

# ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИРОДНИХ ТА СУСПІЛЬНИХ ЯВИЩ

УДК 551.557.32

Дворецька І. В., Савенець М. В.

Український гідрометеорологічний інститут

## СЕЗОННІ ОСОБЛИВОСТІ ВИСОТНОГО РОЗПОДІЛУ ВІТРУ НАД ТЕРИТОРІСЮ УКРАЇНИ

Стаття присвячена аналізу сезонних коливань напрямку та швидкості вітру у тропосфері та нижній стратосфері над територією України. Визначено кількісні показники сезонного розподілу: середніх значень, амплітуд сезонних коливань та фаз (дат настання максимумів). Оновлено вертикальні профілі вітру в тропосфері — нижній стратосфері та часові закономірності розподілу переважаючих вітрів.

**Ключові слова:** сезонний хід, вітер, коливання, гармоніки, вертикальні профілі.

**Вступ.** Вітер — один з наймінливіших метеорологічних параметрів, інформація про який потребує постійного оновлення, оскільки середні багаторічні показники напрямку та швидкості вітру на висотах є ключовими для вирішення багатьох прикладних задач [1, 3-6, 12-18]. Проте, останні узагальнення щодо розподілу характеристик вітру в тропосфері — нижній стратосфері для території України були виконані близько 30 років тому [2,10,11]. В останніх роботах [7,8] розподіл вітру на висотах досліджувався опосередковано. Враховуючи відсутність оновленої інформації щодо розподілу вітру на висотах починаючи від рівня 1000 гПа

( $\approx 100$  м), дослідження є надзвичайно актуальним для розуміння особливостей вітрового режиму в тропосфері — нижній стратосфері, що значним чином визначає приземний вітровий режим та є індикатором сучасних кліматичних змін. Оновлена кліматична інформація є важливою і для виконання ряду прикладних задач: моделюванні розповсюдження викидів від потужних висотних точкових джерел [12,14,16], функціонуванні авіаційного транспорту (зокрема, при уточненні ешелонів польоту) [3,12], при проведенні досліджень різноманітних метеорологічних процесів регіонального масштабу [1,4], вирішенні задач вітроенергетики для оцінки максимальної потенційної енергій вітру [15], використання вітру як предиктора в дослідженнях загального вмісту газових складових атмосфери [5,6,13] тощо.

Метою даної роботи є визначення характерних особливостей розподілу вітру на висотах для території України.

**Вихідні дані та методика.** Вихідною інформацією для проведення досліджень стали результати аерологічного зондування України та суміжних з нею територій, представлені в електронних базах даних університету Вайомінг [19]. Всього відібрано 13 аерологічних станцій [17]: Київ, Одеса, Харків, Чернівці, Ужгород, Сімферополь, Гомель (Білорусь), Легіоново (Польща), Бухарест (Румунія), Курськ, Воронеж, Ростов-на-Дону та Туапсе (усі Росія). Відібрано 13 стандартних ізобаричних рівнів з 1000 гПа до 30 гПа. Період спостережень склав з 1979 по 2010 рр. Початок вибірки з 1979 р. обумовлений необхідністю використання даних радіозондування в майбутніх дослідженнях в комплексі з супутниковою інформацією, що почала надходити з кін. 1978 — поч. 1979 рр.

