

Залежність виникнення поривів вітру від аномалій тиску та температури повітря на території Північно-Західного Причорномор'я

Елліна В. Агайяр , Даніїл О. Жук 

Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна

Реферат

Для того, щоб зменшити руйнівні наслідки екстремальних поривів вітру, у світі проводиться значний обсяг досліджень з вивчення умов виникнення цього явища, динаміки його просторово-часового розподілу, та можливої потенційної зміни режиму вітру на тлі сучасних змін клімату. На сьогоднішній день виявляється, що бракує досліджень для визначення можливого впливу зміни клімату на майбутні пориви вітру на території України та, зокрема, у регіоні північного Причорномор'я. За сценаріями глобального потепління очікується, що серйозність та частота майбутніх поривів вітру зміняться наприкінці цього сторіччя. З огляду на це, проведено дослідження просторово-часових особливостей формування поривів вітру на території Північно-Західного Причорномор'я за період 2005–2020 рр., та залежності їх виникнення від аномалій температури повітря та атмосферного тиску, що у свою чергу можна використовувати для аналізу потенційних змін майбутніх режимів вітру в результаті глобальних кліматичних змін. Для аналізу виникнення поривів вітру на території Північно-Західного Причорномор'я було відібрано дані трьох станцій, розташованих у різних частинах регіону. В якості вихідного матеріалу в роботі використані дані з телеграм METAR щодо поривів вітру на станціях Одеса-АМСЦ, Миколаїв, Херсон та даних стандартних спостережень за період з січня 2005 по грудень 2020 рр. Для статистичного аналізу щоденних аномалій температури повітря та тиску використовувалися дані архіву NCEP/NCAR Reanalysis за цей самий період. Отримані результати показують, що на території Північно-Західного Причорномор'я за останні 15 років переважали пориви вітру в градації 13–15 м·с⁻¹, а швидкість поривів вітру в більшості випадків збільшувалася зі зростанням добової аномалії температури (від 0,0 до 5,0 °C) та зменшенням добової аномалії тиску (від 0 до -7,0 гПа).

Ключові слова

Вітер, швидкість поривів вітру, кліматичні сценарії, аномалія тиску, аномалія температури повітря

Надійшла до редакції: 15 липня 2022 / Прийнята: 12 грудня 2022 / Опублікована онлайн: 30 грудня 2022

Dependence of occurrence of wind gusts on air pressure and temperature anomalies on the territory of the North-Western Black Sea region

Ellina V. Agayar, Daniel O. Zhuk

Odessa State Environmental University, 15, Lvivska St., Odessa, 65016, Ukraine

Abstract

In order to reduce the devastating consequences of extreme wind gusts, a significant amount of research is being carried out in the world to study the conditions for the occurrence of this phenomenon, the dynamics of its spatio-temporal distribution, and a possible potential change in the wind regime against the background of modern climate change. Nowadays, it appears that not much research has been carried out to determine the possible impact of climate change on future wind gusts on the territory of Ukraine and, in particular, in the Northern Black Sea region. Global warming scenarios are expected to change the severity and frequency of future wind gusts by the end of this century. Considering this, a study was made of the spatio-temporal features of the formation of wind gusts in the North-Western Black Sea region for the period 2005–2020, and the dependence of their occurrence on air temperature and atmospheric pressure anomalies, which can be used to analyze possible changes of future wind regimes as a result of climate change. To analyze the occurrence of wind gusts in the North-Western Black Sea region, data from three stations located in different parts of the region were selected. The data of METAR telegrams on wind gusts at the Odessa-AMSC, Mykolaiv, Kherson stations and surface weather observations data for the period from January 2005 to December 2020 were used as source material in the work. For statistical analysis of daily air temperature and pressure anomalies, NCEP/NCAR Reanalysis archive data for the same period were used. The obtained results show that in the territory of the North-Western Black Sea region over the past 15 years, wind gusts in the gradation of 13–15 (m·s⁻¹) prevailed, and the speed of wind gusts in most cases rised with an increase of the daily temperature anomaly (from 0.0 to 5.0 °C) and a decrease of the daily pressure anomaly (from 0 to -7.0 hPa).

Keywords

Wind, wind gust speed, climate scenarios, pressure anomaly, air temperature anomaly

Received: 15 July 2022 / Accepted: 12 December 2022 / Published online: 30 December 2022

Corresponding author:

Ellina V. Agayar, Odessa State Environmental University, 15, Lvivska St., Odessa, 65016, Ukraine
Email: agayarellina@gmail.com

© 2022 The Authors. Published by Taras Shevchenko National University of Kyiv. This is an open-access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. Вступ

Поривчастість вітру - це наявність у повітряному потоці значних коливань (пульсацій) за швидкістю та напрямком з часовим інтервалом не більш ніж кілька секунд зі значними короточасними відхиленнями від середнього значення. У випадку сильної поривчастості вітру говорять про шквалистість вітру.

Пориви вітру, що виникають при сильному вітрові і шквалах, є чинником значної метеорологічної небезпеки через руйнівні наслідки майже для всіх галузей економіки (інфраструктура, транспорт, висотне будівництво, сільське та лісове господарство тощо) (Agayar, 2021; Lipinsky et al, 2006; Jungo et al, 2002). Надійні методи прогнозу поривів вітру важливі для приймання рішень щодо збільшення адаптаційної спроможності інфраструктури, стійке функціонування якої залежить від екстремальних поривів вітру (Cvitan, 2003; Graybeal, 2006).

Для території Північно-Західного Причорномор'я такі екстремальні вітрові явища виникають під час пересування та загострення атмосферних фронтів, розвитку конвективних явищ та ін. (Agayar et al, 2020; Semerhei-Chumachenko et al, 2021).

