

Метеорологічні умови утворення туманів на півдні України

Лариса В. Недострелова 

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

Реферат

В роботі проведено аналіз метеорологічних умов утворення туманів – температурно-вологісного, вітрового режимів, видимості при різних видах туманів на території півдня України за період 2011–2020 рр. В якості вхідної інформації при дослідженні процесів туманоутворення використовуються дані щоденних метеорологічних спостережень за атмосферними явищами на станціях півдня України – Одеса, Миколаїв, Херсон. Мета роботи – встановлення метеорологічних умов утворення туманів на півдні України. В температурному режимі має місце суттєва відмінність у мінімумах температур для Херсона, Миколаєва і Одеси. Виникнення туманів в Херсоні і Миколаєві виявлено при температурах $-20,0$ і $-18,0$ °C відповідно на відміну від Одеси, де процеси туманоутворення зафіксовано при мінімальних температурах $-10,0$ °C. Максимальні температури процесів формування даного явища в Одесі і Херсоні входять в градацію з максимумом $20,0$ °C, для Миколаєва цей показник становить $22,0$ °C. Можна зробити висновок, що в Одесі процеси утворення туманів відбуваються при більш високих температурах при від'ємних значеннях, ніж в Миколаєві і Херсоні. Аналіз вологісного режиму свідчить, що найбільша кількість туманів на півдні України утворюється при відносній вологості 100 %. При значеннях вологості від 97 до 99 % також у всіх досліджених пунктах виникають тумани, хоча їх кількісні показники суттєво менші, ніж для попередньої градації. В Одесі процеси туманоутворення відбуваються при більшій вологості повітря (починаючи з 96 %), ніж в Миколаєві і Херсоні, де тумани було зафіксовано уже при вологості 85 і 88 % відповідно. Аналіз просторового розподілу видимості на території трьох станцій півдня свідчить про суттєві відмінності її режиму в Одесі у порівнянні з її змінами в Миколаєві і Херсоні. Розподіл швидкості вітру дає змогу зробити висновок, що найбільшу повторюваність при утворенні туманів на півдні України мають швидкості вітру 1–2 м/с, що становить майже половину випадків – 49 %. Другий максимум повторюваності зафіксовано для градації вітру 3–4 м/с – 27 % від загальної кількості випадків. На штилі припадає 13 % випадків утворення туманів на досліджуваній території за період 2011–2020 рр. Аналіз роз вітрів показує, що найбільшу повторюваність має східний напрямок вітру і пануючим він є для Миколаєва і Херсона. Для Одеси пануючим вітром виявлено південний напрямок, який має велику повторюваність і для інших станцій. Загалом, можна зробити висновок, що при утворенні туманів на півдні України переважними є вітри квадранту схід-південь.

Ключові слова

Туман, температурно-вологісний режим, видимість при тумані, вітровий режим

Надійшла до редакції: 6 березня 2023 / Прийнята: 29 квітня 2024 / Опублікована онлайн: 30 травня 2024

Meteorological conditions for the formation of fog in the South part of Ukraine

Larysa V. Nedostrelova

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

Abstract

In the article you can find the analyze of the meteorological conditions of fog formation – temperature and humidity, wind regimes, visibility during different types of fog on the territory of the southern part of Ukraine for the period of 2011–2020 yrs. Data from daily meteorological observations of atmospheric occurrences at the stations of the southern part of Ukraine (Odesa, Mykolaiv, Kherson) are used as input information in the investigation of the fog formation processes. The purpose of the work is to establish the meteorological conditions for the formation of fog in the southern part of Ukraine. In the temperature regime there is a significant difference in minimum temperatures for Kherson, Mykolaiv and Odesa. The appearance of fogs in Kherson and Mykolaiv was detected at temperatures of -20.0 and -18.0 °C accordingly in contrast to Odesa, where fog formation processes were recorded at minimum temperatures of -10.0 °C. The maximum temperatures of the formation processes of this occurrence in Odesa and Kherson are included in the gradation with a maximum of 20.0 °C, for Mykolaiv this indicator is 22.0 °C. It can be concluded that fog formation processes occur in Odesa at higher temperatures with negative values than in Mykolaiv and Kherson. Analysis of the humidity regime shows that the largest amount of fog in the southern part of Ukraine is formed at a relative humidity of 100%. At humidity values from 97 to 99%, fog also occurs in all investigated points, although their quantitative indicators are significantly lower than for the previous gradation. In Odesa the processes of fog formation occur at a higher air humidity (starting from 96 %) than in Mykolaiv and Kherson, where fogs are already recorded at humidity levels of 85 and 88 % accordingly. The analysis of the spatial distribution of visibility on the territory of three stations of the South indicates significant differences in its regime in Odesa compared to its changes in Mykolaiv and Kherson. The distribution of wind speed makes it possible to conclude that wind speeds of 1–2 m/s are most frequent in the formation of fog in the southern part of Ukraine, which happens to be almost half of the cases – 49%. The second maximum of repeatability was recorded for wind gradation of 3–4 m/s – 27% of the total number of cases. The calm has 13% of the cases of fog formation on the investigated territory for the period 2011–2020 yrs. The analysis of wind roses shows that the eastern wind direction has the highest repeatability and is the dominant one for Mykolaiv and Kherson. For Odesa the prevailing wind was found to be in a southerly direction, which is highly repeatable for other stations as well. In general, it can be concluded that during the formation of fogs in the southern part of Ukraine, winds of the East-South quadrant prevail.

Keywords

Fog, temperature and humidity regime, visibility in fog, wind regime

Received: 6 March 2023 / Accepted: 29 April 2024 / Published online: 30 May 2024

Corresponding author:

Larysa V. Nedostrelova, Odesa State Environmental University, 15 Lvivska str., Odesa, 65016, Ukraine
Email: nedostrelova@ukr.net

© 2024 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

Тумани відносяться до явищ погоди, що є небезпечними для руху всіх видів транспорту. Спостереження за дорогою під час туману має бути посилене. Туман може ускладнити чи зробити неможливими зліт та посадку літаків, ускладнює роботу повітряного та автомобільного транспорту, збільшує небезпеку руху на дорогах. Окрім транспорту, особливу зацікавленість до прогнозу туманів проявляють і будівельники. Для галузі будівництва тумани, особливо сильні, обмежують можливість проведення будівельних і монтажних робіт. Тумани можуть справляти негативний вплив на самопочуття, працездатність і здоров'я населення. Зазвичай, безперервна тривалість туманів може спостерігатися від кількох годин (іноді півгодини-годину) до декількох діб. Аналіз просторового розподілу туманів, їх сезонна мінливість, особливості температурно-вологісного і вітрового режимів при туманоутвореннях є актуальним питанням сьогодення внаслідок тісного зв'язку з безпекою людей.