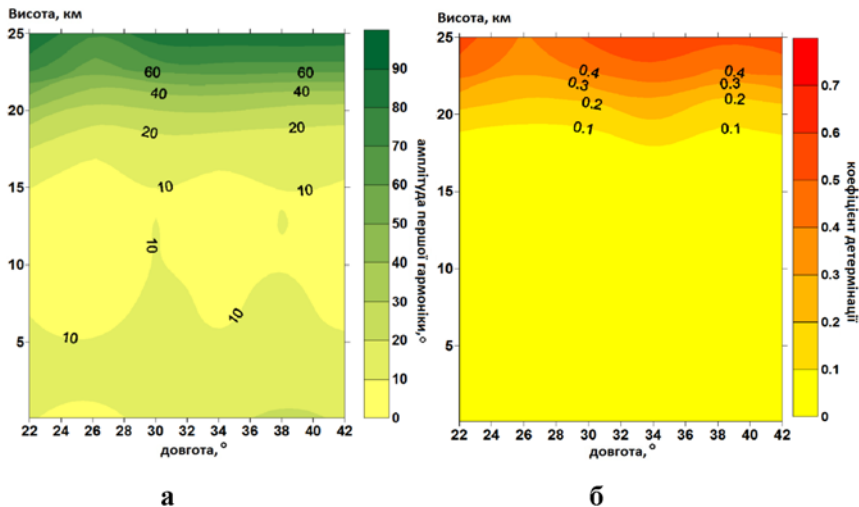
Розрахунок сезонних моделей характеристик вітру та їх кліматичних норм виконувався за допомогою гармонічного аналізу [18], що дозволяє представити вихідний часовий ряд у вигляді гармонічних коливань. В результаті проведення аналізу можна отримати осереднені значення ряду (середні багаторічні), амплітуди отриманих коливань та фази (періоди настання максимумів). Так як, значення напрямку вітру представлені у полярних координатах, для правильності розрахунку середніх багаторічних значень було виконано перевірку із залученням зональної та меридіональної складових вітру, представлених у прямокутних координатах. Оскільки основні результати розрахунків були представлені

в книгах Microsoft Excel, вся обробка вихідних масивів була виконана за допомогою мови програмування VBA. Побудова поверхонь виконувалася в середовищі Surfer з використанням створених файлів формату Surfer ASCII Grid.

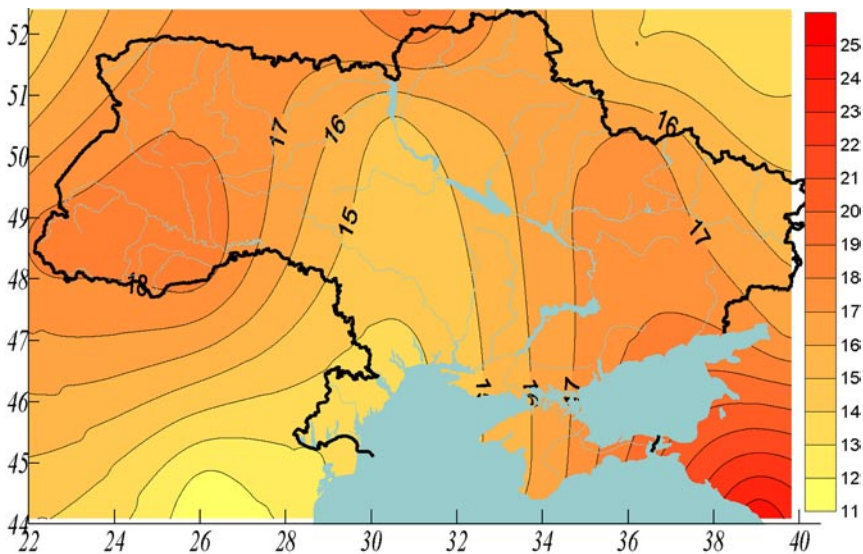
**Результати.** Осереднені показники напрямку та швидкості вітру варіюються в тропосфері — нижній стратосфері в залежності від сезону та висоти. Так напрямок вітру змінюється від південно-східного до західного напрямків. Проте, певні відмінності дають можливість виокремити три окремі вертикальні шари. Найбільш неоднорідний розподіл напрямку вітру та відмінність від розподілу на інших висотах характерні для ізобаричного рівня 1000 гПа. Середні багаторічні показники напрямку вітру тут лежать в межах від 140° до 275°. На цьому рівні динаміка вітру суттєво відрізняється через вплив підстильної поверхні. Наступний шар охоплює висоти до тропопаузи включно, проте в граничному шарі та на рівнях до 500 гПа напрямок вітру менш однорідний і в окремі сезони чітко простежується широтні відмінності. В нижній стратосфері напрямок вітру розподілений найбільш однорідно по досліджуваній території та чергується зі зміною теплого та холодного сезонів.