Метою цього дослідження є визначення сучасного просторово-часового режиму виникнення поривів вітру на території Північно-Західного Причорномор'я та залежності їх виникнення від аномалій температури повітря та атмосферного тиску, що можна застосувати для аналізу потенційної еволюції майбутнього режиму вітру внаслідок зміну клімату.

2. Матеріали і методи

Для визначення режиму виникнення поривів вітру на території Північно-Західного Причорномор'я обрано дані метеорологічних спостережень трьох станцій, розташованих у різних частинах регіону: АМСЦ Одеса, АМСЦ Миколаїв та АМСЦ Херсон (рис. 1). В якості

вихідного матеріалу в роботі використані дані з телеграм METAR про пориви вітру з січня 2005 по грудень 2020 рр. З них було обрано максимальні значення поривів вітру за кожен рік. Значення швидкості поривів вітру відбиралися починаючи з $10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, для врахування поривів при слабкому та помірному вітрові (при середній швидкості фактичного вітру до $5\text{--}8 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$). Особлива увага приділялася пороговим значенням поривів вітру згідно критеріїв чинної *Настанови з метеорологічного прогнозування* (2019). Окрім метеорологічних спостережень, для статистичного аналізу щоденних аномалій температури повітря та атмосферного тиску застосовані дані архіву NCEP/NCAR Reanalysis (Kistler R. et al. 2001) за період 2005-2020 рр. Для обробки даних використовувалося спеціалізоване програмне забезпечення R-instat 0.6.5.

3. Результати та обговорення

Поривчастість вітру пов'язана з турбулентністю, яка характерна для інтенсивних повітряних течій, та частіше утворюється в холодних нестійких повітряних масах із сильною турбулентністю. Також вона виникає при проходженні холодних фронтів. Пульсації швидкості та напрямку зазвичай відбуваються з півперіодом від 2 до 15 с. Зі зростанням термодинамічної нестійкості атмосфери амплітуда пульсації збільшується, а період зменшується. Значні пульсації часто виникають вранці при руйнуванні приземної інверсії. У нижньому шарі атмосфери добовий хід поривчастості вітру добре виражений з максимумом вдень та мінімумом вночі (Cheng et al. 2012).

Середньорічна швидкість поривів за період із 2005 по 2020 роки на АМСЦ Одеса, Миколаїв та Херсон (рис. 2) не зазнає за весь п'ятнадцятирічний період дослідження суттєвих коливань. У середньому, максимальна швидкість поривів коливається в діапазоні $16,1\text{--}17,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Зменшення значень швидкості поривів вітру до $13,7\text{--}13,9 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ спостерігалось у 2006, 2009 та 2010 роках, відповідно. Максимальна швидкість поривів вітру зафіксована у 2019 р. – $17,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

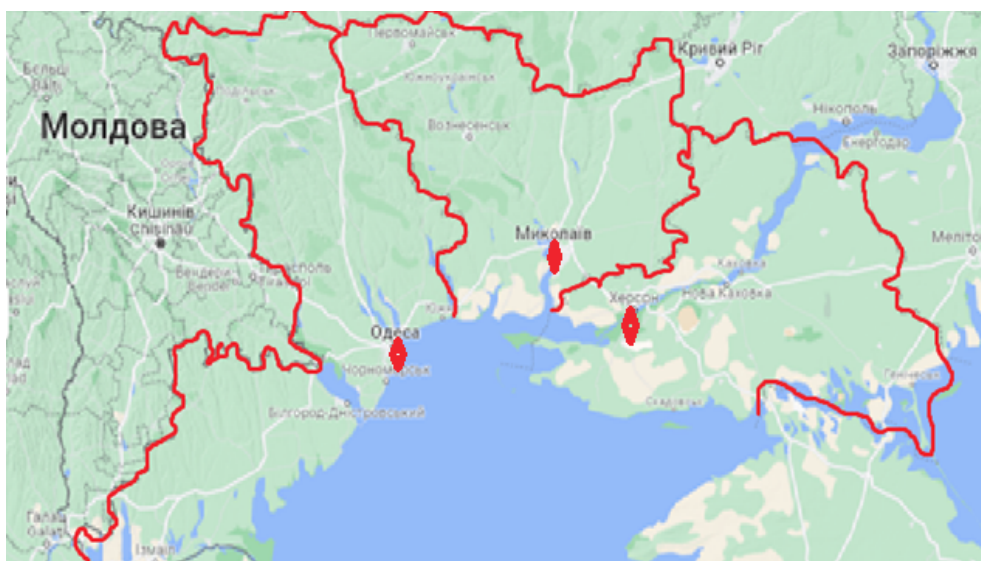


Рис. 1. Географічне розташування території Північно-Західного Причорномор'я
Fig. 1. Geographical location of the North-Western Black Sea region

Сезонні значення швидкості поривів вітру за сезонами незначно збільшуються взимку (грудень, січень - 17,1-16,8 м·с⁻¹) та у перехідні сезони (рис. 3). Так, у березні цей параметр становив 17,5 м·с⁻¹, тобто досягнув максимального значення у річному ході. В тепле півріччя максимальна середня швидкість поривів вітру відносно невелика, а мінімальна становить 14,3 та спостерігається у травні.

Подібний розподіл швидкостей поривів за сезонами визначається зміною характеру атмосферної циркуляції протягом року. Так, взимку пориви вітру переважно виникають при пересуванні холодних атмосферних фронтів, а з травня по вересень сильні пориви вітру найчастіше утворюються у нестійких повітряних масах напередодні або під час розвитку небезпечних конвективних явищ. При цьому в літній період конвективна нестійкість може мати фронтальне або внутрішньомасове походження.

