

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут  
Кафедра метеорології та кліматології

**Бакалаврська кваліфікаційна робота**

на тему: Дослідження часової мінливості кількості днів з туманами в Україні

Виконав студент IV року навчання  
групи МКА-41  
спеціальності 103 Науки про Землю,  
Фасій Вероніка Володимирівна

Керівник к.геогр.н., доцент  
Недострелова Лариса Василівна

Рецензент к.геогр.н., доцент  
Барсукова Олена Анатоліївна

Одеса 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Гідрометеорологічний інститут  
Кафедра Метеорології та кліматології  
Рівень вищої освіти бакалавр  
Спеціальність 103 «Науки про Землю»  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри  
метеорології та кліматології

Прокоф'єв О.М  
“ 27 ” квітня 2020 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Фасій Вероніці Володимирівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження часової мінливості кількості днів з туманами в Україні

керівник роботи Недострелова Лариса Василівна, кандидат географічних наук, доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 17 ” квітня 2020 року № 40-с

2. Строк подання студентом роботи 02 червня 2020р.

3. Вихідні дані до роботи данні щоденних спостережень за метеорологічними явищами на метеостанціях України за період 2009-2018 роки

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
визначити кількість днів з туманами на метеорологічних станціях різних регіонів України: Одеса, Київ, Харків, Львів, Вінниця за період 2009-2018 роки, зробити аналіз річного й сезонного розподілу кількості днів з туманами на визначених станціях, дослідити просторовий розподіл метеорологічного явища на території України.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |

7. Дата видачі завдання 27 квітня 2020р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п     | Назва етапів кваліфікаційної роботи                                                            | Термін виконання етапів роботи | Оцінка виконання етапу |                       |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------|-----------------------|
|           |                                                                                                |                                | у %                    | за 4-х бальною шкалою |
| <b>1</b>  | Вивчення літературних джерел за темою магістерської роботи                                     | 27.04-30.04. 2020 р.           | 100                    | відмінно              |
| <b>2</b>  | Підготовка даних метеорологічних спостережень до обробки                                       | 01.05-05.05. 2020 р.           | 100                    | відмінно              |
| <b>3</b>  | Обробка даних метеорологічних спостережень за допомогою графічно-розрахункового пакету «EXCEL» | 05.05-07.05. 2020 р.           | 100                    | відмінно              |
| <b>4</b>  | Отримання та аналіз річного і сезонного ходу кількості днів з туманами у пунктах дослідження   | 08.05-13.05. 2020 р.           | 100                    | відмінно              |
| <b>5</b>  | Рубіжна атестація                                                                              | 13.05-18.05. 2020 р.           | 100                    | відмінно              |
| <b>6</b>  | Аналіз просторового розподілу кількості днів з туманами на території України                   | 18.05-24.05. 2020 р.           | 100                    | відмінно              |
| <b>7</b>  | Оформлення висновків дослідження                                                               | 25.05-28.05. 2020 р.           | 100                    | відмінно              |
| <b>8</b>  | Оформлення магістерської роботи                                                                | 29.05-05.06. 2020 р.           | 100                    | відмінно              |
| <b>9</b>  | Підготовка комп'ютерної презентації та доповіді до захисту магістерської роботи                | 06.06-10.06. 2020 р.           | 100                    | відмінно              |
| <b>10</b> | Попередній захист магістерської роботи                                                         | 11.06. 2020р.                  | 100                    | відмінно              |
|           | <b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>           |                                | <b>100</b>             | <b>відмінно</b>       |

Студент

( підпис )

**Фасій В.В.**

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

( підпис )

**Недострелова Л.В.**

(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                             | 4  |
| 1 ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ, ЛЬОДУ І ВОДЯНОЇ ПАРИ.....                  | 6  |
| 2 КОНДЕНСАЦІЯ І СУБЛІМАЦІЯ ВОДЯНОЇ ПАРИ.....                           | 12 |
| 2.1 Ядра конденсації.....                                              | 12 |
| 2.2 Поняття про рівноважний і метастабільний стан.....                 | 14 |
| 2.3 Утворення твердої фази.....                                        | 15 |
| 3 ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУМАНІВ.....                                 | 18 |
| 3.1 Тумани охолодження.....                                            | 20 |
| 3.1.1 Адвективні тумани.....                                           | 20 |
| 3.1.2 Радіаційні тумани.....                                           | 24 |
| 3.2 Тумани змішування.....                                             | 25 |
| 3.3 Тумани випаровування.....                                          | 27 |
| 4 АНАЛІЗ ЧАСОВОЇ МІНЛИВОСТІ КІЛЬКОСТІ ДНІВ З<br>ТУМАНАМИ.....          | 29 |
| 4.1 Річний хід кількості днів з туманами.....                          | 29 |
| 4.2 Сезонні коливання кількості днів з туманами.....                   | 38 |
| 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ КІЛЬКОСТІ<br>ДНІВ З ТУМАНАМИ..... | 44 |
| ВИСНОВКИ.....                                                          | 55 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....                                                 | 57 |

## ВСТУП

З точки зору погоди, вода є найважливішою складовою частиною атмосфери, оскільки випаровування і конденсація супроводжуються поглинанням і виділенням великої кількості енергії, від якої залежить багато видів рухів у атмосфері, які впливають на атмосферні процеси, а тому і на погоду. Загальна кількість опадів, які випадають з атмосфери за рік, дорівнює приблизно  $5 \cdot 10^{14}$  тон, що в 40 разів перебільшує загальний вміст води в атмосфері. Ця цифра свідчить про інтенсивність вологообміну між земною поверхнею і атмосферою.