Формування висотного вітру над територією України відбувається під впливом регіональних особливостей на фоні загальної циркуляції атмосфери, про що свідчить значущість першої, другої та більш високочастотних гармонік сезонного ходу. Найвагомішою гармонікою на всіх станціях та висотах є перша, амплітуди якої досягають 90° у нижній стратосфері (рис. 1а). Найменших змін напрямку вітру протягом року зазнає на рівні тропопаузи.

Вплив підстильної поверхні на просторовий розподіл амплітуд напрямку вітру простежується до висот 3 — 5 км (рис. 2). Чітко виділяються західні регіони в районі Карпат та південно-східні регіони України. У середній тропосфері — нижній стратосфері просторовий розподіл амплітуд першої гармоніки набуває більш широтного напрямку. У зв'язку з визначальним впливом підстильної поверхні на напрямок вітру в граничному шарі, найбільші відмінності фаз гармонік спостерігається у нижньому 3-х кілометровому шарі атмосфери. Різниця між фазами на ізобаричному рівні 1000 гПа досягає 150 днів. Починаючи з ізобаричного рівня 500 гПа, зникає просторова розбіжність у



**Рис 1. Просторовий розподіл амплітуди першої гармоніки (а) та коефіцієнту детермінації сезонного ходу (б) напрямку вітру (значення осереднені по довготі)**

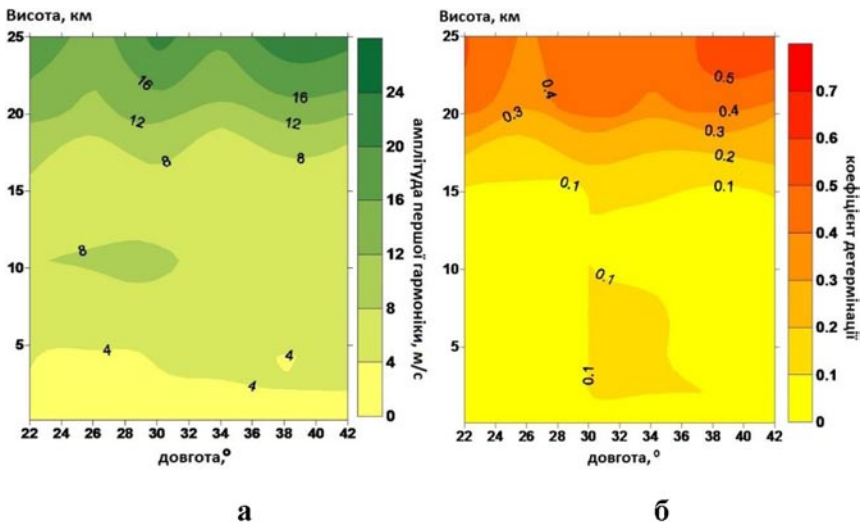


**Рис. 2 Просторовий розподіл амплітуди першої гармоніки (°) напрямку вітру на ізобаричному рівні 850 гПа**

показниках фаз першої гармоніки напрямку вітру. Коефіцієнт детермінації сезонного ходу (рис. 1б) стає вагомим на рівнях вище 70 гПа ( $\approx 18$  км), де спостерігається чергування напрямку вітру із східного на західний при чергуванні теплого та холодного сезонів.

Як і для напрямку вітру, амплітуда першої гармоніки швидкості вітру зростає зі збільшенням висоти (рис. 3а). Між ізобаричними рівнями 850 гПа та 700 гПа ( $\approx 1.5$  — 3 км) амплітуди залишаються сталими в межах 3 — 4 м/с і, починаючи з рівня 700 гПа, відбувається постійне зростання амплітуд до ізобаричних рівнів 300 — 250 гПа ( $\approx 9$  — 10 км), досягаючи 7 — 8 м/с. Верхня тропосфера та рівень тропопаузи характеризуються встановленням амплітуд швидкості вітру, що не перевищують 8 м/с. Фази першої гармоніки на більшості висот, окрім граничного шару та тропопаузи, вказують на настання максимумів в кінці грудня — початку січня. В цілому для швидкості вітру перша гармоніка є визначальною та, щонайменше, втричі перевищує значення усіх інших значущих гармонік.