Якщо розглянути розподіл швидкості поривів вітру за градаціями впродовж 2005- 2020 рр. на прикладі ст. Одеса-АМСЦ, то можна виявити переважання на станції

градації 13-15 м·с⁻¹ – 103 випадки (рис. 4). Також досить часто відзначалися пориви вітру зі швидкістю 17-18 м·с⁻¹ – 75 випадків.

За весь досліджуваний період пориви вітру в діапазоні швидкостей від 28 до 30 м·с⁻¹ зафіксовано лише 4 рази. Максимальну швидкість пориву вітру (31 м·с⁻¹) на станції Одеса АМСЦ відмічено 24 лютого 2020 року о 12.30 за місцевим часом, при сильній хуртовині, яка виникла під час пересування південного циклону територією Одеської області.

На метеостанціях Миколаїв та Херсон за період дослідження з 2005 по 2020 рр. переважали швидкості поривів вітру в градаціях 15-17 м·с⁻¹ – 38 випадків та 13-15 м·с⁻¹ – 34 випадків. Пориви вітру із значеннями швидкості вище 23 м·с⁻¹ не спостерігалися.

На сьогоднішній день виявляється, що бракує досліджень для визначення можливого впливу зміни клімату на майбутній режим поривів вітру на території України та, зокрема, у регіоні Північного-Західного Причорномор'я. За сценаріями глобального потепління очікується, що інтенсивність та частота поривів вітру

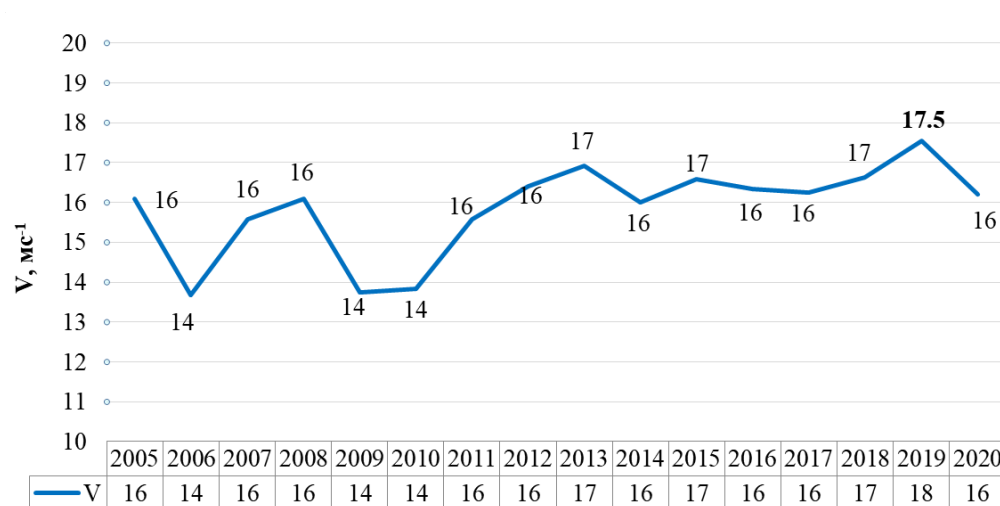


Рис. 2. Середньорічна швидкість поривів у 2005-2020 рр. на станціях Одеса-АМСЦ, Миколаїв, Херсон

Fig. 2. Average annual rate of gusts in 2005-2020 at stations Odessa-AMSC, Mykolaiv, Kherson

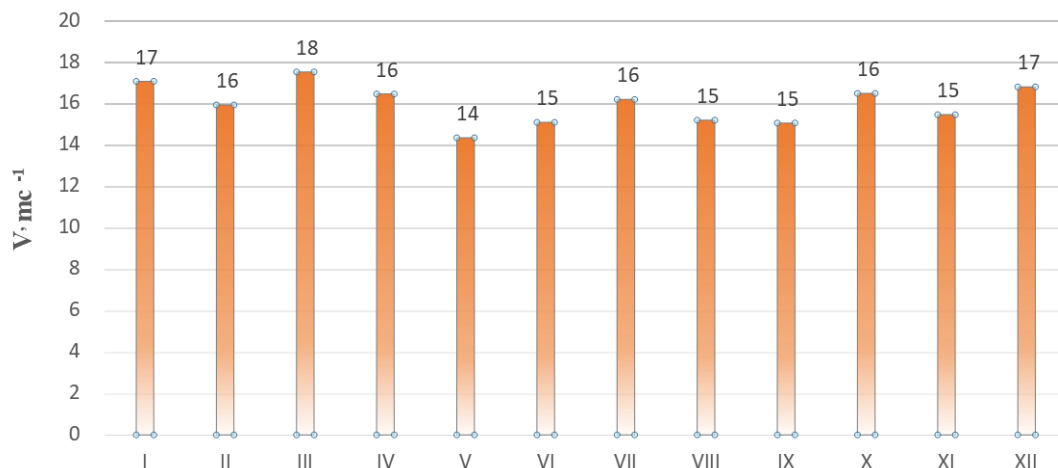


Рис. 3. Середньомісячна швидкість поривів у 2005-2020 рр. на станціях Одеса-АМСЦ, Миколаїв, Херсон

Fig. 3. Average monthly speed of gusts in 2005-2020 at the stations Odessa-AMSC, Mykolaiv, Kherson