Вода – дивовижна хімічна сполука. Вона є єдиною речовиною, яка існує в атмосфері водночас у трьох агрегатних станах: твердому (лід), рідкому (вода) і газоподібному (пара). На поверхні Землі (без підземних вод) знаходиться  $1,3 \cdot 10^{18}$  тон води, з них 99,2% припадає на Світовий океан. В атмосфері кількість води у вигляді пари, крапель і кристалів хмар становить  $1,3 \cdot 10^{13}$  тон, з яких 95 % припадає на пару.

Туман – це атмосферне явище, що полягає у скупченні продуктів конденсації водяної пари (дрібних крапель води, кристалів льоду або їхньої суміші), застиглих у повітрі безпосередньо над земною поверхнею, у приземному шарі атмосфери. Туман викликає помутніння повітря, що зменшує горизонтальну видимість до 1 км і менше. Безперервна тривалість туманів становить зазвичай від кількох годин (а іноді півгодини-годину) до декількох діб, особливо в холодний період року. В Україні зустрічаються густі тумани. Найчастіше їх можна зустріти на Донецькому кряжі. Одного разу там було зафіксовано випадок, коли туман безперервно утримувався впродовж 108 годин.

Тумани відносяться до числа явищ погоди, що є особливо несприятливими для руху всіх видів транспорту. Наявність туману сильно ускладнює чи робить неможливими зліт та посадку літаків, ускладнює роботу повітряного та

автомобільного транспорту, збільшує небезпеку руху на дорогах. Тому дослідження кількості днів з туманами, їх повторюваності, умов їх утворення було і є досить актуальним.

Метою роботи є дослідження режиму туманів на території України за період 2009-2018рр. Для досягнення мети було обрано обласні центри в різних регіонах країни: південний – станція Одеса, північний – станція Київ, східний – станція Харків, західний – станція Львів і центральний – станція Вінниця. В якості вихідної інформації використовувалися дані щоденних спостережень за атмосферними явищами у визначених пунктах спостережень.

## 1 ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ, ЛЬОДУ І ВОДЯНОЇ ПАРИ

Водяна пара на відміну від інших газів, що складають атмосферу, при температурах повітря, які спостерігаються в атмосфері, може змінювати свій агрегатний стан, переходячи у рідкий (воду), чи твердий стан (лід). Все це різні фази води, тобто фізично однорідні частини системи, які здатні переходити із одного стану в інший [1-4]. Для кожного газу існує критична температура  $T_{кр}$ . Якщо  $T > T_{кр}$ , то газ не може перейти в інший фазовий стан, незважаючи на те, при якому атмосферному тиску він перебуває. Для водяної пари  $t_{кр} = 374^{\circ} C$ . Звичайно, що в атмосфері  $T < T_{кр}$ . Ця властивість водяної пари визначає специфічні характеристики різних фаз води. Основні з них полягають у тому, що:

- майже для всіх речовин при зменшенні температури густина зростає, у тому числі й при твердненні. Вода має найбільшу густину  $1 \text{ г/см}^3$  при  $t = 4^{\circ} C$ . При зміні температури в той чи інший бік густина води зменшується. Замерзання води приводить до стрибкоподібного зменшення густини. При  $t = 0^{\circ} C$  густина льоду  $\rho_{л} = 0,91 \text{ г/см}^3$ ;

- теплоємність рідких речовин при їх замерзанні змінюються незначно. Для льоду питома теплоємність  $c_{л} = 2114 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$  що складає приблизно половину питомої теплоємності води, яка дорівнює  $c_{в} = 4186,8 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ ;

- температура замерзання та кипіння води значно вища, ніж у інших хімічних сполук, що знаходяться в рідкому стані;

- питома теплота плавлення  $L_{пл} = 324 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ ;  $L = 2500 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ ;

– вода характеризується високою хімічною активністю та розчиною здатністю;

– поверхневий натяг води ( $\sigma = 72,8$  мДж/м при  $t = 20^0 C$ ) більший ніж у інших рідин;

– густина води й льоду при зміні температури змінюються незначно. При розв'язку задач фізики атмосфери їх можна вважати постійними, на відміну від задач фізики океану, де змінення густини води треба обов'язково враховувати;

– питому теплоємність водяної пари можна вважати незалежною від температури ( $c_{9л} = 1386 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ;  $c_{рл} = 1846 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ );

– при безпосередньому переході водяної пари до льоду, тобто при процесі сублімації,  $L_c = 2837 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$  практично не залежить від температури.