Туман виникає як результат конденсації водяної пари, скупчення продуктів конденсації у повітрі над земною поверхнею в приземному шарі атмосфери і погіршує дальність видимості до 1 км і менше, як зазначено в роботі Школьного Є. П. (Shkolnyu, 2007), Настанові (Nastanova..., 2011), і в публікації Нажмудиної О. М. (Nazhmudinova, 2016). Вміст вологи в повітрі може зростати під впливом вертикального і горизонтального переміщення повітряних мас, випаровування води з підстильної поверхні. Зменшення температури повітря відбувається в результаті турбулентного і молекулярного обміну теплом з навколишніми масами повітря і земною поверхнею, адиабатичного розширення об'єму повітря при його висхідному русі, радіаційного вихолодження, що зазначено в роботах (Shkolnyu, 2007; Vrublevska et al., 2012; Lipinskyi et al., 2003). Водночас з переліченими процесами у фіксованій точці простору на зміну вмісту вологи і температури повітря впливають горизонтальний рух, тобто адвекція повітря, і вертикальні рухи. У відповідності до цих процесів тумани поділяють на тумани змішування, тумани випаровування і тумани охолодження (Shkolnyu, 2007). За висновками (Ivus, 2007, 2010) тумани можуть виникати і на атмосферних фронтах. Час існування такого туману визначається за допомогою швидкості руху фронту. Зазвичай, виникнення фронтального туману фіксується через 0,5-1,0 годину після проходження атмосферного фронту. До того ж для визначення години руйнування такого туману враховують місцеві особливості, турбулентне перемішування, характеристику адвекції і загалом синоптичну ситуацію і її зміну.

Основними мікрофізичними характеристиками всіх видів туманів є агрегатний стан, водність, відносна вологість, розміри крапель і кристалів і їх концентрація тощо. Водність туману залежить від його інтенсивності – чим більша інтенсивність туману, тим більша його водність. Концентрація крапель і кристалів в туманах коливається в широких межах в залежності від типу туману. Розміри частинок також змінюються в широкому

діапазоні, але переважна кількість має радіус 2-18 мкм. Відносна вологість при туманах сягає майже 100 %, хоча при низьких температурах над морями й океанами може дорівнювати 80 % (Shkolnyu, 2007; Nedostrelova et al., 2021). При температурах повітря $-30,0^{\circ}\text{C}$ і нижче можуть виникати тумани льодяні чи морозні. Це відбувається в результаті перемішування атмосферного холодного повітря з вологим і теплим повітрям паливних і вихлопних газів. За умови слабкого вітру й існування інверсії в приземному шарі атмосфери продукти згоряння палива залишаються на невеликій площі. Якщо при цьому відносна вологість в повітрі вище критичного значення за даної температури, відбувається пересичення повітря у відповідності до льоду, краплі води замерзають і збільшують свої розміри – це сприяє формуванню льодяного туману. При температурах нижче $-39,0^{\circ}\text{C}$ утворюються тільки такі тумани. В такому випадку за (Ivus, 2007, 2010), краплі води замерзають незалежно від вологості повітря і збільшуються в результаті вологи продуктів згоряння палива чи атмосферного повітря.

Однією з характеристик мікроструктури туману є дальність видимості. Вона залежить від інтенсивності розсіяння світла Сонця аерозольними частинками, з яких складаються тумани. Інтенсивність розсіяння насамперед залежить від концентрації кристалів чи крапель, а також від їхніх розмірів (Shkolnyu, 2007). Видимість тісно пов'язана з метеорологічними величинами. Вона залежить від температури повітря, швидкості вітру, вологості повітря і перерозподілу температури повітря в підхмарному шарі, стратифікації атмосфери. Залежність видимості від метеорологічних умов різниться у відповідності до типу туману. Наприклад, в радіаційному тумані вплив здійснює мінімальна температура повітря, тобто її нічне пониження. В адвективному тумані видимість більшою мірою буде залежати від процесів насичення і пересичення більш теплого і вологого повітря, що переміщується до певного пункту. У фронтальних і адвективних туманах водність збільшується з висотою і максимум спостерігається біля їх верхньої межі. В радіаційному тумані найгірша видимість фіксується в нижньому шарі атмосфери. За даними (Ivus, 2007, 2010) тумани охолодження характеризуються мінімумом видимості через 2-3 години після сходу Сонця.

2. Матеріали і методи

В якості вхідної інформації при аналізі процесів туманоутворення використано дані щоденних метеорологічних спостережень за атмосферними явищами на станціях півдня України (Одеса, Миколаїв, Херсон) за період 2011-2020 рр. Об'єкт дослідження – туман, предмет дослідження – метеорологічні умови туманоутворення, методи дослідження – просторово-часове узагальнення даних, фізико-статистичний аналіз. Основне завдання роботи – встановлення метеорологічних умов утворення туманів на півдні України.

3. Результати та обговорення

3.1. Температура повітря

Одним із основних факторів утворення туману є температура. За результатами обробки даних щоденних спостережень за атмосферними явищами на півдні України побудовано гістограми температурних коливань для трьох станцій – Одеса, Миколаїв і Херсон, також надано загальний розподіл температури при туманах на всій досліджуваній території (рис. 1).

На рис. 1а представлено розподіл температури повітря для станції Одеса. За період дослідження метеорологічна величина коливається в межах від $-10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Найбільшу кількість випадків зафіксовано в градації від $2,1$ до $4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ – це 50 випадків, що становить 20 % від загального показника. Суттєві значення кількості також характерні для градацій $0,1-2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $4,1-6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, в яких виявлено 45 та 34 значення температур. Можна стверджувати, що розкид температур від $0,1$ до $6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ складає 52 % від загальної кількості значень температури при туманах в Одесі. Мінімальні і максимальні значення даного розподілу температури становлять всього 3 випадки, при яких відбулося туманоутворення. Також слід відмітити, що при від’ємних температурах туман в Одесі формується тільки в 15 % випадків.

На рис. 1б надано коливання температури повітря при процесах утворення туманів для станції Миколаїв. За період аналізу значення температури змінюється в

межах від $-18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+22,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Найбільшу кількість випадків зафіксовано в градації від $0,1$ до $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ – це 53 випадки, що становить 17 % від загальної кількості. Суттєві показники розподілу також характерні для градацій в межах $-1,9-0,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $2,1-6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, в яких виявлено 46, 43 та 42 значення температур. Можна стверджувати, що розкид температур від $-1,9$ до $6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ становить більше половини, а саме 58 %, від загальної кількості значень температури при туманах в Миколаєві. Мінімальні і максимальні значення даного розподілу температури становлять всього 2 випадки, при яких відбулося туманоутворення. При температурах від $-15,9$ до $-14,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ виникнення туманів на станції не виявлено. Також слід відмітити, що при від’ємних температурах тумани в Миколаєві формується в третині (31 %) випадків.

