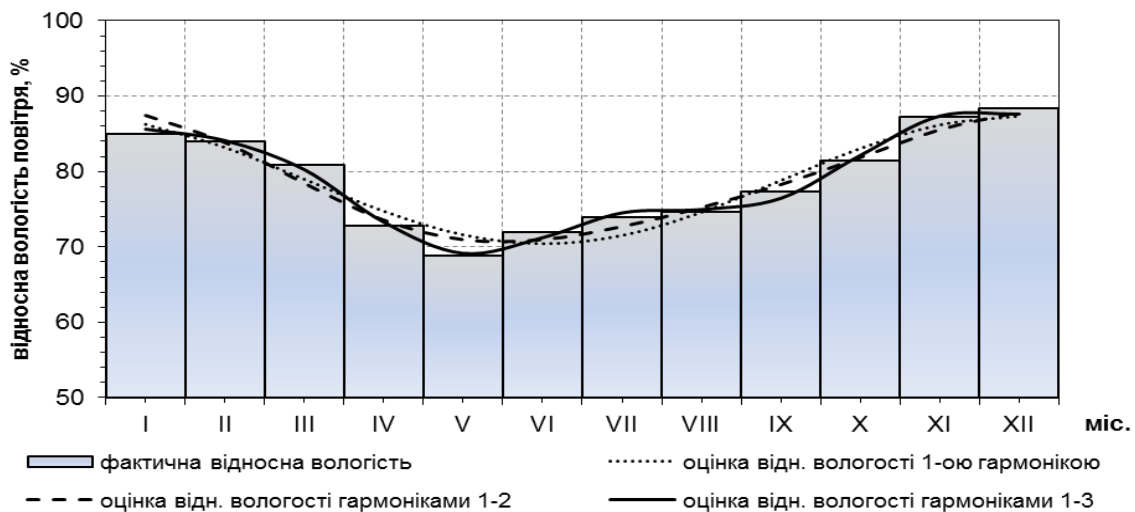


Рис. 2. Річний хід відносної вологості повітря в Житомирі

Окрім фактичного сезонного ходу елементів вологості на відповідних графіках показано і їхні модельні оцінки, отримані з урахуванням першої, перших двох і перших трьох гармонік. Амплітуда першої гармоніки краще інших корелює з амплітудою річного ходу відповідної величини. Урахування старших гармонік підвищує точність модельних оцінок. Для відносної вологості це помітніше, оскільки тільки після врахування третьої гармоніки модель правильно відображає настання мінімуму в середині травня.

В цілому час настання максимуму першої гармоніки для метеорологічних величин, пов'язаних між собою прямими залежностями, збігається, а для величин, які пов'язані оберненими зв'язками, відрізняється на півроку. Так, практично синхронно змінюються температура повітря ($t_1 = 7,03$ міс.) і пов'язані з нею парціальний тиск водяної пари (7,20 міс.), дефіцит насичення (6,59 міс.) і кількість атмосферних опадів (7,00 міс.). Сама температура з незначним запізненням слідує за сезонними змінами сонячної радіації (геоцентричного схилення Сонця) як визначального фактору формування клімату.

Майже у протифазі змінюються температура повітря (7,03 міс.) і атмосферний тиск (11,68 міс.), температура (7,03 міс.) і відносна вологість повітря (11,76 міс.), атмосферний тиск (11,68 міс.) і кількість атмосферних опадів (7,00 міс.). Утім, хід атмосферного тиску і швидкості вітру ($t_1 = 11,68$ і 1,09 міс. відповідно) не виявляє очікуваної залежності. Неузгодженість коливань цих величин можна пояснити особливостями сезонної перебудови баричного поля в усьому Атлантико-Європейському секторі Північної півкулі.

Висновки. Таким чином, на основі даних кліматичних довідників можна оцінити ступінь схожості або відмінності сезонних коливань різних метеорологічних величин на певній території у всій глибині їхнього взаємозв'язку. Апарат гармонічного аналізу забезпечує математично точне зіставлення кількісних оцінок прихованих періодичностей річного ходу метеорологічних величин. Актуальним напрямком розвитку дослідження є оцінка сезонних коливань клімату в сучасний період.

Список літератури

1. *Затула В.І.* Деякі особливості просторово-часового розподілу середньої швидкості вітру на території України / Затула В.І., Горбач Т.М. // Фізична 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 / Затула В.І., Затула Н.І. // Чотирнадцята міжнародна наукова конференція імені академіка М. Кравчука, 19-21 квітня, 2012 р., Київ: Матеріали конф. Т. 3. Теорія ймовірностей та математична статистика. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – С. 55-56.
3. *Затула В.І.* Гармонічний аналіз сезонних коливань деяких метеорологічних величин на території України / Затула В.І., Затула Н.І. // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2014. – Т. 2 (33). – С. 98-103.
4. *Исаев А.А.* Статистика в метеорологии и климатологии. – М.: Изд-во МГУ. – 1988. – 248 с.
5. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К.: Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с.
6. Кліматичний кадастр України (електрон. версія) / Держ. гідрометеоролог. служба; УкрНДГМІ; ЦГО. – К. – 2006.
7. *Куликов В.В.* Использование статистических методов при моделировании динамики загрязнения атмосферы / Куликов В.В., Затула В.І. // Сб. трудов Междунар. конф. по интервальным и стохастическим методам в науке и технике (Интервал – 92). Москва, 22–26 сентября 1992 г. – М., 1992. – Ч. I. – С. 84-86.
8. *Маринич О.М.* Фізична географія України / Маринич О.М., Шищенко П.Г. – К.: Т-во «Знання», КОО, 2003. – 479 с.
9. *Пановский Г.А.* Статистические методы в метеорологии / Пановский Г.А., Брайер Г.В. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1967. – 242 с.
10. *Сидоренко А.В.* Особливості просторово-часової структури полів дефіциту насичення та їх зв'язок з Північноатлантичним коливанням в умовах сучасного клімату України / Сидоренко А.В., Затула В.І. // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2011. – Вип. 260. – С. 95-109.
11. *Хргиан А.Х.* Очерки развития метеорологии. Т. I. / Хргиан А.Х. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1959. – 428 с.