Парціальний тиск насиченої водяної пари залежить від температури. Ця залежність визначається рівнянням Клаузіуса-Клапейрона

$$\frac{dE}{dT} = \frac{LE}{R_n T^2}. \quad (1.1)$$

Проінтегруємо рівняння (1.1) у границях від  $T_0, E_0$  до  $T, E$ . Будемо мати:

$$\ln \frac{E}{E_0} = \frac{L}{R_n} \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \quad (1.2)$$

або

$$E = E_0 e^{\frac{L}{R_n} \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right)}. \quad (1.3)$$



При  $T_0 = 273,15\text{ K}$ ,  $E_0 = 6,1078\text{ гПа}$ . Підставивши значення  $L$  та  $R_n$ , після переходу до десяткового логарифму отримаємо:

$$E = E_0 \cdot 10^{\frac{8,61503t}{273,15+t}}, \quad (1.4)$$

Де  $t$  - температура за шкалою Цельсія. Аналогічні формули шляхом заміни  $L$  на  $L_c$  можна отримати і для тиску насичення над поверхнею льоду  $E_L$ :

$$\ln \frac{E_L}{E_0} = \frac{L_c}{R_n} \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \quad (1.5)$$

або

$$E_L = E_0 \cdot 10^{\frac{9,76421t}{273,15+t}}. \quad (1.6)$$

При практичних розрахунках можна використовувати й формулу Магнуса

$$E = E_0 \cdot 10^{\frac{at}{6+t}}, \quad (1.7)$$

яка має таку ж саму структуру, як і формули (1.3) і (1.6), але відрізняється від них чисельними коефіцієнтами. У ній коефіцієнти дорівнюють для води відповідно 7,63 і 241,9, для льоду 9,5 і 265,5 [1].

Графік залежності тиску насичення від температури міститься на рис. 1.1 у точці 0 на графіку, що має координати  $T_0 = 273,16\text{ K}$  ( $t = 0,01\text{ C}$ );  $E_0 = 6,1114\text{ гПа}$ , всі три фази води знаходяться у стані рівноваги. Ця точка носить назву потрійної точки. При додатних температурах, тобто вище температури плавлення, вода може знаходитись лише у рідкому та газоподібному станах. Крім потрійної точки крива  $E = E(t)$  проходить через точку  $T = 373,15\text{ K}$  ( $t = 100^\circ\text{ C}$ ) і  $E = 1013,2\text{ гПа}$  - точку кипіння при нормальному атмосферному тиску та критичну точку  $K$  з координатами:  $T_k = 647,15\text{ K}$  ( $t = 374^\circ\text{ C}$ ) і  $E_k = 221000\text{ гПа}$ .

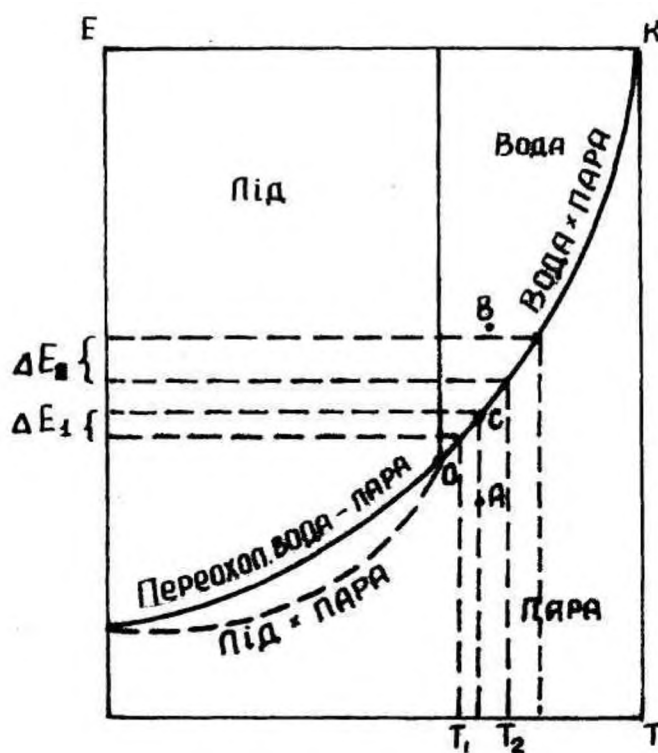


Рисунок 1.1 – Залежність тиску насичення від температури та фазового стану поверхні, що випаровує

Розглянемо точки  $A, B$  і  $C$ , для яких парціальний тиск водяної пари дорівнює відповідно  $e_A$ ,  $e_B$  і  $e_C$ . У точці  $C$ , очевидно, водяна пара і вода знаходяться у рівновазі ( $e_C = E$ ). Тиск пари у точці  $A$  менше тиску насичення ( $e_A < E$ ). За таких умов відбувається випаровування води. Якщо умови постійності температури й тиску водяної пари зберігаються, то випаровування буде продовжуватись до тих пір, доки вода не обернеться у водяну пару. Навпаки, у точці  $B$ , для якої  $e_B > E$ , буде відбуватись конденсація водяної пари.

При температурах, нижчих ніж у потрійній точці, вода може знаходитись як у твердому (лід), так й у рідкому станах. При цьому, стан переохолодженої води може бути досить стійким.