На ізобаричному рівні 1000 гПа вісь Восейкова, де повинна спостерігатися зміна західної компоненти вітру на південно-



**Рис 3. Просторовий розподіл амплітуди першої гармоніки (а) та коефіцієнту детермінації сезонного ходу (б) швидкості вітру (значення осереднені по довготі)**

східну, є розмитою. В попередніх дослідженнях [10,11], навіть базуючись на приземних даних, говорилося про чітке виділення осі Воейкова. Проте, через вплив орографії на характеристики вітру в граничному шарі атмосфери чіткої лінії зміни вітрів спостерігатися не повинно, що й добре прослідковується на ізобаричному рівні 1000 гПа. Простежуватися вісь Воейкова починає тільки з ізобаричного рівня 850 гПа (приблизно 1.5 км).

Швидкість вітру збільшується у напрямку з північного заходу на південний схід. Загалом по досліджуваній території середні багаторічні показники вітру коливаються в межах від 2 — 3 м/с (Ужгород) до 6 — 8 м/с (Ростов-на-Дону). В цілому для теплого періоду року швидкості вітру по всій території України менші ніж для холодного.

За переважаючим напрямком вітру протягом року можна виділити три окремі регіони (рис. 4):

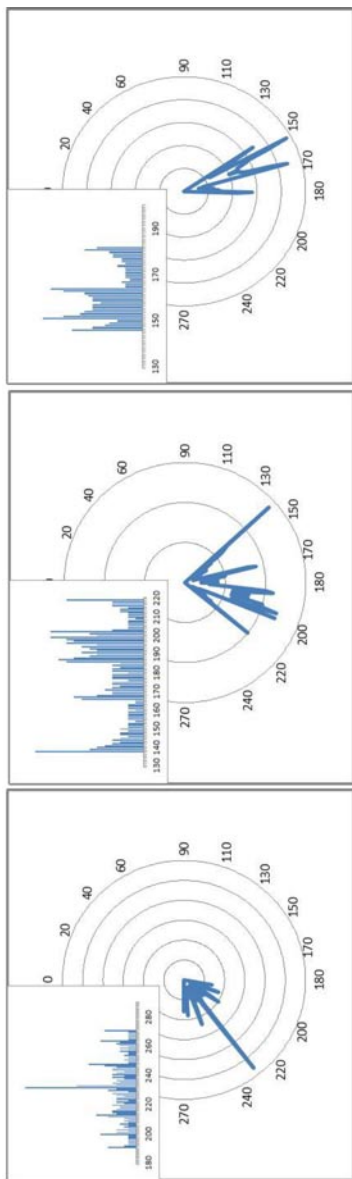
### *1. Регіон з переважаючою південно-західними вітрами.*

Даний регіон охоплює західну та північну частину досліджуваної території і обмежується на сході приблизно 31° сх. д., а на півдні 47° пн. ш. Переважаючий південно-східний напрямок вітру характерний для станцій Чернівці, Ужгород, Київ та польської станції Легіоново. Певні відмінності в даному регіоні є між північною та південною частинами. Чим північніше знаходиться територія, тим чіткіше виділяється конкретний переважаючий напрямок вітру. Всезонному ході розмах значень напрямку вітру для Ужгорода (40°) менший, ніж для Легіоново (53°) та Києва (60°). Найбільшою ж строкатістю характеризується станція Чернівці, де в сезонному ході розмах сягає 80°.

*2. Регіон, де поряд з південно-західними вітрами, значну повторюваність складають південні та південно-східні вітри.*

Даний регіон охоплює східні, північно-східні та частково південні території. Основною особливістю є наявність декількох максимумів повторюваності напрямку вітру. До даного регіону відносяться станції Одеса та Харків, білоруська станція Гомель, а також російські Воронеж та Туапсе. Характерним є збільшення строкатості напрямку вітру від північних та південних територій до центральних. Таким чином, якщо в Туапсе та Воронежі в сезонному ході розмах складає 66° та 50° відповідно, то в Харкові ця величина сягає значення 81°.