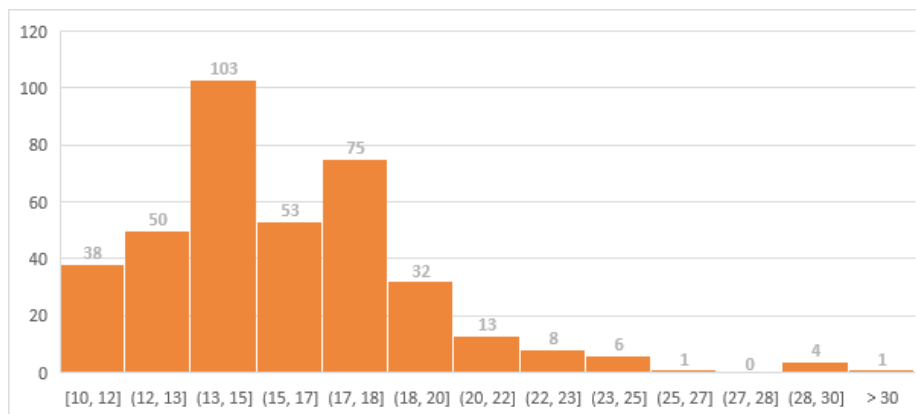


Рис. 4. Повторюваність поривів (к/вип.) вітру на станції Одеса АМСЦ у 2005-2020 рр.

Fig. 4. Repeatability of gusts (number of cases) of wind at the station Odessa AMSC in 2005-2020

зміняться наприкінці цього сторіччя (Climate Model: Temperature Change (RCP 8.5) - 2006 - 2100), тому проведено дослідження щодо встановлення залежності виникнення поривів вітру від аномалій атмосферного тиску та температури повітря на прикладі трьох станцій регіону - Одеса АМСЦ, Миколаїв та Херсон.

Взаємозв'язок між швидкістю поривів вітру ≥ 10 м·с⁻¹ та добовими аномаліями атмосферного тиску та температури повітря у 2005-2020 рр. представлено на рис. 5-8. Діаграми розсіювання були проаналізовані, щоб показати взаємозв'язок між добовою швидкістю поривів вітру та денними аномаліями температури та тиску. Ці відносини є статистично значимі, більшість із яких мають значення p , що дорівнює 0,01.

Так, за даними метеостанції Миколаїв, взимку кількість поривів вітру збільшувалася переважно при від'ємній аномалії тиску (-10 до +2,5 гПа), при цьому швидкість поривів вітру змінювалася від 15 до 25 м·с⁻¹, (рис. 5). У весняні місяці з березня по травень спостерігалось зменшення значень аномалії тиску у

бік додатних значень, які варіювали від -2,5 до +2,5 гПа, а пориви вітру відмічалися в діапазоні 12-18 м·с⁻¹. У літній період пориви вітру на станції Миколаїв спостерігалися в діапазоні від 12 до 21 м·с⁻¹, при цьому максимальних значень швидкості вітру досягала вже за додатної аномалії тиску в липні - 25 м·с⁻¹, (аномалія тиску + 2,5 гПа). Проте більшість поривів формувалось при від'ємних аномаліях тиску як у червні, так і у липні. У вересні пориви вітру (13-20 м·с⁻¹) відзначалися при слабкій додатній аномалії тиску, з жовтня по грудень найбільша кількість поривів на метеостанції Миколаїв зафіксована при аномалії тиску від 0 до -8 гПа.

На метеостанціях Херсон та Одеса АМСЦ більшість щоденних поривів залежно від сезону змінювалися як за додатної, так і за від'ємної аномалії тиску (рис. 6-7). У зимові місяці щоденні аномалії тиску коливалися в широкому діапазоні від - 8 гПа до + 11 гПа, при цьому максимальні пориви вітру відмічалися при невеликих від'ємних значеннях аномалії (-2,5 гПа) - 31 м·с⁻¹ 24 лютого 2020 р. З квітня по жовтень діапазон

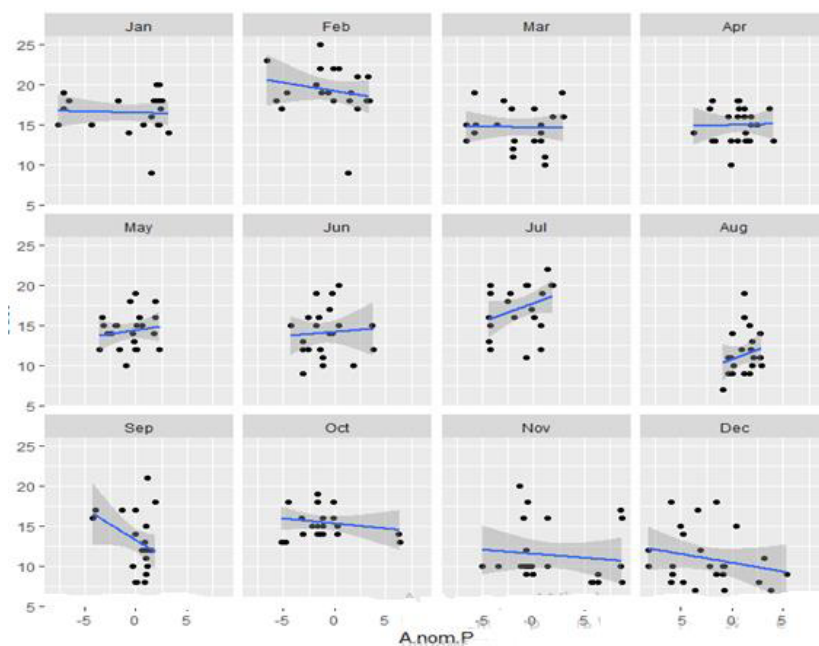


Рис. 5. Взаємозв'язок між швидкістю поривів вітру ≥ 10 м·с⁻¹ та добовими аномаліями тиску у 2005-2020 рр., Миколаїв