Треба підкреслити, що при від'ємних температурах тиск насичення над поверхнею льоду менший, ніж над поверхнею переохолодженої води, тому що сили зчеплення молекул водяної пари з молекулами води менші від сил зчеплення їх з молекулами льоду. Це приводить до того, що при тій же температурі рівноважний тиск водяної пари над поверхнею переохолодженої води більший, ніж над поверхнею льоду. Область, що розташована між кривими тиску насиченої водяної пари над переохолодженою водою і льодом, відповідає або газоподібному стану, коли в атмосфері є охолоджена вода, або твердому стану, коли в атмосфері є лід.

Однією із характерних властивостей часток твердої або рідкої фаз є поверхневий натяг. На поверхні розділу, наприклад, води і водяної пари є шар молекул, який значно відрізняється за своїми властивостями від інших шарів молекул у воді. Молекули, що розташовуються у середині води, зазнають рівномірну дію із боку оточуючих молекул. Рівнодіюча цих молекулярних сил дорівнює нулю. Для молекулярних сил на молекули, що розташовані на границі розділу двох середовищ, суттєво відрізняється. У цьому випадку сили мають напрямок у середину поверхні. Отже, на границі двох фаз зосереджується

надлишок енергії відносно енергії тих об'ємних частин, які утворюють поверхневий шар. Питома поверхнева енергія, яка відповідає роботі утворення одиниці поверхневого шару, визначається як відношення надлишку енергії до площі поверхні розділу  $F$  і називається поверхневим натягом. Він чисельно дорівнює роботі, яка потрібна, щоб витягти з води і водяної пари кількість молекул, необхідну для утворення  $1 \text{ м}^2$  поверхневого шару води. Поверхневий натяг залежить від температури.

Комплекс із п'яти молекул  $H_2O$  можна розглядати як сформовану ембріональну краплину, оскільки з молекулою, що знаходиться у середині цього комплексу, не може безпосередньо зв'язуватись жодна інша молекула водяної пари. У ньому всі крайні молекули утримуються силами зчеплення з центральною молекулою, яка ізольована від вільних молекул водяної пари. Але в такому комплексі  $(H_2O)_5$  поверхневі сили ще не можуть бути стійкими, оскільки відрив навіть однієї молекули руйнує зазначення симетрію [1].

## 2 КОНДЕНСАЦІЯ І СУБЛІМАЦІЯ ВОДЯНОЇ ПАРИ

Разом з процесом випаровування води і льоду в природі, як вже згадувалось, завжди відбувається і зворотній процес – перехід водяної пари в рідкий стан (конденсація) або безпосередньо у твердий стан (сублімація). Конденсація в атмосфері починається тоді, коли повітря досягло стану насичення, а це частіш за все відбувається при зниженні температури до точки роси. При подальшому зниженні температури надмірна кількість водяної пари порівняно з умовами насичення переходить у рідкий стан. Причому, конденсація в абсолютно чистому повітрі може відбутись лише при дуже великих пересиченнях (у 4 – 8 разів). Через коливання густини водяної пари утворюються комплекси молекул, які в певних умовах можуть стати зародками крапель. Такі пересичення в реальних умовах ніколи не спостерігаються, оскільки в атмосфері завжди є гігроскопічні домішки – ядра конденсації [1-6].

### 2.1 Ядра конденсації

Ще у 1893 р. на Міжнародному метеорологічному конгресі Дж. Айткен сказав, що якби не було в повітрі ядер конденсації, то не було б ні серпанку, ні туману, ні хмар, ні дощу.

Розрізняють нерозчинні (але змочувані) і розчинні ядра конденсації. До перших відносять частки ґрунту і гірських порід, частки диму, мікроорганізми. Вони утворюються також при вулканічній діяльності та згоранні метеоритів. Другим видом ядер конденсації є частки розчинних у воді речовин, наприклад, будь-якої солі або кислоти. Ці ядра конденсації надходять до атмосфери при

спалюванні кам'яного вугілля, який містить в собі до 20% сірки. Розчинні ядра конденсації утворюються також з морських бриз і піни. Коли вони випаровуються, то утворюються дуже малі частинки морської солі.

Ядра конденсації поділяють за їхнім походженням:

- ядра морського походження (20%),
- продукти згорання (40%),
- частинки ґрунту (20%),
- ядра невідомої природи (20%).

За розмірами ядра конденсації поділяють на три групи:

- частинки радіусом від  $5 \cdot 10^{-7}$  до  $2 \cdot 10^{-5}$  см, які називають ядрами Айткена; це найбільш чисельна група;
- частинки аерозолей з радіусом від  $2 \cdot 10^{-5}$  до  $10^{-4}$  см – великі ядра; їх концентрація в 2 – 2,5 рази менша за концентрацію ядер Айткена;
- частинки з радіусом більшим ніж  $10^{-4}$  см – гігантські ядра; їхня концентрація мала: декілька ядер в 1 л повітря.

Кількість ядер конденсації коливається в широких межах. Середня кількість ядер в  $1 \text{ см}^3$  біля земної поверхні приблизно 150000 у великих містах, 940 – над океанами і в горах. Треба зазначити, що не всі ядра конденсації є активними і приймають участь в конденсації.