### *3. Регіон з переважаючими південно-східними вітрами*



## Бухарест

## Харків

## Чернівці

Рис. 4. Станції з характерною для виділених регіонів повторюваністю кліматичних норм напрямку вітру на ізобаричному рівні 1000 гПа

Південно-східна компонента напрямку вітру протягом року є переважаючою на двох станціях: Бухарест та Ростов-на-Дону. В Бухаресті напрямок вітру більш мінливий і основна частина повторюваності лежить в широких межах від 140° до 160°. В Ростові-на-Дону існує значна перевага повторюваності середніх багаторічних показників в межах 165° — 170°.

На ізобаричних рівнях 850 — 700 гПа (1.5 — 3 км) в холодний період року над усією Україною та прилеглими територіями встановлюється західне перенесення повітряних мас, причиною якого є міжширотні контрасти температур. Західне перенесення може порушуватись на півдні, де спостерігаються південно-західні вітри. В основному показники варіюються в межах 230 — 260°. Для квітні

— травні найхарактернішим є переважання південно-західних потоків над усією територією України, що триває до початку червня. В цей період вертикальні профілі характеризуються найбільшим зміщенням напрямку вітру

з висотою (рис. 5) у порівнянні з ізобаричним рівнем 1000 гПа. В червні — серпні спостерігається різке збільшення неоднорідності напрямку вітру по території. Західна частина перебуває під переважаючими західними та південно-західними потоками, тоді як східні і південно-східні території характеризуються переважаючою південною складовою напрямку вітру. Такий розподіл є характерним в період з червня по вересень. Незважаючи на неоднорідність в горизонтальному напрямку, вертикальні профілі в цей час в тропосфері характеризуються зміщенням напрямку вітру з висотою (рис. 5). У вересні — листопаді кліматичні норми напрямку вітру мало змінюються в просторі і в основному лежать в межах 200 — 230°. Середні швидкості вітру варіюються від 5 — 8 м/с у теплий сезон до 8 — 12 м/с в холодний сезон (рис. 6). В холодний сезон року швидкість вітру збільшується в напрямку на північний-схід, досягаючи максимальних значень в Чернігівській, Сумській, Харківській, Донецькій та Луганській областях. В березні — травні напрямок зміни швидкостей вітру залишається такий самий, проте значно зменшується різниця між північно-східними та південно-західними областями. В теплий сезон зміна вітрів набуває широтного напрямку, який встановлюється до другої половини листопада.

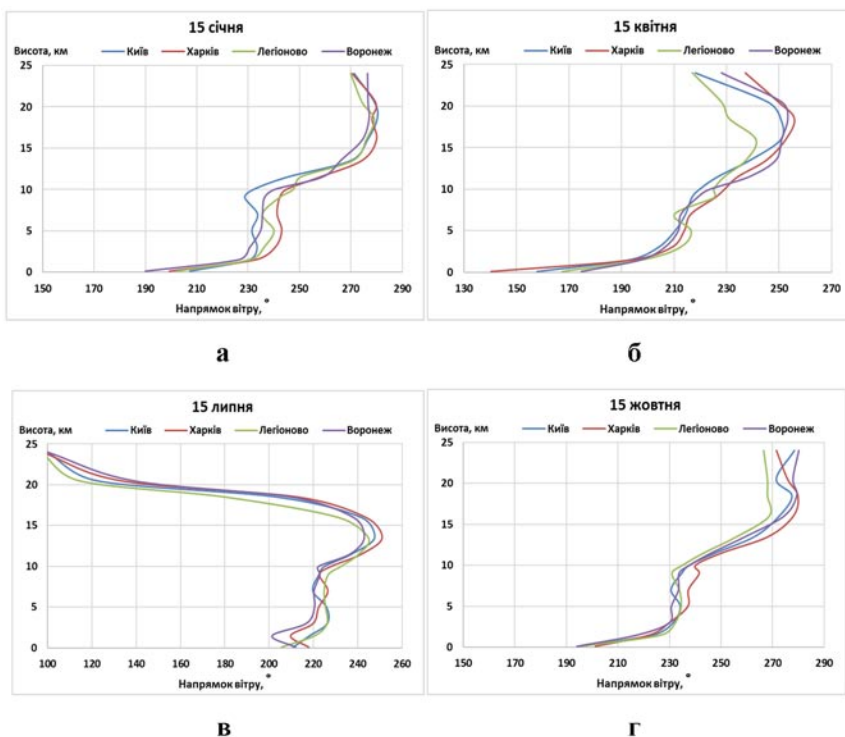
Просторовий розподіл напрямку вітру на ізобаричних рівнях 500 — 150 гПа (5 — 14 км) не має суттєвих відмінностей. Значну частину року по всій території України переважаючим є західне перенесення. В період з серпня по лютий осереднені показники характеризуються західною складовою (6 місяців в році). З лютого по першу половину квітня та з червня по липень вся територія опиняється під переважаючим південно-західним напрямком вітру (4.5 місяці в році). Лише протягом другої половини квітня — травні спостерігаються різкі зміни напрямку вітру на південний та південно-східний (1.5 місяці в році). Швидкість вітру збільшується з висотою та досягає максимальних значень на ізобаричному рівні 250 гПа, де вона змінюється в межах від 15 — 18 м/с в липні до 23 — 28 м/с в січні (рис. 6).