Fig. 5. Relationship between wind gust speed ≥ 10 m·s⁻¹ and daily pressure anomalies in 2005-2020, Mykolaiv

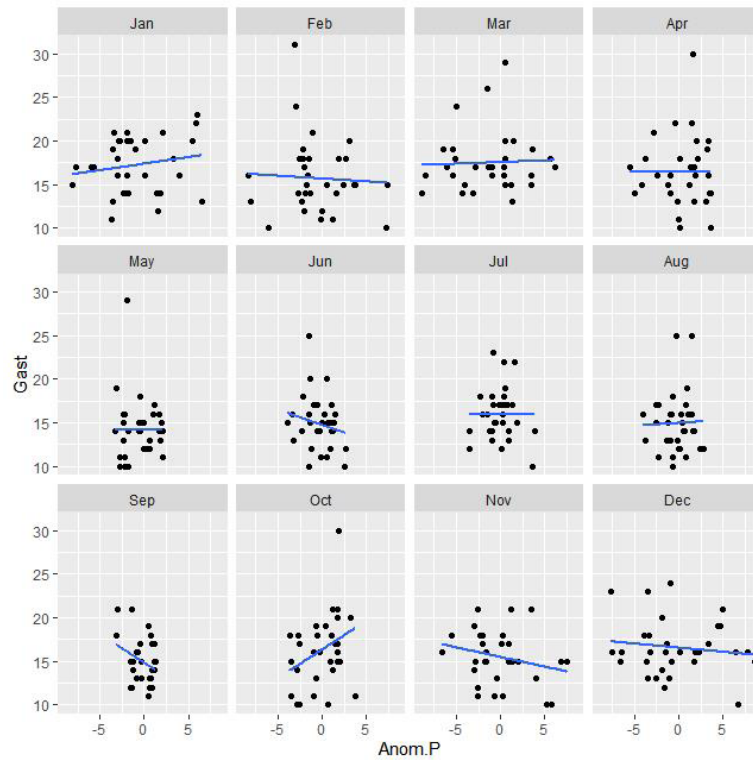


Рис. 6. Взаємозв'язок між швидкістю поривів вітру $\geq 10 \text{ м·с}^{-1}$ та добовими аномаліями тиску у 2005-2020 рр., Одеса АМСЦ
Fig. 6. Relationship between wind gust speed $\geq 10 \text{ m·s}^{-1}$ and daily pressure anomalies in 2005-2020, Odessa AMSC

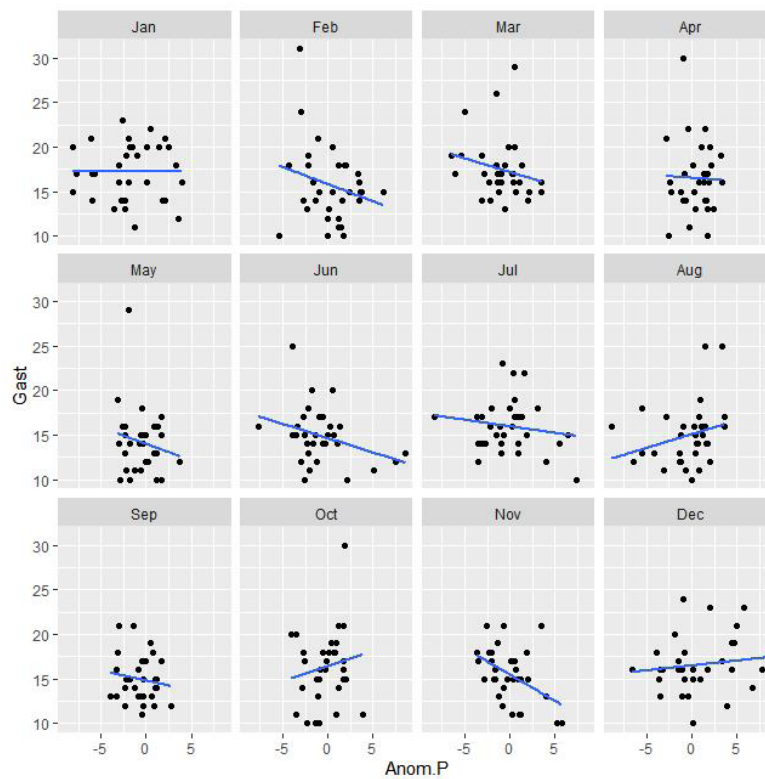


Рис. 7. Взаємозв'язок між швидкістю поривів вітру $\geq 10 \text{ м·с}^{-1}$ та добовими аномаліями тиску у 2005-2020 рр., Херсон
Fig. 7. Relationship between wind gust speed $\geq 10 \text{ m·s}^{-1}$ and daily pressure anomalies in 2005-2020, Kherson

зміни значень аномалій тиску на станції Одеса АМСЦ поступово зменшувалися до $-2,5$ – $+2,5$ гПа. Максимальні пориви вітру 25 – 28 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ відмічалися за слабкої від'ємної аномалії тиску -2 гПа, і лише у серпні зафіксований порив вітру інтенсивністю 25 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ за невеликої додатної аномалії тиску (0 – $+2$ гПа).

Восени спостерігається тенденція формування максимальних поривів вітру, переважно при від'ємних значеннях аномалій тиску. У районі метеостанції Херсон максимальні пориви швидкості вітру відмічалися за від'ємної аномалії тиску незалежно від сезону. У зимовий період пориви спостерігалися від 17 до 30 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Як виняток, у грудні пориви вітру на станції Херсон частіше формувалися за аномалії тиску від 0 до $+5$ гПа. У теплий період з березня до жовтня амплітуда коливання швидкості поривів становила 15 – 25 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, а в окремі місяці (березень, квітень, травень – 28 – 30 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), за аномалії тиску від 0 до $-2,5$ гПа.