На рис. 1с наведено результати аналізу температурного режиму повітря при виникненні туманів для станції Херсон. За період дослідження значення температури коливаються в межах від $-20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Найбільшу кількість випадків зафіксовано в градації від $0,1$ до $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, тобто 53 випадки, що становить 17 % від загального показника. Суттєві значення кількості також характерні для градацій в межах $-1,9-0,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $2,1-4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, в яких виявлено 41 та 49 значень температур. Можна стверджувати, що розкид температур від $-1,9$ до $4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ становить 47 % від загальної кількості значень температури при туманах в Херсоні. Мінімальні і максимальні значення даного розподілу температури становлять всього 2 випадки, при

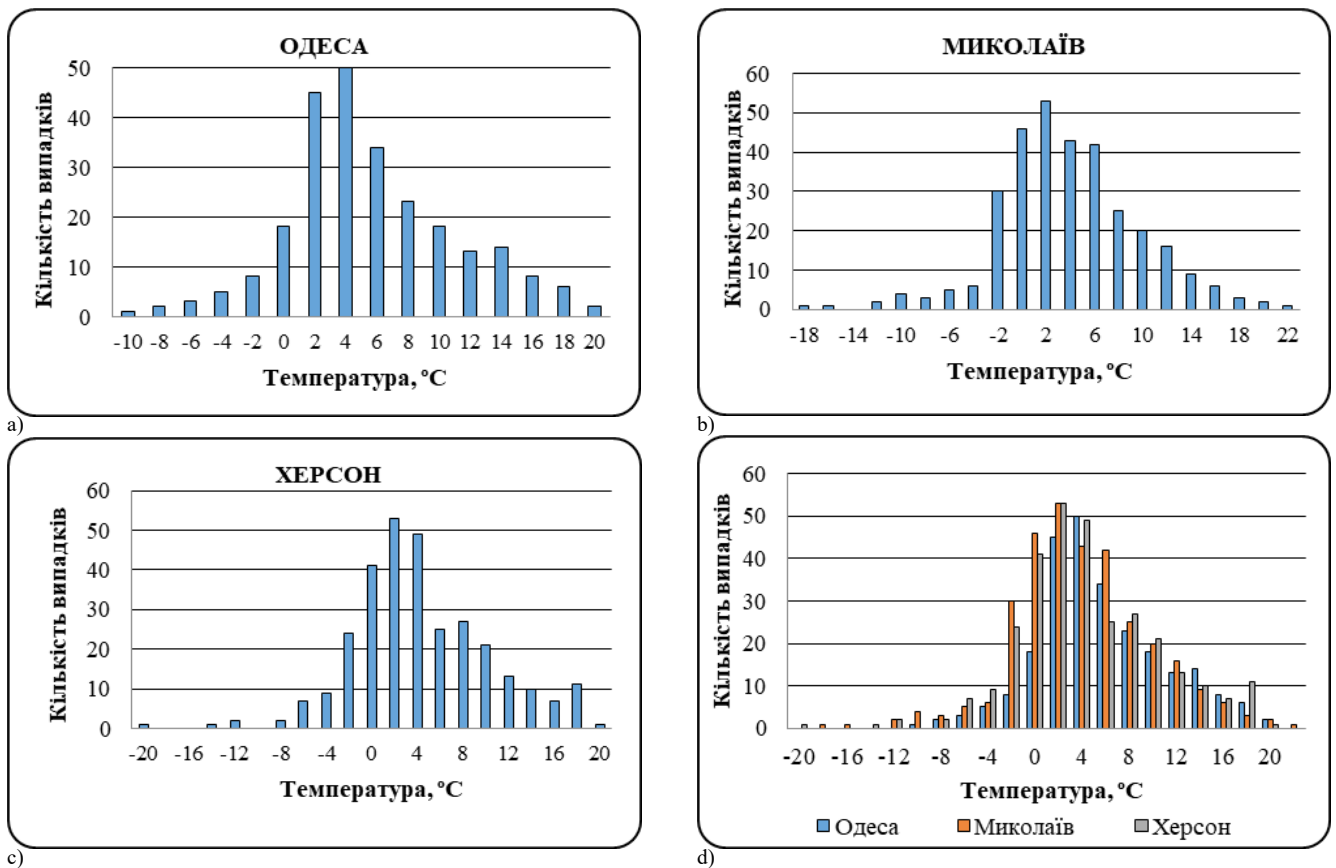


Рис. 1. Гістограми розподілу температури повітря при туманах на півдні України за період 2011-2020 рр.: а – Одеса, б – Миколаїв, в – Херсон, г – південь України.

Fig. 1. Histograms of air temperature distribution during fogs in the southern part of Ukraine for the period of 2011-2020 yrs.: а – Odesa, б – Mykolaiv, в – Kherson, г – the southern part of Ukraine.

яких відбулося туманоутворення. При температурах від $-19,9$ до $-16,0$ °C та при $-11,9$ до $-10,0$ °C виникнення туманів на станції не виявлено. Також слід відмітити, що при від'ємних температурах тумани в Херсоні утворюються в 27 % випадків.

На рис. 1d представлено межі зміни температури повітря при процесах туманоутворення на півдні України, а саме на станціях Одеса, Миколаїв, Херсон. З загальної гістограми видно, що має місце суттєва відмінність у мінімумах температур для Херсона, Миколаєва і Одеси. Виникнення туманів в Херсоні і Миколаєві виявлено при температурах $-20,0$ і $-18,0$ °C відповідно на відміну від Одеси, де процеси туманоутворення зафіксовано при мінімальних температурах $-10,0$ °C. Максимальні температури процесів формування даного явища в Одесі і Херсоні входять в градацію з максимумом $20,0$ °C, а для Миколаєва цей показник становить $22,0$ °C. На станціях Миколаїв і Херсон максимальна кількість становить 53 випадки і фіксується в градації $0,1-2,0$ °C. Для Одеси максимум значень температури становить 50 випадків і виявлено його в більш теплій градації, тобто від $2,1$ до $4,0$ °C. Можна зробити висновок, що в Одесі процеси утворення туманів відбуваються при більш високих температурах (особливо у від'ємній частині шкали), ніж в Миколаєві і Херсоні.

3.2. Відносна вологість повітря

Наступною мікрофізичною характеристикою туманів, що було проаналізовано в ході виконання роботи,

є відносна вологість повітря. На рис. 2 наведено результати аналізу вологісного режиму на окремих станціях і на півдні України. З рис. 2a видно, що на станції Одеса значення відносної вологості повітря при процесах туманоутворення коливаються в межах 94 до 100 %. Максимум зафіксовано для вологості 100 % – це 206 випадків, що становить більше ніж 82 % від загальної кількості випадків. В градації 97-99 % зафіксовано 29 випадків, а найменшу кількість значень вологості припадає на градацію 94-96 % – 15 випадків.

На станції Миколаїв значення відносної вологості змінюються в межах від 85 до 100 % (рис. 2b). Як і на станції Одеса, в Миколаєві найбільшу кількість випадків виявлено для значення вологості 100 %. Цей максимум становить 304 випадки, що відповідає 96 % загальної кількості випадків. В градації вологості 97-99 % виявлено 8 випадків, в градації 94-96 % – 4, у градаціях 91-93 і 85-87 % – по одному значенню, а при відносній вологості від 88 до 90 % в Миколаєві в період з 2011 до 2020 рр. тумани взагалі не утворювалися.