Нижня стратосфера на рівнях 100 — 30 гПа (16 — 24 км) характеризується чітким чергуванням напрямку вітру, що залежить від теплого та холодного періоду року. В холодний період року над усією територією України панує західне перенесення з невеликими відхиленнями як в північному, так і південному напрямках. Західні



вітри є переважаючими в період з жовтня по лютий. В теплий період року переважаючими напрямками є східний та південно-східний. Даний розподіл напрямку вітру спостерігається з травня по серпень. Всі інші ж місяці характеризується перебудовою напрямку вітру зі східного на західний (із теплого в холодний сезони) і навпаки. Швидкості вітру максимальні в січні — лютому та пов'язані із західним перенесенням. У зв'язку із паралельним розташуванням ізотерм та ізобар та зменшенням показників у напрямку на північ, вітер набуває сильної термічної складової, збільшуючи швидкість до 30 м/с (рис. 6). Це єдиний сезон року, коли швидкості на висотах 20 — 25 км перевищують швидкості вітру в районі тропопаузи.

Оновлені дані висотного розподілу вітру та проведений аналіз короткотермінової динаміки дає можливість в майбутньому перейти до розрахунку довготермінової мінливості. Отримані бази



**Рис. 5. Типові зимові (а), весняні (б), літні (в) та осінні (г) вертикальні профілі кліматичних норм напрямку вітру**

даних сезонних коливань можуть бути використані при вирішенні прикладних задач, згаданих у представленій роботі.

**Висновки.** Сезонні варіації показників напрямку та швидкості вітру формуються під впливом як глобальних, так і регіональних факторів, про що свідчить наявність не менше 3-х значущих гармонік. Найкраще сезонність простежується у нижній стратосфері на ізобаричних рівнях 50 — 30 гПа. У зв'язку із впливом підстильної поверхні на ізобаричному рівні 1000 гПа порушується характерний розподіл вітру та чіткість виділення осі Воейкова. Уточнено розподіл вітру в середній та верхній тропосфері, де виділено три періоди з різним переважаючим напрямком вітру.