Встановлено чітку залежність виникнення поривів вітру на метеостанціях від добової аномалії температури повітря на станції Одеса АМСЦ (рис. 8), де найбільша

кількість епізодів з посиленням вітру спостерігалася за додатної аномалії температури протягом року. Амплітуда добової аномалії температури повітря змінювалася від $2,5$ до $5,0$ $^{\circ}\text{C}$. При цьому максимальні значення швидкості поривів спостерігалися при температурній аномалії близько $2,0$ – $2,5$ $^{\circ}\text{C}$, а пориви досягали 25 – 30 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ як у холодне, так і у тепле півріччя.

На станції Херсон здебільшого пориви виникають при додатній аномалії температури, і лише в січні, грудні та листопаді спостерігалися окремі епізоди посилення вітру за незначної від'ємної аномалії температури повітря в діапазоні від $0,0$ до $-2,3$ $^{\circ}\text{C}$. На метеостанції Миколаїв мала місце схожа тенденція, тобто формування поривів вітру за додатної добової аномалії температури повітря протягом усього року за винятком січня. У січні більшість випадків з поривами вітру спостерігалася за аномалії температури близько $2,0$ – $2,5$ $^{\circ}\text{C}$, швидкості поривів досягали 18 – 22 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Однак пориви вітру зі швидкістю понад 25 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ фіксувалися виключно за додатних аномалій температури повітря.

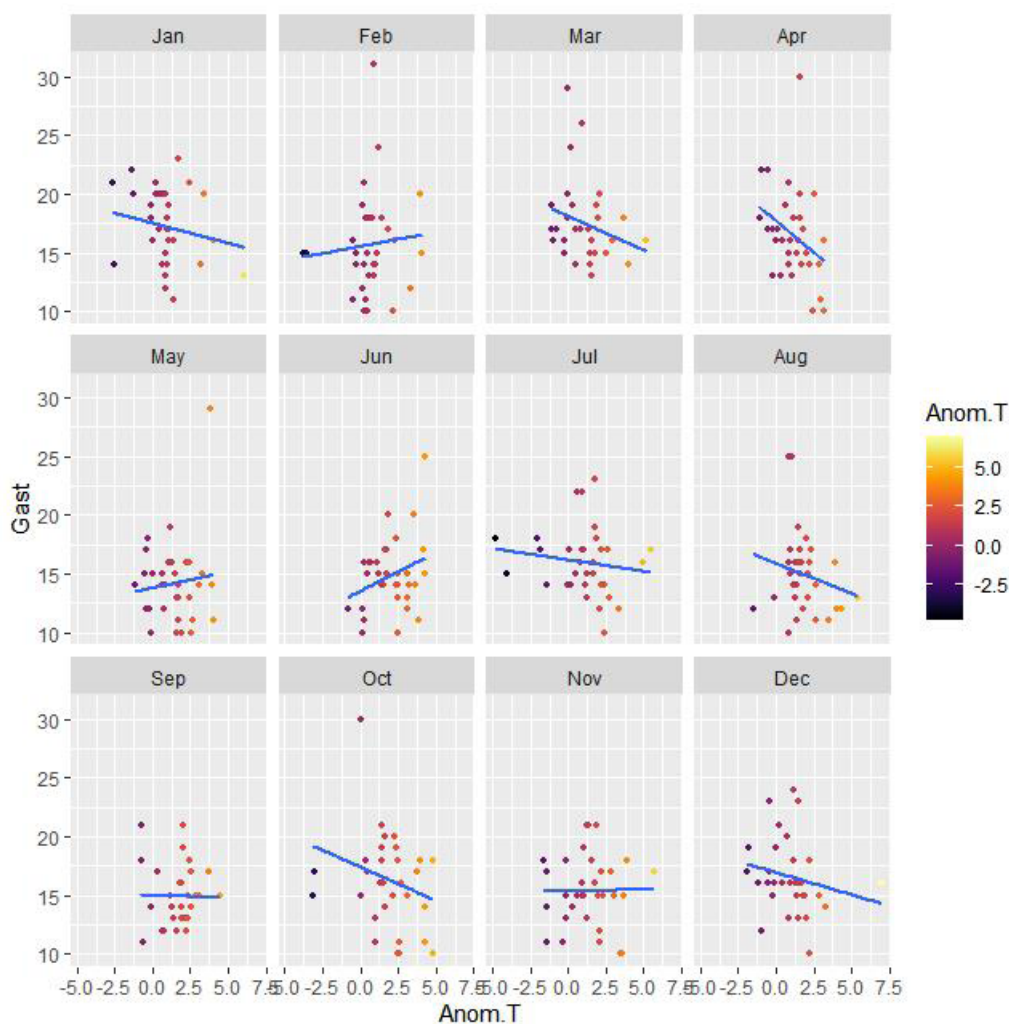


Рис. 8. Взаємозв'язок між швидкістю поривів вітру ≥ 10 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ та добовими аномаліями температури повітря у 2005–2020 рр., Одеса АМСЦ
Fig. 8. Relationship between wind gust speed ≥ 10 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ and daily air temperature anomalies in 2005–2020, Odessa AMSC

На метеостанціях Одеса АМСЦ та Миколаїв графіки співвідношення добової аномалії температури повітря та тиску дещо схожі (рис.9) - взимку та влітку пориви вітру від 13 до 18 м·с⁻¹ формувалися за від'ємної аномалії тиску та додатної аномалії температури повітря у 65% випадків. Перехідні сезони пов'язані з від'ємними аномаліями добової температури та від'ємними аномаліями добового тиску (близько 30 % випадків).