Зі збільшенням висоти кількість ядер конденсації зменшується за експоненціальним законом, зазвичай. Швидкість зменшення кількості ядер конденсації залежить від термічної стратифікації: вдень, коли переважає нестійка стратифікація і більш сильно розвинутий турбулентний обмін зменшення повільніше, ніж у ранкові години взимку, коли стратифікація стійка.

У великих містах кількість ядер конденсації над поверхнею землі помітно зменшується від зими до літа (мінімум – у червні). Причина – коливання інтенсивності турбулентного обміну. Влітку в умовах більш розвинутого обміну

ядра переносяться вище, що призводить до зменшення концентрації біля земної поверхні і зростання їх на більш високих рівнях. А взимку ще й викидається більше ядер конденсації ніж влітку за рахунок опалення.

Такий же річний хід ядер конденсації спостерігається приблизно до висоти 500 м. Починаючи з висоти 750 м річний хід зворотній: максимум концентрації – влітку, мінімум – взимку, що також зумовлено турбулентним обміном.

Отже, в природних умовах утворення зародкових крапель води і кристалів льоду в пересиченій парі відбувається на ядрах конденсації ( $r = 10^{-5} - 10^{-6}$  см), які в достатній кількості завжди присутні в атмосфері).

Ядра конденсації, рухаючись, зтикаються одне з одним. Частина таких зіткнень призводить до злипання (поєднання) ядер. Цей процес називається коагуляцією. Частинки меншого розміру коагулюють швидше, ніж великі [1].

## 2.2 Поняття про рівноважний і метастабільний стан

Якщо термодинамічна система знаходиться в нестійкому (нерівноважному) стані, то вона намагається перейти у більш стійкий (рівноважний) стан. Умовою рівноваги термодинамічної системи є мінімум її термодинамічного потенціалу, тобто максимум ентропії. Замкнута термодинамічна система, яка залишилась сама по собі рано чи пізно прийде до стабільного стану – стану рівноваги. Час, протягом якого система переходить до рівноважного стану може бути різним і називається він часом релаксації стабільного стану. Якщо час релаксації стабільного стану малий порівняно з характерним часом будь-якого процесу, то цей процес буде рівноважним і оберненим. Проте, іноді перехід з нестабільного стану до стабільного може відбуватись протягом тривалого часу. У цей період

система знаходиться у метастабільному стані. В атмосфері у метастабільному стані знаходяться пересичена водяна пара і переохолоджена вода.

Якщо з'явилися вже зародки нової фази (рідкої води) за рахунок флуктуацій густини водяної пари (тобто за рахунок випадкових зближень молекул водяної пари), то надалі вони можуть почати розпадатись. Це відбудеться тоді, коли витрати енергії на утворення поверхні зародка будуть більшими за енергію, яка виділяється при конденсації. Для того, щоб конденсація стала можливою, необхідно щоб енергія, яка виділяється при конденсації, була більшою, ніж витрати енергії на утворення поверхні зародка. Такі зародки називають гомофазними (без аерозольних часток). Таким чином, для утворення гомофазного зародка треба подолати деякий потенціальний бар'єр. Конденсація у цьому випадку називається гомогенною; конденсація, яка відбивається на ядрах конденсації – гетерогенною [1, 2].

### 2.3 Утворення твердої фази

Разом з конденсацією водяної пари в атмосфері спостерігається замерзання водяних крапель. Відомо, що поверхнева енергія на межі пара – вода менша, ніж на межі пара – лід. Тому первинним процесом за всіх температур (додатних і від'ємних) є конденсація водяної пари. Водяні краплі, які утворились при конденсації за умови від'ємної температури можуть замерзнути і утворити льодяну частку. Для утворення льодяної фази необхідно, щоб всередині водяної краплі сформувався зародок нової фази – лід. Такий фазовий перехід називають гомогенним.



Зародок нової фази може утворитись і на деякому сторонньому ядрі (наприклад, частці пилу, частці диму тощо) – ядрі кристалізації. У даному випадку має місце гетерогенний фазовий перехід.

Розглянемо умови гомогенного фазового переходу. Нехай, в середині рідини утворились зародки льодяної фази. Вони стають стійкими лише тоді, коли досягнуть певного розміру. На формування зародка необхідно витратити енергію, яка пропорційна його поверхні. У той час при виникненні льодяної фази виділяється енергія скритої теплоти замерзання. Поки зародок малий, скрита теплота менша за енергію утворення поверхні і зародок розпадається. Аби цього не відбулось, треба здійснити зовнішню роботу. Ця робота  $A$  спочатку зростає зі зростанням розміру зародка до критичного  $r_{кр}$  і стає максимальною  $A_{макс}$ . Якщо  $r > r_{кр}$ , то подальше зростання зародка призводить до зменшення  $A$ .

Математичні вирази  $r_{кр}$  і  $A_{макс}$  мають такий вигляд:

$$r_{кр} = \frac{2\sigma_l}{\rho_l L_{пл} \ln \frac{T_0}{T}},$$

де

$$T_0 = 273,15 \text{ К};$$

$L_{пл}$  – питома теплота плавлення льоду;

$\sigma_l$  – коефіцієнт поверхневого натягнення на межі лід – вода ;

$\rho_l$  – густина льоду;

$$A_{макс} = \frac{4}{3} \pi r^2 \sigma_l \text{ – для зародка сферичної форми,}$$

$$A_{\text{макс}} = \frac{1}{3} \sigma_{\text{л}} S \quad - \text{ для зародка будь-якої форми,}$$

де

$S$  – поверхня зародка.