Рецензент — кандидат фізико-математичних наук  
О. Я. Скриник

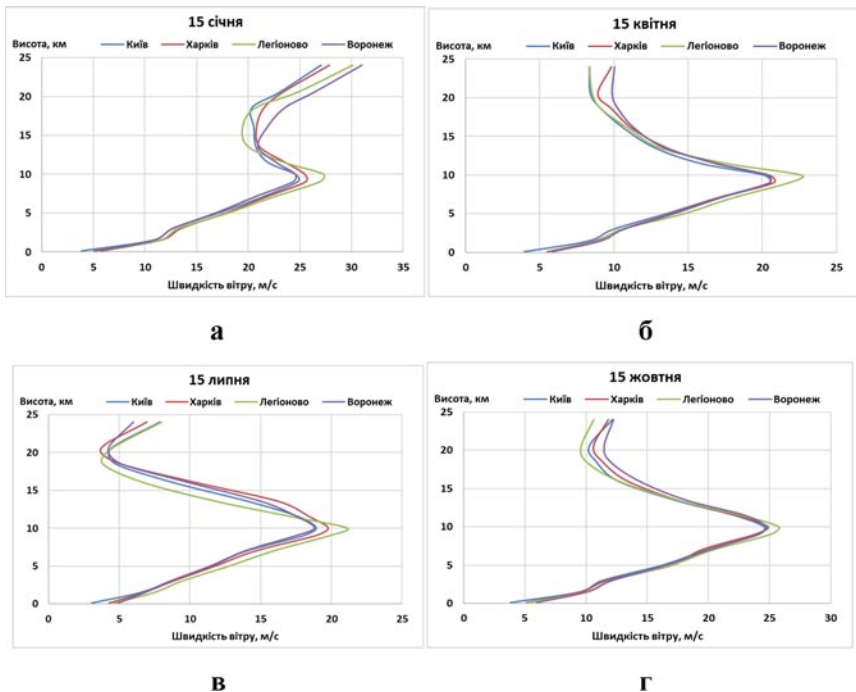


Рис. 6. Типові зимові (а), весняні (б), літні (в) та осінні (г) вертикальні профілі кліматичних норм швидкості вітру

## Література:

1. Аргучинцев В. К. Динамика атмосферы [Текст] / В. К. Аргучинцев. — Иркутск : Иркутский гос. ун-т, 2006. — 130 с.
2. Атлас климатических характеристик температуры, плотности и давления воздуха, ветра и геопотенциала в тропосфере и нижней стратосфере северного полушария [Карты] / под ред. Д. И. Стехневского, Б. С. Чучкалова — М. : Гидрометеоиздат, 1974.
3. Богаткин О. Г. Авиационная метеорология [Текст] / О. Г. Богаткин — СПб. : Изд. РГГМУ, 2005. — 328 с.
4. Голицын Г. С. Природные процессы и явления: волны, планета, конвекция, климат, статистика / Г. С. Голицын. — М. : Физматлит, 2004. — 344 с.
5. Дворецька І. В. Прогноз загального вмісту озону над територією України [Текст] / І. В. Дворецька, А. В. Сидоренко // Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. — 2012 — Вип. 261. — С. 106-116
6. Дворецкая И. В. Региональные модели прогноза общего содержания озона [Текст] / И. В. Дворецкая, М. В. Савенец // Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата: материалы Междунар. науч. конф. (Минск, 5 — 8 мая 2015 г.). — С. 105 — 107.
7. Івус Г. П. Осінні низькі струмені над Північно-Західним Причорномор'ям [Текст] / Г. П. Івус, А. П. Семергей-Чумаченко // Український гідрометеорологічний журнал. — 2013. — № 12. — С. 131 — 141.
8. Івус Г. П. Роль гідродинамічної нестійкості атмосфери в процесах відсіченого циклогенезу влітку над Україною / Г. П. Івус, І. Г. Семенова, І. А. Ковальков // Вісник Одеського державного екологічного університету. — 2013. — № 16. — С. 60 — 66.
9. Климат свободной атмосферы и пограничного слоя над территорией СССР [Текст] : [сборник статей] / И. В. Ханевская и др.; под ред. И. Г. Гутермана. — Москва : Гидрометеоиздат. Московское отд-ние, 1979. — 148 с.
10. Климат Украины [Текст] / [под ред. Г. Ф. Прихотько, А. В. Ткаченко, В. М. Бабиченко]. — Л. : Гидрометеорологическое издательство, 1967. — 414 с.
11. Клімат України [Текст] / [за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко]. — К. : Видавництво Раєвського, 2003. — 344 с.