На станції Херсон також виявлено збільшення кількості випадків поривів вітру за додатної аномалії температури та від'ємної аномалії тиску. При цьому

навесні також бувають епізоди додатної аномалії тиску, коли кількість поривів зростає (рис.10).

Отже, можлива причина збільшення передбачуваної частоти майбутніх поривів вітру над територією Північно-Західного Причорномор'я може полягати в тому, що в міру підвищення температури та зниження тиску в умовах майбутнього клімату кількість інтенсивних циклонів середніх широт буде збільшуватися, що призводитиме до виникнення як синоптичних так і локальних конвективних штормів у досліджуваної області.

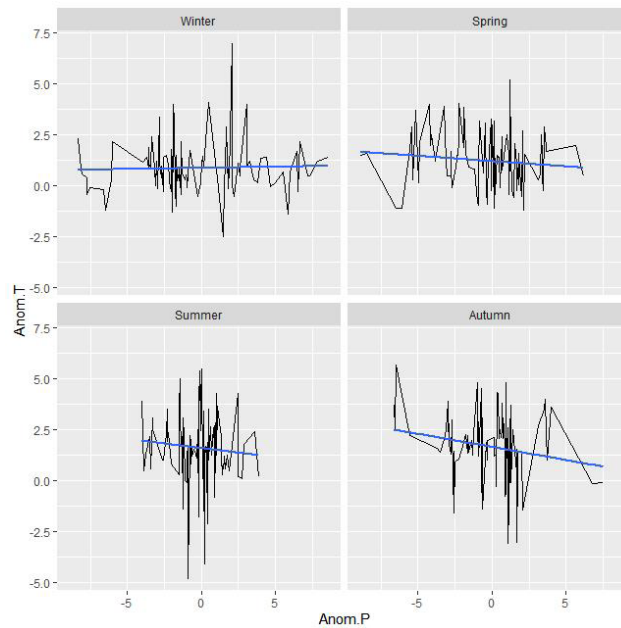


Рис. 9. Співвідношення добової аномалії температури повітря та тиску для швидкості поривів 13-18 м·с⁻¹ на станціях Одеса АМСЦ та Миколаїв
Fig. 9. The ratio of the daily anomaly of air temperature and pressure for the speed of gusts of 15-18 m·s⁻¹ at the stations Odessa AMSC and Mykolayiv

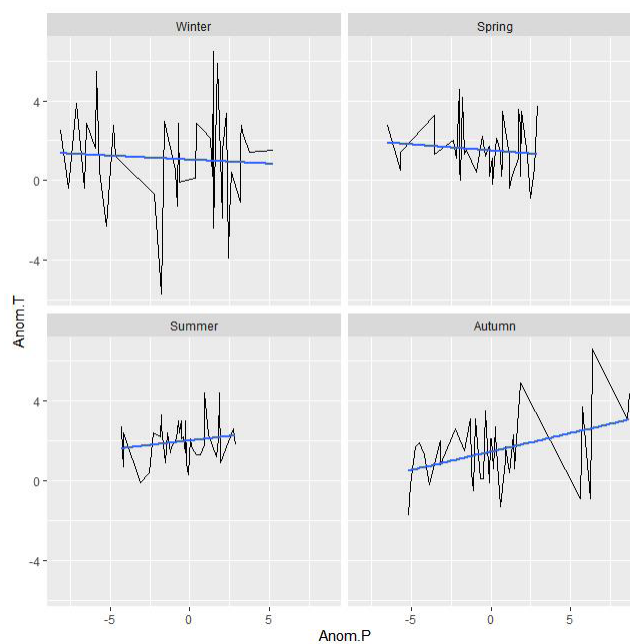


Рис. 10. Співвідношення добової аномалії температури повітря та тиску для швидкості поривів 13-18 м·с⁻¹ на станції Херсон
Fig. 10. The ratio of the daily anomaly of air temperature and pressure for the speed of gusts of 15-18 m·s⁻¹ at the station Kherson

5. Висновки

Визначено, що у 2005–2020 рр. на території Північно-Західного Причорномор'я переважали пориви вітру в градації $13\text{--}15\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ – 103 випадки. Також досить часто відмічалися пориви зі швидкістю $17\text{--}18\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ – 75 випадків.

Виявлено незначне збільшення середньої швидкості поривів у зимовий період (грудень, січень – $17,1\text{--}16,8\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) та у перехідні сезони. У літні місяці сильні пориви вітру найчастіше виникають у конвективно нестійких повітряних масах під час шквалів.

Встановлено, що швидкість поривів вітру за останні 15 років на метеостанціях Одеса АМСЦ, Миколаїв та Херсон частіше збільшується зі збільшенням добової аномалії температури (від $0,0$ до $5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) та зменшенням добової аномалії тиску (від 0 до $-7,0\text{ гПа}$).

На основі одержаних результатів можна припустити можливість збільшення частоти майбутніх поривів вітру на території Північно-Західного Причорномор'я. Згідно з П'ятим Національним повідомленням України з питань зміни клімату (2009), прес-релізом про стан сучасного клімату (2021) та за даними кліматичних моделей (Climate Model: 2006 – 2100), майбутні температури можуть бути вищими, а майбутній тиск може бути нижчим, ніж минулі та поточні значення. Крім того, взаємозв'язок між температурою, тиском і посиленням поривів вітру, ймовірно, буде аналогічним у майбутньому теплішому кліматі, оскільки погодні умови, які сьогодні сприяють виникненню поривів вітру, будуть спостерігатися частіше найближчими роками (Cheng et al., 2012; Stepanenko et al., 2015; Sanabria et al., 2010). Варто зазначити, що дослідження носить попередній характер і вимагає подальшої перевірки на значно більшому ряді спостережень та порівнянням з кліматичними сценаріями.