З формули для  $r_{\text{кр}}$  випливає, що критичний радіус зародка залежить від переохолодження, тобто різниці між  $T_0$  і  $T$ . Чим ця різниця більша, тим менший  $r_{\text{кр}}$ , тим легше утворитись стійкому зародку.

Процес свавільного утворення льодяних зародків у переохолодженій воді називають спонтанною кристалізацією. Імовірність утворення ядра пропорційна добутку об'єму краплі і часу, протягом якого вона знаходиться при фіксованій температурі. Зі зниженням температури ймовірність льодоутворення зростає, спочатку повільно, а потім все швидше. За температури від  $-39,0^\circ$  до  $-41,0^\circ \text{C}$  швидкість утворення льодяних зародків різко зростає, відбувається спонтанна кристалізація, коли за час 0,6 с усі краплі кристалізуються [1].

### 3 ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУМАНІВ

Процеси, завдяки яким у повітрі на деякій висоті в результаті конденсації водяної пари утворювались сукупності крапель визначених конденсацій і розподілу по розмірах, тобто хмари. Але конденсація пари може відбуватись у безпосередній близькості від земної поверхні (у приземному шарі атмосфери). У цьому випадку продукти конденсації водяної пари формують серпанок або туман [1, 2, 4].

Туманом називають сукупність завислих у повітрі крапель води або кристалів льоду, що приводить до змішення горизонтальної дальності видимості поблизу від земної поверхні до 1 км і менше. При видимості від 1 до 10 км сукупність завислих крапель або кристалів льоду називається серпанком. Поряд з поняттям серпанку існує й поняття імлі, яка являє собою сукупність завислих у повітрі твердих часток. Імла теж погіршує прозорість повітря до 10 км й менше, але спостерігається при відносній вологості повітря значно менший від 100% [1]. У всіх попередніх визначеннях під дальністю видимості розуміється метеорологічна дальність видимості. У залежності від дальності видимості розрізняють за інтенсивністю такі види туманів і серпанків:

| Види туманів і серпанків | Дальність видимості |
|--------------------------|---------------------|
| Сильний туман            | < 50 м              |
| Помірний туман           | 50-500 м            |
| Слабкий туман            | 500-1000 м          |
| Сильний серпанок         | 1-2 км              |
| Помірний серпанок        | 2-4 км              |
| Слабкий серпанок         | 4-10 км             |

Дальність видимості є, як відомо, інтегральною характеристикою мікроструктури туману або серпанку. Вона обумовлюється інтенсивністю розсіювання сонячного світла аерозольними частками, що складають ці явища погоди. Але інтенсивність розсіювання залежить від концентрації крапель або кристалів, їхнього розподілу за розмірами. Обидві ці характеристики визначають і відповідність туману. Отже, туман може характеризуватись такими ж параметрами, як і хмари: концентрацією аерозольних часток, їхнім розподілом за розмірами й водністю. Як і для хмар, розрізняють абсолютну водність (або просто водність) й питому водність туману.

У тумані вода буває в двох (рідкому та змішаному), а при низьких від'ємних температурах у трьох (рідкому, змішаному та твердому) фазових станах.

Якщо до абсолютної вологості повітря  $a$ , яка є, як відомо, масою водяної пари у  $1 \text{ м}^3$  повітря, додати абсолютну водність  $Q_w$  туману, то отримаємо абсолютний вологовміст  $Q$  повітря в тумані. Отже:

$$Q = a + Q_w. \quad (3.1)$$

До того, як туман утворився,  $Q_w = 0$  і  $Q = a$ . У тумані абсолютна вологість близька до насиченої  $a_m$ , яка є функцією тільки температури  $T$ . Таким чином, для туману

$$Q_w = Q - a_m(T). \quad (3.2)$$

Ця формула свідчить про те, що водність туману може збільшуватись за рахунок таких факторів: збільшення вологовмісту повітря  $Q$ ; падіння

температури повітря, що приводить до зменшення насичуючої абсолютної вологості  $a_m(T)$ .

Вологовміст повітря може збільшуватися під впливом випаровування води з підстильної поверхні, горизонтального та вертикального переміщення повітря. Падіння температури відбувається за рахунок молекулярного й турбулентного теплообміну з оточуючими масами повітря й землею поверхнею, радіаційного вихолоджування, адіабатичного розширювання об'ємів повітря при їхніх висхідних рухах. Відносно фіксованої точки простору, поряд з переліченими процесами на змінення вологовмісту й температури повітря чинять вплив і горизонтальний перенос (адвекція) та вертикальні рухи повітря. У залежності від співвідношення зазначених процесів тумани підрозділяються на тумани охолодження, тумани змішування й тумани випаровування. Тумани охолодження, в свою чергу, розділяються на адвективні й радіаційні [1, 2, 7-9].