На рис. 2c наведено інформацію щодо змін вологісного режиму на станції Херсон. Видно з рисунку, що процеси туманоутворення в Херсоні відбуваються при мінімальній вологості повітря 88 %, в градації від 88 до 90 % виявлено тільки один випадок виникнення туману. При вологості від 91 до 96 % процеси утворення туману не відбуваються. В градації 97-99 % зафіксовано 15 випадків. Максимум випадків (288) характеризується максимальною вологістю, що становить 95 % від загального показника.

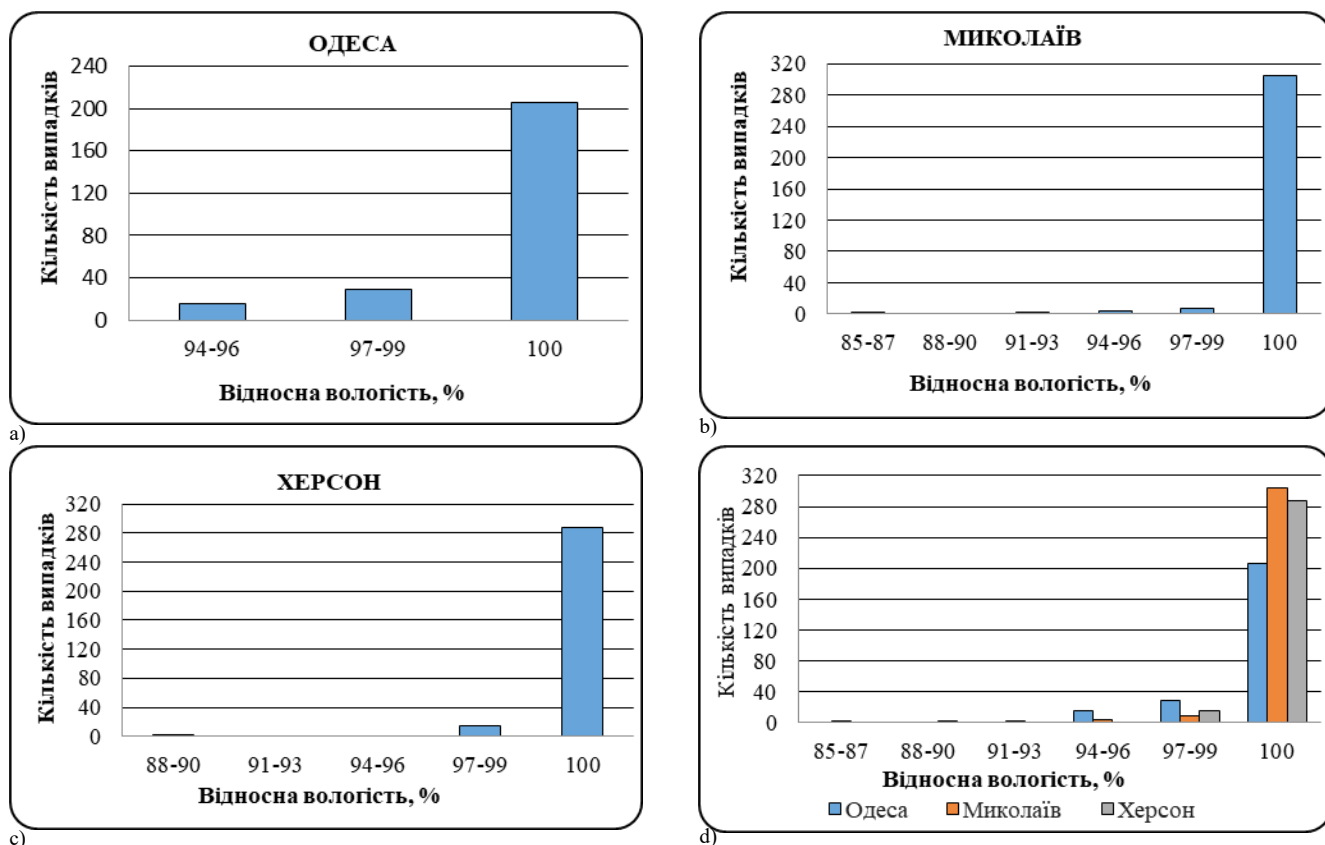


Рис. 2. Гістограми розподілу відносної вологості повітря при туманах на півдні України за період 2011-2020 рр.: а – Одеса, б – Миколаїв, в – Херсон, г – південь України.

Fig. 2. Histograms of the distribution of relative air humidity during fogs in the southern part of Ukraine for the period of 2011-2020 yrs.: a – Odessa, b – Mykolaiv, c – Kherson, d – the southern part of Ukraine.

На рис. 2d представлено гістограму коливань відносної вологості повітря при процесах утворення туманів на півдні України за період 2011-2020 рр. Найбільша кількість туманів на півдні України утворюється при відносній вологості 100 %. При значеннях вологості від 97 до 99 % також у всіх досліджених пунктах виникають тумани, хоча їх кількісні показники суттєво менші, ніж для попередньої вологості. Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що в Одесі процеси туманоутворення відбуваються при більшій вологості повітря (починаючи з 96 %), ніж в Миколаєві і Херсоні, де тумани було зафіксовано уже при вологості 85 і 88 % відповідно.

3.3. Видимість

Суттєвою відмінністю туманів від явищ, таких як серпанок чи імла (котрі погіршують видимість), є значення вологості і показник видимості. Розподіл відносної вологості при туманах на півдні України розглянуто у попередньому підрозділі. Наразі проведемо аналіз зміни метеорологічної дальності видимості при цьому явищі в досліджуваному регіоні. На рис. 3 наведено розподіл видимості на окремих станціях і зміни видимості в цілому по півдню України.

Як відомо, при туманах дальність видимості коливається від 1 км і менше. З рис. 3а видно, що розподіл видимості в Одесі має певний коливальний характер. Найбільшу кількість випадків зафіксовано при показниках видимості 0,2 і 0,3 км, що становить 41 епізод і для першої, і для другої відстані. Також суттєві кількісні

показники має видимість 0,8 км і 0,1 км, які складають 37 і 32 випадки відповідно. Цікавим є факт, що видимість 0,5 км має найменшу кількість – всього 3 випадки за період дослідження. Якщо розглядати зміни видимості у відповідності до інтенсивності туманів, то сильні тумани виявлено в 13 %, помірні – в 45 %, слабкі – в 42 % випадків. Тож, можемо зробити висновок, що для Одеси характерними є тумани помірної і слабкої інтенсивності.

На рис. 3б представлено розподіл видимості при туманах на станції Миколаїв. За результатами аналізу можемо робити висновок, що максимум випадків спостерігається для видимості 0,2 км – це 115 епізодів, що становить 36 % від загальної кількості випадків. Видимість 0,5 км також має велику кількість випадків у порівнянні з іншими показниками видимості. Це 60 випадків, що складає 19 % від загальної кількості. Мінімум випадків зафіксовано для видимості 0,7 км – 7 епізодів, що дорівнює 2 % від загалу. Якщо розглядати зміни видимості у відповідності до інтенсивності туманів, то сильні тумани виявлено в 7 %, помірні – в 67 %, слабкі – в 26 % випадків. Тож, можемо зробити висновок, що для Миколаєва характерними є тумани помірної інтенсивності.