Виявлення прихованих періодичностей сезонних коливань метеорологічних величин на території Житомирського Полісся

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 метеорологічних станціях Житомирського Полісся.

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

Выявление скрытых периодичностей сезонных колебаний метеорологических величин на территории Житомирского Полесья

Затула В.І., Затула Н.І.

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

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

Identifying of the hidden periodicities of seasonal oscillations of meteorological values on the territory of Zhytomyr Polissya

Zatula V.I., Zatula N.I.

The results of applying of the harmonic analysis for identifying of the hidden periodicities of seasonal oscillations of some meteorological values are considered on weather stations of Zhytomyr Polissya, which is characterized by flat topography and significant uniformity atmospheric processes. The mean monthly values are considered in the work, such as air temperature, amount of precipitation, water vapour partial pressure, saturation deficit, relative humidity, barometric pressure at the station level and wind speed.

It is shown that the leading role in the seasonal fluctuations of all components of climate plays the first harmonic with a period of oscillation of 12 months. The annual harmonic of the seasonal fluctuations of air temperature and all humidity characteristics and wind speed is mostly significant. The contribution of

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

the annual harmonic in the seasonal fluctuations of these values at individual stations usually exceeds 90 %.

Noticeable semi-annual harmonics are detected in the seasonal variation of atmospheric pressure (13.6 %) and amount of precipitation (26.0 %). In a spatial sense, their contribution is very varied for precipitation (from 16.8% in Zhytomyr to 32.8 % in Olevsk) and remained almost unchanged (13-14 %) for atmospheric pressure. Perhaps, this is due to the influence of factors of different scales.

The third harmonic (with a period of 4 months) causes significant perturbation only in the annual variations of atmospheric pressure (16.0 %).

Usually the intensity of the higher orders harmonics is small. The exception is only the fifth harmonic (with a period of 2.4 months) of fluctuations of atmospheric pressure at sea level (the contribution of this harmonic is greater than 6 % at all weather stations).

Also the synchronicity of the timing of the maxima of the annual harmonic for individual pairs of meteorological values is analyzed.

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

Надійшла до редколегії 28.12.2016

УДК 551.582.2

Ошурок Д.О.

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, м.Київ

КЛІМАТОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ОБМЕЖЕНИХ ТЕРИТОРІЙ

Ключові слова: вітроенергетичний потенціал, швидкість вітру, кліматологічна оцінка, моделювання, вітрова установка

Вступ. Розвиток альтернативної енергетики є однією з найбільш пріоритетних задач, що поставлена світовою спільнотою з метою вирішення в першу чергу екологічних проблем, пов'язаних зі спалюванням викопного палива. Одним з найбільш потужних та перспективних альтернативних джерел енергії є вітер, який являє собою направлений рух повітряних мас. У глобальному масштабі вітер виникає через нерівномірне нагрівання земної поверхні, і як наслідок – нерівномірний розподіл атмосферного тиску, та дії сил інерції, спричинених обертанням Землі [2, 23, 31]. За приблизними оцінками, потужність вітрової енергії в масштабах планети оцінюється в 370 ТВт [13]. Це дає підстави стверджувати, що виробництво електроенергії вітровими агрегатами в багато разів може перевищувати кількість енергії, яка на сьогоднішній день споживається у світі [13, 23].

З давніх-давен енергію вітру використовували у господарських цілях (перемелювання зерна, перекачування води тощо). В останні кілька десятиліть активного розвитку набула вітрова енергетика, як окрема галузь сучасної енергетики [2, 7, 20, 23, 28]. Відомо, що характеристики вітру у нижній частині атмосфери визначаються не лише структурою баричного поля атмосфери (основний чинник), але й значною мірою залежать від рельєфу, типу підстильної поверхні (рослинного покриву, забудов, наявності великих водойм тощо) та характеристик граничного шару [17, 22]. З огляду на це, важливим етапом в утилізації теоретично можливого потенціалу вітрової енергії є детальна (з високою роздільною здатністю) оцінка просторово-часового розподілу кліматичних характеристик вітру [20]. Однак проведення такої оцінки потребує вирішення ряду труднощів, пов'язаних з дискретністю емпіричної інформації про вітер та інші важливі характеристики граничного шару атмосфери, які визначаються на

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)