12. Шталь В. А. Прикладная климатология / В. А. Шталь, Н. Ф. Белов, Г. В. Циценко. — Л. : ЛГМИ, 1981. — 166 с.
13. Analysing spatio-temporal patterns of the global NO<sub>2</sub>-distribution retrieved from GOME satellite observations using a generalized additive model [Text] / [M. Hayn, S. Beirle, F. Hamprecht та ін.] // Atmos. Chem. Phys. — 2009. — №9. — P. 6459—6477.
14. Awasthi S. General plume dispersion model (GPDM) for point source emission [Text] / S. Awasthi, M. Khare, P. Gargava. // Environmental Modeling and Assessment. — 2006. — №11. — P. 267—276.
15. de Renzo D. J. Wind power: recent developments. Front Cover [Text] / D. J. de Renzo, A. William. — Noyes Data Corp, 1979. — 347 p.
16. Example Application of Modeling Toxic Air Pollutants in Urban Areas [Electronic resource]. — 2002. — Mode of access : <https://www3.epa.gov/scram001/guidance/guide/uatexample.pdf>.
17. Savenets M. V. Vertical distribution and seasonal variability of wind over Ukraine and adjacent territories : proceedings of The 13<sup>th</sup> International Conference of Young Scientists on Energy Issues (Kaunas, Lithuania, May 26 — 27, 2016) [Text] / Savenets M. V., Dvoretzka I. V., Kruchenitsky G.M. — P. 64 — 70.
18. von Storch H. Statistical Analysis in Climate Research [Text] / H. von Storch, F. W. Zwiers. — Cambridge University Press, 1999. — 495 p.
19. Wyoming University [Electronic resource] — Mode of access : <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.

И. В. Дворецкая, М. В. Савенец

### **СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫСОТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕТРА НАД ТЕРРИТОРИЕЙ УКРАИНЫ**

Статья посвящена анализу сезонных колебаний направления и скорости ветра в тропосфере и нижней стратосфере над территорией Украины. Определены количественные показатели сезонного распределения: средние значения, амплитуды сезонных колебаний и фазы (даты наступления максимумов). Обновлено вертикальные профили ветра в тропосфере — нижней стратосфере и временные закономерности распределения преобладающих ветров.

**Ключевые слова:** сезонный ход, ветер, колебания, гармоника, вертикальные профили.

I. Dvoretzka, M. Savenets

## SEASONAL FEATURES OF ALTITUDINAL WIND DISTRIBUTION ABOVE THE TERRITORY OF UKRAINE

The paper is dedicated to seasonal variations of wind direction and wind speed in troposphere and lower stratosphere over the territory of Ukraine. There were defined quantitative values of seasonal distribution: mean, amplitudes of seasonal variations and phases (dates of maximal values) based on aerological soundings data from 13 stations over Ukraine and adjacent territories. There were clarified wind vertical profiles in troposphere — lower stratosphere and temporal features of prevailing wind distribution. It is possible to detect three different vertical layers of wind direction distribution: the closest to surface layer, other troposphere and lower stratosphere. First harmonics is the most significant for all layers, but harmonics with higher frequency also significant. Amplitudes show surface impact up to 3 — 5 km. Phases there differ up to 150 days and depends on the territory. For wind speed first harmonics is also the most significant. Amplitudes increases with the height. Maximal wind speed observed in December — January throughout all troposphere and lower stratosphere except boundary level and tropopause. The Voieikov axis does not observed on 1000 hPa level, but could be distinguish on 850 hPa level. On 1000 hPa level there are three regions which could be detect by prevailing winds. There were clarified periods of prevailing wind in middle and upper troposphere. From August till February average wind direction values is characterized by west component prevailing (6 month per year). From February till first part of April south-west direction prevail over all territory (4.5 month per year). Only during second part of April — May there are observer sharp wind shifts to the south and south-east (1.5 month per year). Wind speed increased with the height and on 250 hPa isobaric level maximal values observed. It varies from 15 — 18 m/s on July to 23 — 28 m/s on January. Lower stratosphere on 100 – 30 hPa isobaric levels is characterized by wind direction alternation which depends on warm and cold period. Wind speed is maximal in January – February with values about 30 m/s.

**Keywords:** seasonal variability, wind, variations, harmonics, vertical profiles.

Надійшла до редакції 7 квітня 2016 р.