### 3.1 Тумани охолодження

#### 3.1.1 Адвективні тумани

Адвективні тумани виникають у теплій повітряній масі, яка переміщується на більш холодну підстильну поверхню й вихолоджується завдяки турбулентному й радіаційному теплообміну з цією поверхнею. Утворенню такого туману сприяють велика різниця температури підстильної поверхні та початкової температури відносно теплого потоку, велика відносна вологість повітря, помірна швидкість вітру (2-5 м/с), збільшення або постійність з висотою масової

частки водяної пари, помірно стійка стратифікація й порівняно слабкий турбулентний обмін. Якщо швидкість вітру велика, то виникає інтенсивний турбулентний обмін, який перешкоджає утворенню туману. При слабкому вітрі повітряна маса повільно переміщується й завдяки цьому повільно охолоджується. Турбулентний обмін завжди сприяє вирівнюванню масової частки пари по вертикалі. Коли вона з висотою збільшується у приземному шарі, то під впливом турбулентності відбувається збільшення вологості повітря біля земної поверхні за рахунок переносу пари зверху донизу. Дуже стійка стратифікація (сильна інверсія температури) приводить до затухання турбулентного обміну. Порівняно з ним молекулярний теплообмін дуже малий. Тому охолодження повітря поширюється від земної поверхні дуже повільно, і туман утворюється в дуже тонкому шарі біля підстильної поверхні [1, 7-9].

Адвективний туман відрізняється найбільшою повторюваністю й тривалістю. В Україні, наприклад, 59% загального числа днів з туманом приходить саме на адвективний туман. В 9% випадків тривалість існування такого туману перевищує 24 години. Адвективні тумани найбільш інтенсивні й змінюють великі площі.

Частинним випадком адвективних туманів є берегові тумани, що утворюються на суші у холодну половину року, коли вітер має напрямок з моря. У період з жовтня до травня такі тумани є частим явищем на узбережжі Чорного моря. Як правило, берегові тумани відносяться до теплих, тобто до таких, які складаються з крапель рідкої води.

Дуже ретельні спостереження теплих адвективних туманів майже два десятиріччя проводилися на експериментальному метеорологічному полігоні проблемної науково-дослідної лабораторії Одеського гідрометеорологічного інституту (ЕМП ПНДЛ ОГМІ). Розташоване на полігоні обладнання давало змогу організовувати комплексні експерименти в натуральних туманах, у процесі яких відбувалося одночасне вимірювання внутрішніх (розподіл крапель за розмірами,

їхня концентрація, водність, оптична прозорість туману) та зовнішніх (характеристики температури, вологості, вітру) параметрів туманів. Такі дослідження дозволили, по-перше, визначити важливі параметри мікроструктури, що характеризують особливості теплих приморських туманів північно-західного узбережжя Чорного моря, отримати інформацію про механізми взаємозв'язку між флуктуаціями зовнішніх та внутрішніх параметрів туманів [1].

Спостереження показали, що в середньому на протязі року спостерігається в Одесі 50-60 днів з туманом з максимумом 90 днів. 70% цих туманів утворюється в період листопад-березень. На теплий період року приходить менше 10% загальної річної кількості туманів. У холодну частину року за місяць буває від 5 до 9 днів з туманами, а в окремі роки за місяць спостерігається до 20 днів з туманом.

Адвективні тумани мають порівняно велику тривалість: в Одесі, наприклад, від 5-8 годин до декількох діб. Сумарна річна тривалість досягає 200-600 годин.

Інформації про розподіл водності туманів з висотою дуже мало. За існуючими експериментальними даними вона суттєво змінюється з висотою лише поблизу земної поверхні і верхньої границі туманів.

Верхня границя адвективних туманів у більшості випадків співпадає з верхньою границею приземної або піднятої інверсії температури. За даними зондування атмосфери над Україною, що відбувалося з жовтня 1960 р до червня 1962 р, середня товщина адвективних туманів дорівнює 320 м. Верхня границя адвективних туманів на висотах менших за 100 м не зустрічалась. Найбільш часто вона розташовувалась на висотах 200 – 400 м (57% випадків). Спостерігались випадки, коли товщина адвективного туману перевищувала 600 м.

Комплексні експерименти у натурних туманах північно-західного узбережжя Чорного моря показують, що зв'язок між флуктуаціями

характеристик спектру крапель й зовнішніх параметрів (флуктуаціями температури, швидкості вітру, їхніх вертикальних градієнтів, радіаційного балансу підстильної поверхні) проявляється досить виразно.

Дослідження показують (табл. 3.1), що переважний внесок у змінювання параметра масштабу  $\alpha$  гама-розподілу крапель за розмірами робить радіаційний баланс, швидкість вітру і температура повітря поблизу земної поверхні, в той час коли на параметр форми  $\lambda$  чинять вплив приблизно в рівній мірі швидкість вітру, температура повітря й градієнт температури у шарі 2-12 м. Змінювання концентрації крапель відбувається головним чином під дією змінювання температури й градієнта швидкості вітру.