Розподіл дальності видимості на станції Херсон за період дослідження 10 років наведено на рис. 3с. Тут найбільшу кількість випадків виявлено для показника видимості 0,5 км. Ця характеристика суттєво відрізняється від інших показників видимості і дорівнює 131 випадок, що становить 43 % від загальної кількості. Другий максимум набагато менший, його зафіксовано для видимості

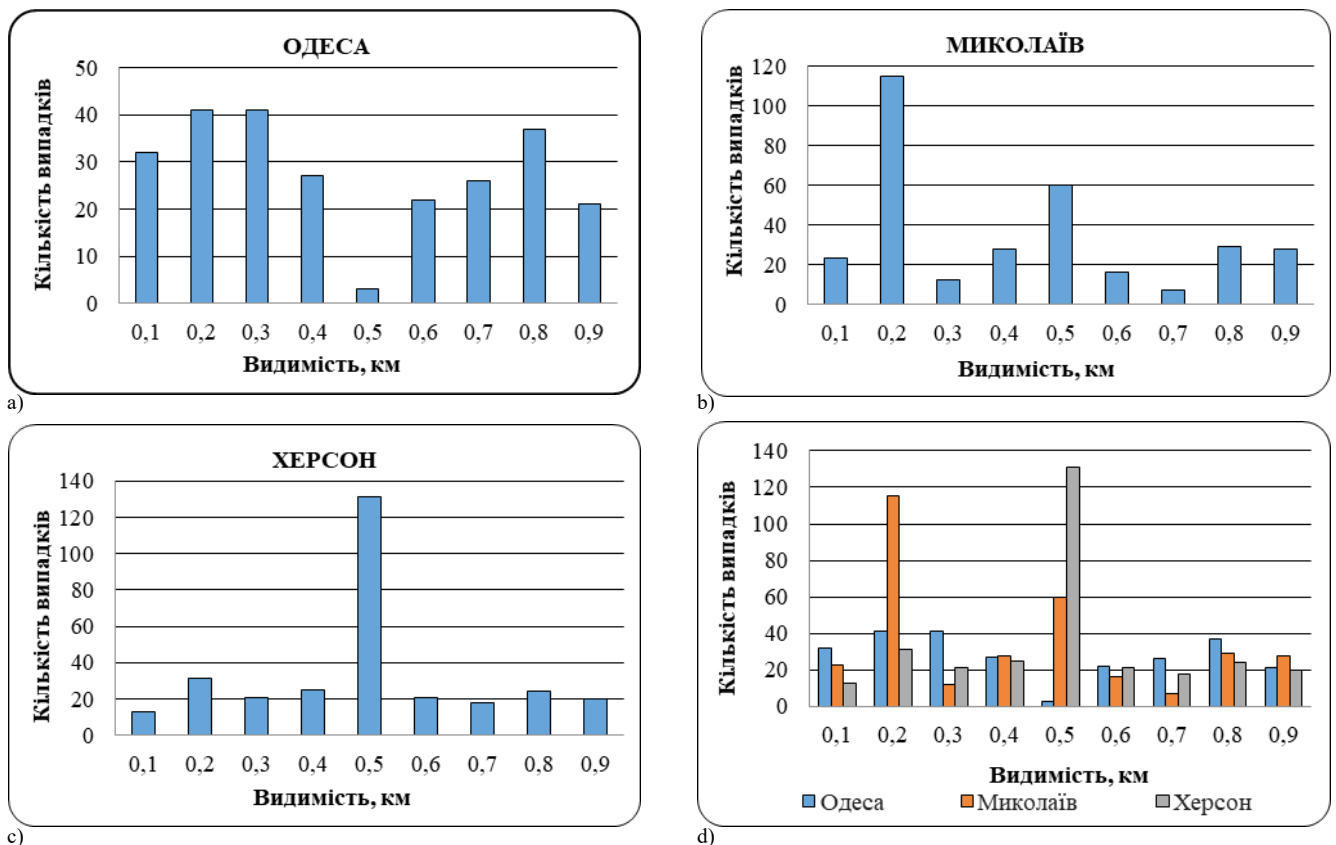


Рис. 3. Гістограми розподілу видимості при туманах на півдні України за період 2011-2020 рр.: а – Одеса, б – Миколаїв, в – Херсон, г – південь України.

Fig. 3. Histograms of visibility distribution during fog in the southern part of Ukraine for the period of 2011-2020 yrs.: а – Odesa, б – Mykolaiv, в – Kherson, г – the southern part of Ukraine.

0,2 км – це 31 епізод, що дорівнює трохи більше 10 % від загальних даних по цій станції. Найменшу кількість спостерігаємо для видимості 0,1 км – 13 випадків, що становить 4 % від загальної кількості. При аналізі зміни видимості у відповідності до інтенсивності туманів зроблено наступні висновки: сильні тумани виявлено в 4 %, помірні – в 68 %, а слабкі – в 28 % випадків. Отже, можемо зробити висновок, що для Херсона, як і для Миколаєва, характерними є тумани помірної інтенсивності.

На рис. 3д представлено просторовий розподіл зміни видимості на досліджуваних станціях півдня України за період дослідження 2011-2020 рр. В просторовому розподілі видимості при туманах виявлено суттєві розбіжності між показниками видимості для досліджуваних станцій. Наприклад, видимість 0,5 км має мінімум випадків в Одесі (3), для Миколаєва – це другий максимум, що складає 60 епізодів, а для Херсона кількість випадків становить 131, що є максимумом, який однозначно відрізняється від інших показників видимості для цієї станції. Також необхідно відмітити, що розкид кількості випадків фіксуємо найменший в Одесі – від 3 (0,5 км) до 41 (0,2 і 0,3 км), в Миколаєві – від 7 (0,7 км) до 115 (0,2 км), і в Херсоні – від 13 (0,1 км) до 131 (0,5 км). При цьому звертаємо увагу на певну схожість у показниках видимості при різній інтенсивності туманів. Найменший ваговий коефіцієнт мають сильні тумани на всіх станціях аналізу. Помірні тумани мають

найбільший відсоток від загальної кількості туманів на досліджуваних станціях, хоча в Миколаєві (67 %) і Херсоні (68 %) цей показник на третину більший, ніж в Одесі (45%). Слабкі тумани мають найбільшу повторюваність в Одесі – це 42 %, на відміну від Миколаєва і Херсона, де слабка інтенсивність туманів становить 28 і 26 % відповідно.

Аналіз просторового розподілу видимості на території трьох станцій півдня свідчить про суттєві відмінності її режиму в Одесі у порівнянні з її змінами в Миколаєві і Херсоні.

3.4. Вітровий режим

Розглянемо вітровий режим при процесах утворення туманів на досліджуваній території. Як відомо, вітровий режим характеризується швидкістю і напрямком вітру. Проаналізуємо спочатку режим швидкостей вітру. На рис. 4 представлено гістограми розподілу швидкості вітру окремо для кожної станції і загальні показники для досліджуваної території.