ORCID iD

Ellina V. Agayar  <https://orcid.org/0000-0003-3914-6288>

Daniel O. Zhuk  <https://orcid.org/0000-0003-2989-7889>

Список посилань

- Agayar, E.V., Semerhei-Chumachenko, A.B., Zubkovych, S.O. (2020). Applying prediction models for short-term hail forecasting in southern Ukraine. *Bulletin of Kharkiv National University named after V.N. Karazina, Series "Geology. Geography. Ecology."*, 53, 71–81. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-05>
- Agayar, E.V. (2021). *Spetsializovani prohnozy nebezpechnykh yavyshch pohody: navch. posibnyk*. ODEKU, Odessa: 143. (In Ukrainian). [Агайар Е.В. (2021). *Спеціалізовані прогнози небезпечних явищ погоди: навч. посібник*. ОДЕКУ. Одеса: 143 с.]. URL: <http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/9400>
- Cvitan, L. (2003). Determining wind gusts using mean hourly speed. *Geofizika*, 20, 63–74.
- Cheng, C. S., Li, G., and Li, Q. (2012). Possible Impacts of Climate Change on Wind Gusts under Downscaled Future Climate Conditions over Ontario, Canada. *Journal of Climate.*, 25, 3390–3408. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-11-00198.1>

- Climate Model: Temperature Change (RCP 8.5) - 2006 - 2100. URL: <https://sos.noaa.gov/datasets/climate-model-temperature-change-rcp-85-2006-2100/>
- Graybeal, D. Y. (2006). Relationships among daily mean and maximum wind speeds, with application to data quality assurance. *Int. J. Climatol.*, 26, 29–43.
- Jungo, P., S. Goyette, and M. Beniston. (2002). Daily wind gust speed probabilities over Switzerland according to three types of synoptic circulation. *Int. J. Climatol.*, 22., 485–499.
- Kistler R., Kalnay E., Collins W., Saha S., White G., Woollen J., Chelliah M., Ebisuzaki W., Kanamitsu M., Kousky V., van den Dool H., Jenne R., Fiorino M. (2001). The NCEP-NCAR 50-Years Reanalysis: Monthly Mean CD-ROM and Documentation. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 82, 247–268. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2001\)082<0247:TNNYRM>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2001)082<0247:TNNYRM>2.3.CO;2)
- Stepanenko, S.M., Pol'ovyy, A.M., Loboda, N.S. et al. (Eds.) (2015). *Klimatichni zminy ta yikh vplyv na sferu ekonomiky Ukrainy: [monohrafiya]* [Climate change and its impact on the economy of Ukraine: [monograph] Odessa: Vyd. „TES”. (In Ukrainian). [Степаненко С.М., Польовий А.М., Лобода Н.С. та ін. *Кліматичні зміни та їх вплив на сферу економіки України: [монографія]* (2015). Одеса: Вид. „ТЕС”].
- Nastanova z operatyvnoho hidrometeorologichnoho zabezpechennya ta obsluhovuvannya haluzei natsional'noyi ekonomiky. Kerivnyy dokument UkrHMTS. - KD 52.4.1.01-06. (2018). [Management of operational hydrometeorological support and maintenance of sectors of the national economy. - Guiding document of UkrHMC. - KD 52.4.1.01-06.], Kyiv (In Ukrainian). [Настанова з оперативного гідрометеорологічного забезпечення та обслуговування галузей національної економіки. - Керівний документ УкрГМЦ. - КД 52.4.1.01-06.].
- P'yate Natsional'ne povidomlennya Ukrainy z pytan' zminy klimatu (2009) [Ukraine's Fifth National Communication on Climate Change]. (In Ukrainian). [П'яте Національне повідомлення України з питань зміни клімату]. URL: https://ucn.org.ua/upl/ukr_nc5rev.pdf
- Lipinsky, V.M., Osadchy, V.I., Babichenko, V.M. (Eds.) (2006). *Stykhiyni meteorologichni yavyshcha na terytoriyi Ukrainy za ostannye dvadtsyatyrichchya (1986-2005 rr.)* [Natural meteorological phenomena on the territory of Ukraine for the last twenty years (1986-2005)]. K.: Nika-Tsentr, 2006. (In Ukrainian). [Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 рр.) Ліпінський В.М., Осадчий В.І., Бабіченко В.М.. К.: Ніка-Центр, 2006].
- Semerhey-Chumachenko, A.B., Agayar, E.V., Zhuk, D.O. (2021). Prostorovo-casovyy rozpodil smerchiv ta shkvaliv u Pivnichno-Zakhidnomu Prychornomor'yi z 2006 po 2020 rr. [Spatio-temporal distribution of tornadoes and hurricanes in the North-Western Black Sea coast from 2006 to 2020]. *World Science. Poland*, 11 (72). (In Ukrainian). [Семергей-Чумаченко А.Б., Агайар Е.В., Жук Д.О. (2021). Просторово-часовий розподіл смерчів та шквалів у Північно-Західному Причорномор'ї з 2006 по 2020 рр. *World Science. Poland*, 11 (72)]. https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30122021/7718
- Sanabria, L. A., Cechet, R. P. (2010). Severe wind hazard using dynamically downscaled climate simulations. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 11, 012021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/11/1/012021>
- State of Climate in 2021: Extreme events and major impacts. (2021). Press Release Number: 31102021. Retrieved from <https://public.wmo.int/en/media/press-release/state-of-climate-2021-extreme-events-and-major-impacts>