На станції Одеса (рис. 4а) швидкість вітру при туманах коливається в межах від 0 до 11 м/с. Слід відзначити, що великі швидкості вітру при процесах туманоутворення фіксуються досить рідко: в градації 11-12 м/с – 1 випадок (0,4 % від загальної кількості випадків), в градації 9-10 м/с – 2 випадки (0,8 %), в градації 7-8 м/с – 4 випадки (1,6 %). Найбільшу повторюваність в Одесі при туманах мають швидкості вітру в градації 1-2 м/с –

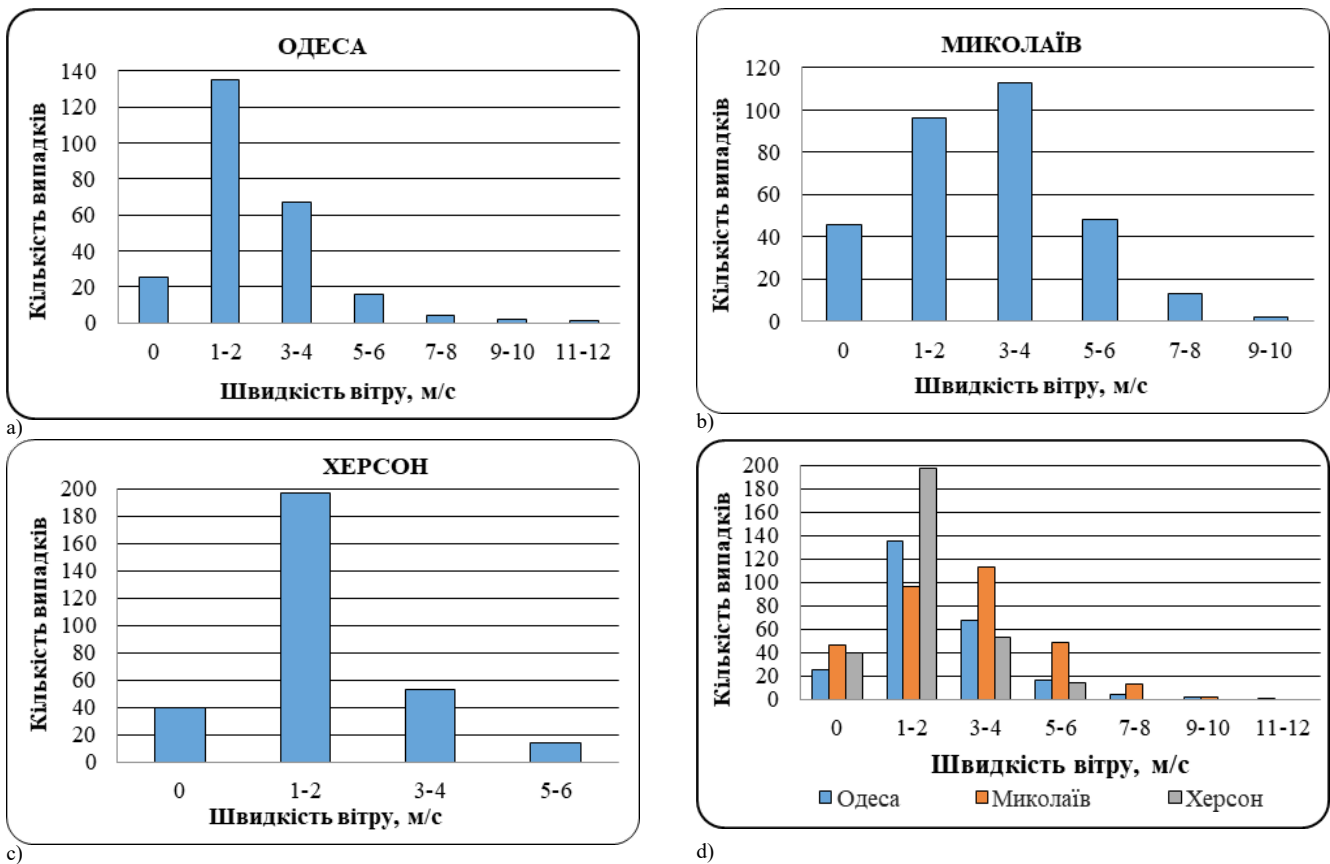


Рис. 4. Гістограми розподілу швидкості вітру при туманах на півдні України за період 2011-2020 рр.: а – Одеса, б – Миколаїв, в – Херсон, г – південь України.
 Fig. 4. Histograms of wind speed distribution during fogs in the southern part of Ukraine for the period 2011-2020: a – Odesa, b – Mykolaiv, c – Kherson, d – the southern part of Ukraine.

54 % (135 випадків). Другий максимум повторюваності виявлено для градації 3–4 м/с – 27 % (67 випадків). Штиль при туманах зафіксовано в 25 випадках, що становить 10 % від загальної кількості випадків. Градація вітру 5–6 м/с має повторюваність 6,4 %, що становить 16 випадків.

На станції Миколаїв (рис. 4b) швидкість вітру при туманоутворенні змінюється в межах від 0 до 10 м/с. Найбільшу повторюваність при туманах мають швидкості вітру в градації 3–4 м/с – 36 % (113 випадків). Другий максимум повторюваності виявлено для градації 1–2 м/с – 30 % (96 випадків). Градація вітру 5–6 м/с фіксується в 48 випадках, що становить 15 % від загальної кількості випадків. Майже стільки епізодів виявлено для штиля – 46 випадків. Слід відзначити, що великі швидкості вітру при процесах туманоутворення фіксуються досить рідко: в градації 9–10 м/с – 2 випадки (0,6 %), в градації 7–8 м/с – 13 випадків, що становить 4 % від загальної кількості.

На станції Херсон (рис. 4c) швидкість вітру при процесах утворення туманів коливається в межах від 0 до 6 м/с. Найбільшу повторюваність в Херсоні при туманах мають швидкості вітру в градації 1–2 м/с – 65 % (197 випадків). Другий максимум повторюваності виявлено для градації 3–4 м/с – 17 % (53 випадки). Штиль при туманах зафіксовано в 40 випадках, що становить 13 % від загальної кількості випадків. Градація вітру 5–6 м/с має повторюваність 4,6 %, що становить 14 випадків.

Розподіл швидкості вітру дає змогу зробити висновок, що найбільшу повторюваність при утворенні туманів на півдні України (рис. 4d) мають швидкості вітру 1–2 м/с, що становить майже половину випадків – 49 %. Другий максимум повторюваності зафіксовано для градації вітру 3–4 м/с – 27 % від загальної кількості випадків. На штилі припадає 13 % випадків утворення туманів на досліджуваній території за період 2011–2020 рр. Максимальні швидкості вітру при туманах виявлено в Одесі – це 11 м/с. Слід відмітити, що такі великі швидкості вітру при утвореннях туманів зафіксовано тільки в Одесі. В Миколаєві максимальні показники швидкості визначено в градації 9–10 м/с, а в Херсоні, взагалі, максимуми спостерігалися в градації 5–6 м/с.

Друга характеристика вітрового режиму – це напрямок вітру. В роботі проведено аналіз напрямків вітру окремо для кожної станції і загалом для території дослідження і побудовано рози вітрів (рис. 5).

Аналіз напрямків вітру при процесах туманоутворення в Одесі (рис. 4a) показує, що найбільшу повторюваність має південний напрямок вітру – це 36 випадків, що становить 14,4 % від загальної кількості. Наступний максимум у 19 випадків припадає на північно-східний напрямок (7,6 %). Північний і східний напрямки вітру при утворенні туману спостерігаються у 18 випадках кожний і по 17 випадків припадає на ПнПнС, ПдПдЗ і ПдЗ. Мінімальна кількість характерна для напрямків 3 і ЗПдЗ (по 7 випадків). Необхідно відмітити,

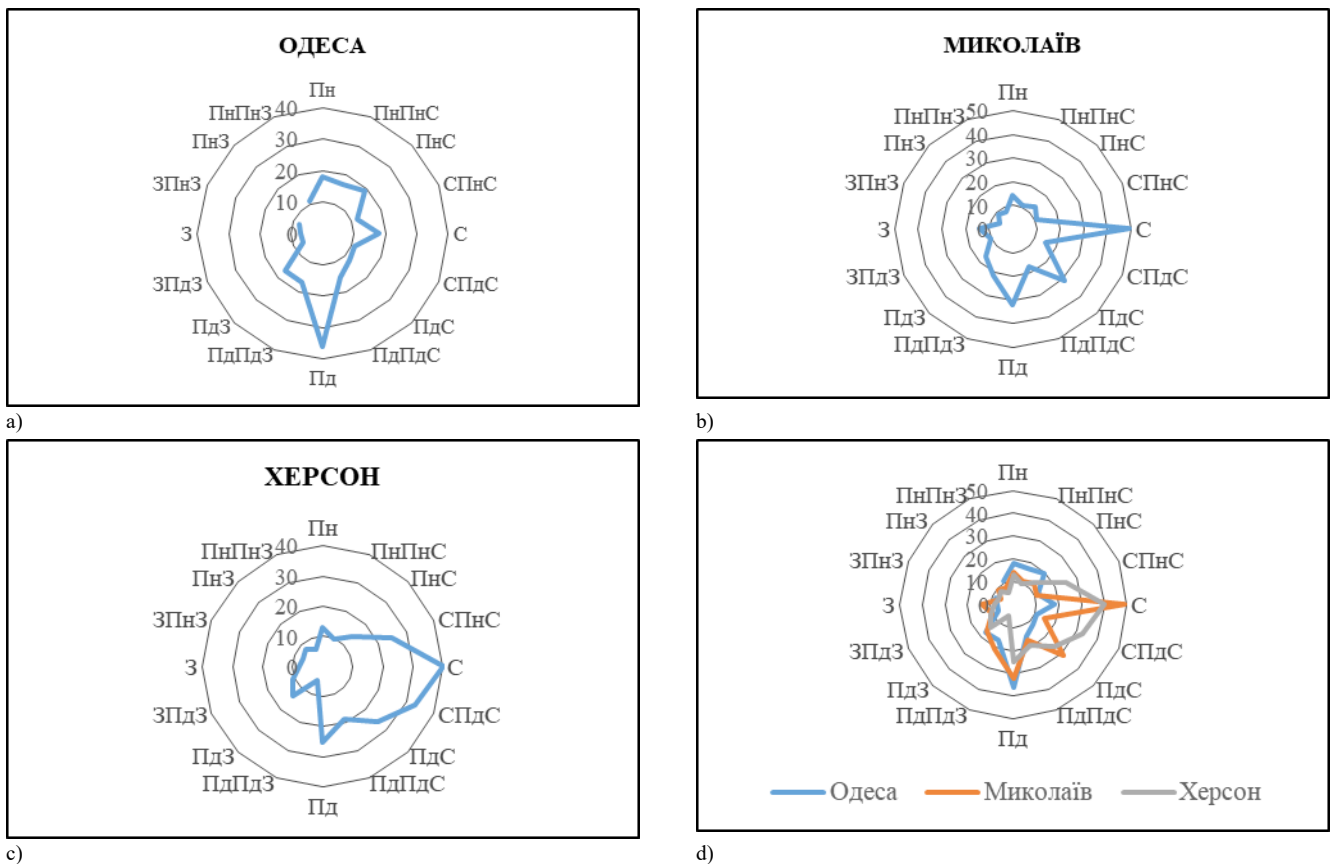


Рис. 5. Рози вітрів при туманах на півдні України за період 2011–2020 рр.: а – Одеса, б – Миколаїв, в – Херсон, д – південь України.
Fig. 5. Wind roses during fog in the southern part of Ukraine for the period of 2011–2020 yrs.: а – Odesa, б – Mykolaiv, в – Kherson, д – the southern part of Ukraine.

що при північно-західному напрямку вітру в Одесі за період дослідження утворення туманів не виявлено.

На рис. 4b представлено розу вітрів для станції Миколаїв при утворенні туманів. Тут з повторюваністю 15,4% (49 випадків) панує східний напрямок вітру. Другий максимум ділять напрямки південний (32 випадки – 10 %) і південно-східний (31 випадок – 9,7 %). Невеликі повторюваності зафіксовано для ПнЗ – 2,8 % (9 випадків), ПнПнЗ – 2,5 % (8 випадків) і мінімум визначено для напрямку ЗПнЗ – 1,9 % (6 випадків).

Для станції Херсон наведено розу вітрів на рис. 4c. Тут маємо пануючий напрямок вітру східний з повторюваністю 13 %, що становить 40 випадків. Другий максимум у кількості 33 випадки зафіксовано для напрямку СПдС, що становить майже 11 % від загальної кількості випадків. Суттєву повторюваність мають напрямки ПдС – 8,6 % (26 випадків), СПнС і Пд – по 8,2 % (по 25 випадків). Невеликі повторюваності виявлено для напрямку вітру ЗПнЗ – 2,3 % (7 випадків), ПнПнЗ – 2 % (6 випадків) і мінімумом характеризується напрямком ПдПдЗ – 1,6 % (5 випадків).

На рис. 4d представлено розу вітрів при туманах, що утворилися на півдні України за період 2011–2020 рр. З рози вітрів видно, що найбільшу повторюваність має східний вітер і пануючим він є для Миколаєва і Херсона. Для Одеси пануючим вітром виявлено південний напрямок, який має велику повторюваність і для інших станцій. Загалом, можна зробити висновок, що при утворенні туманів на півдні України переважними є вітри квадранту схід-південь.

4. Висновки

В статті проведено аналіз метеорологічних умов утворення туманів – температурно-вологісного і вітрового режимів, видимості при різних видах туманів на території півдня України за період 2011–2020 рр. В температурному режимі має місце суттєва відмінність у мінімумах температур для Херсона, Миколаєва і Одеси. Виникнення туманів в Херсоні і Миколаєві виявлено при температурах -20,0 і -18,0 °С відповідно на відміну від Одеси, де процеси туманоутворення зафіксовано при мінімальних температурах -10,0 °С. Максимальні температури процесів формування даного явища в Одесі і Херсоні входять в градацію з максимумом 20,0 °С, а для Миколаєва цей показник становить 22,0 °С. На станціях Миколаїв і Херсон максимальна кількість становить 53 випадки і фіксується в градації 0,1–2,0 °С. Для Одеси максимум значень температури становить 50 випадків і виявлено його в більш «теплій» градації, тобто від 2,1 до 4,0 °С. Можна зробити висновок, що в Одесі процеси утворення туманів відбуваються при більш високих температурах при їх від'ємних значеннях, аніж в Миколаєві і Херсоні.


Аналіз вологісного режиму свідчить, що найбільша кількість туманів на півдні України утворюється при відносній вологості 100 %. При значеннях вологості від 97 до 99 % також у всіх досліджених пунктах

виникають тумани, хоча їх кількісні показники суттєво менші, ніж для попередньої градації. В Одесі процеси туманоутворення відбуваються при більшій вологості повітря (починаючи з 96 %), ніж в Миколаєві і Херсоні, де тумани було зафіксовано уже при вологості 85 і 88 % відповідно.

Аналіз просторового розподілу видимості на території трьох станцій півдня свідчить про суттєві відмінності її режиму в Одесі у порівнянні з її змінами в Миколаєві і Херсоні.

Розподіл швидкості вітру дає змогу зробити висновок, що найбільшу повторюваність при утворенні туманів на півдні України мають швидкості вітру 1–2 м/с, що становить майже половину випадків – 49 %. Другий максимум повторюваності зафіксовано для градації вітру 3–4 м/с – 27 % від загальної кількості випадків. На штилі припадає 13 % випадків утворення туманів на досліджуваній території за період 2011–2020 рр. Аналіз роз вітрів показує, що найбільшу повторюваність має східний напрямок вітру і пануючим він є для Миколаєва і Херсона. Для Одеси пануючим вітром виявлено південний напрямок, який має велику повторюваність і для інших станцій. Загалом, можна зробити висновок, що при утворенні туманів на півдні України переважними є вітри квадранту схід-південь.

ORCID iD

Larysa V. Nedostrelava  <https://orcid.org/0000-0001-8532-0481>

Список посилань

- Vrublevska, O. O. & Katerusha, H. P. (2012). *Klimat Ukrayiny ta prykladni aspekty yoho vykorystannya* [The climate of Ukraine and applied aspects of its use]. Odesa: Publ. TES, 180. [Врублевська О. О., Катеруша Г. П. *Клімат України та прикладні аспекти його використання. Навчальний посібник*. Одеса: ТЭС, 180]. (In Ukrainian).
- Ivus H. P. (2007). *Praktykum zi spetsializovanykh prohnoziv pohody* [Workshop on specialized weather forecasts]. Odesa: Ekolohiya, 322. [Івус Г. П. *Практикум зі спеціалізованих прогнозів погоди*. Одеса: Екологія, 322]. (In Ukrainian).
- Ivus H. P. (2010). *Spetsializovani prohnozy pohody* [Specialized weather forecasts]. Odesa, 407. (In Ukrainian). [Івус Г. П. *Спеціалізовані прогнози погоди*. Одеса, 407].
- Lipinskyi, V. M., Dyachuk, V. O., Babichenko, V. M. (2003). *Klimat Ukrayiny* [Climate of Ukraine]. Kyiv, Ukraine: Publ. Rayevskoho, 343. [Клімат України / За ред. Ліпінського В. М., Дячука В. А., Бабіченко В. М. Київ: Видавництво Раєвського, 343]. (In Ukrainian).
- Nazhmutdinova O. M. (2016). *Protsesey tumanoutvorenniya na AMSTS Mykolayiv* [Processes of fog formation at the Mykolaiv AMSC]. *Fizychna heohrafiya i heomorfolohiya*, 3(83), 88–94. [Назмудінова О. М. Процеси туманоутворення на АМСЦ Миколаїв. *Фізична географія і геоморфологія*, 3(83), 88–94. ISSN 0868-6939]. (In Ukrainian).
- Nastanova hidrometeorolohichnym stantsiyam ta postam. Vypusk 3. Chastyna I. *Meteorolohichni sposterezheniya na stantsiyakh* [Installation of hydrometeorological stations and posts. Issue 3. Part I. Meteorological warnings at stations] (2011). UkrNDHMI,

TSHO. Kyiv, Ukraine: Derzhavna hidrometeorolohichna sluzhba, 280. [*Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Випуск 3. Частина I. Метеорологічні спостереження на станціях*. Державна гідрометеорологічна служба. Київ, 280]. (In Ukrainian).

Nedostrelova L., Chalenko V. (2021). Bahatorichnyy rozpodil dnev z tumanamy na pivdni Ukrayiny. [Long-term distribution of the number of days with fog in the South of Ukraine]. *Polish Science Journal*. Issue 11(44). Warsaw: Sp. z o. o. "iScience", 56-61. [Недострелова Л., Чаленко В. Багаторічний розподіл кількості днів з туманами на півдні України. *Polish Science Journal*. Issue 11(44). Warsaw: Sp. z o. o. "iScience", 56-61. ISBN 978-83-949403-4-8]. (In Ukrainian).

Nedostrelova L. V., Chalenko V. V. (2021). Rozpodil kilkosti dnev z tumanamy po sezonakh na pivdni Ukrayiny [Distribution of the number of days with fog by season in southern Ukraine]. *Visnyk HMTS SHAM*, № 1(25), 3-10. [Недострелова Л. В., Чаленко

В. В. Розподіл кількості днів з туманами по сезонах на півдні України. *Вісник ГМЦ ШАМ*, № 1(25), 3-10]. (In Ukrainian).

Nedostrelova L. V., Chumachenko V. V., Chalenko V. V. (2021). Suchasni tendentsiyi u formuvanni nebezpechnykh yavlyshch na Pivdnni Ukrayiny [Modern trends in the formation of dangerous phenomena in the South of Ukraine]. *Druhyy Vseukrayinskyy hidrometeorolohichnyy zvyid: tezy dopovidey*. Odesa: Odeskyy derzhavnyy ekolohichnyy universytet. 7-9 zhovtnya 2021. 174-175. [Недострелова Л. В., Чумаченко В. В., Чаленко В. В. Сучасні тенденції у формуванні небезпечних явищ на Півдні України. *Другий Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд: тези доповідей*. Одеса: Одеський державний екологічний університет. 7-9 жовтня 2021, 174-175. ISBN 978-966-186-163-2]. (In Ukrainian).

Shkolnyy Ye. P. (2007)s. Fyzyka atmosfery [*Physics of the atmosphere*]. Kyiv: KNT, 508. [Школьнік Є. П. *Фізика атмосфери*. Київ: КНТ, 508]. (In Ukrainian).