Таблиця 3.1 – Внесок (%) факторів стану приземного шару повітря  
в дисперсію параметрів мікроструктури туманів

| Параметри        | $B$  | $\vartheta_2$ | $\Delta\vartheta_{2-16}$ | $T_0$ | $T_2$ | $\Delta T_{0-2}$ | $\Delta T_{2-12}$ |
|------------------|------|---------------|--------------------------|-------|-------|------------------|-------------------|
| $\alpha$         | 53,6 | 19,6          | 1,8                      | 11,4  | 5,3   | 4,0              | 4,3               |
| $\lambda$        | 5,4  | 26,8          | 0,9                      | 27,6  | 25,0  | 0,2              | 14,1              |
| $r_{\text{mod}}$ | 7,1  | 69,6          | 18,7                     | 2,1   | 0,1   | 1,5              | 0,9               |
| $N_{\text{mod}}$ | 3,3  | 3,5           | 10,2                     | 24,3  | 52,1  | 5,1              | 1,5               |

У табл. 3.1  $r_{\text{mod}}$  - модальний радіус крапель,  $N_{\text{mod}}$  - концентрація крапель у модальному інтервалі їхніх розмірів,  $B$  - радіаційний баланс,  $\vartheta_2, T_2$  - швидкість вітру і температура на висоті 2м,  $T_0$  - температура земної поверхні,  $\Delta T$  і  $\Delta\vartheta$  - вертикальні градієнти температури й швидкості вітру у зазначеному шарі повітря.



Змінювання модального радіусу крапель у великій мірі залежить від швидкості вітру й вертикального її градієнта, а концентрації крапель модального інтервалу – від температури повітря на висоті 2 м і температури земної поверхні [1].

### 3.1.2 Радіаційні тумани

Радіаційні тумани утворюються завдяки радіаційному охолодженню земної поверхні й прилягаючого шару повітря та турбулентного перемішування. Подальший їхній розвиток може залежати й від випромінювання самого туману. Радіаційний туман знаходиться в значно більшій залежності, ніж адвективний, від місцевих умов: характеру підстильної поверхні, місцевих повітряних течій тощо.

Власне кажучи, є підстави вважати, що в процесі охолодження повітря до точки роси, коли туман ще не утворився, масова частка водяної пари залишається постійною. Але більш ретельні міркування заставляють відкинути здавалося би такий очевидний висновок. В дійсності, і це підтверджується експериментально, під впливом хоча й слабого турбулентного перемішування й випадіння роси відбувається перерозподіл водяної пари між шарами атмосфери, внаслідок чого масова частка водяної пари ще до початку туманоутворення на деякому рівні як правило зменшується.

Процес утворення радіаційного туману можна розділити на декілька фаз:

1. Зародження приземного серпанку й початок утворення приземної інверсії температури.
2. Утворення оптично тонкого у вертикальному напрямку шару туману, у якому горизонтальна дальність видимості може зменшитися до 0,1-0,2 км.

3. Виникнення оптично товстого й більш сталого шару туману, товщиною близько 20 м з добре помітною інверсією температури безпосередньо над його чітко означеною верхньою границею.

#### 4. Розсіювання туману.

Сприятливими умовами для утворення радіаційного туману є, по-перше відсутність хмар або наявність хмар тільки верхнього ярусу. Хмарний покрив приводить до зменшення випромінювання з верхньої границі туману й земної поверхні за рахунок збільшення противипромінювання атмосфери, що зменшує охолодження підстильної поверхні й шару туману. По-друге, утворенню радіаційного туману сприяє висока відносна вологість повітря. Чим вона більша, тим менше охолодження потрібне для досягнення стану насичення [1, 7-9].

Сонячна радіація після сходу Сонця приводить до швидкого руйнування приземної інверсії й розсіювання радіаційного туману.

Невисокий рослинний покрив, який має малу ефективну теплоємність, вночі може сильно охолоджуватися й таким чином сприяти утворенню туману.

### 3.2 Тумани змішування

Тумани змішування утворюються при надходженні холодного повітря на більш теплу підстилаючу поверхню. Повітря, що надходить, дуже швидко змішується з порівняно теплим шаром повітря, яке розташовується над теплою й вологою поверхнею. Цей процес протікає дуже інтенсивно й туман утворюється вже через декілька хвилин після початку адвекції холодного повітря. Графічно він зображується на рис. 3.1. На ньому крива AA характеризує залежність масової частки насиченої водяної пари від температури  $S_m(T)$ . Нехай точка  $B_1(T_1, S_1)$

характеризує температуру й масову частку водяної пари у холодному, а точка  $B_2(T_2, S_2)$  - у теплому повітрі. Припустимо, що однакова кількість теплового й холодного повітря змішується при однаковому атмосферному тиску. Тоді суміш буде характеризуватись значеннями температури  $T_3 = (T_1 + T_2)/2$  і  $S_3 = (S_1 + S_2)/2$ . Цьому стану суміші відповідає точка  $B_3(T_3, S_3)$ . Очевидно,  $S_3 > S_m(T_3)$ , що приводить до конденсації водяної пари, яка супроводиться зменшенням масової частки пари в об'ємі, підвищенням температури і, в залежності від останнього, зростанням насичуючої масової частки пари. Конденсація припиняється у точці  $B_0$ , де  $S_0 = S_m(T_0)$ .

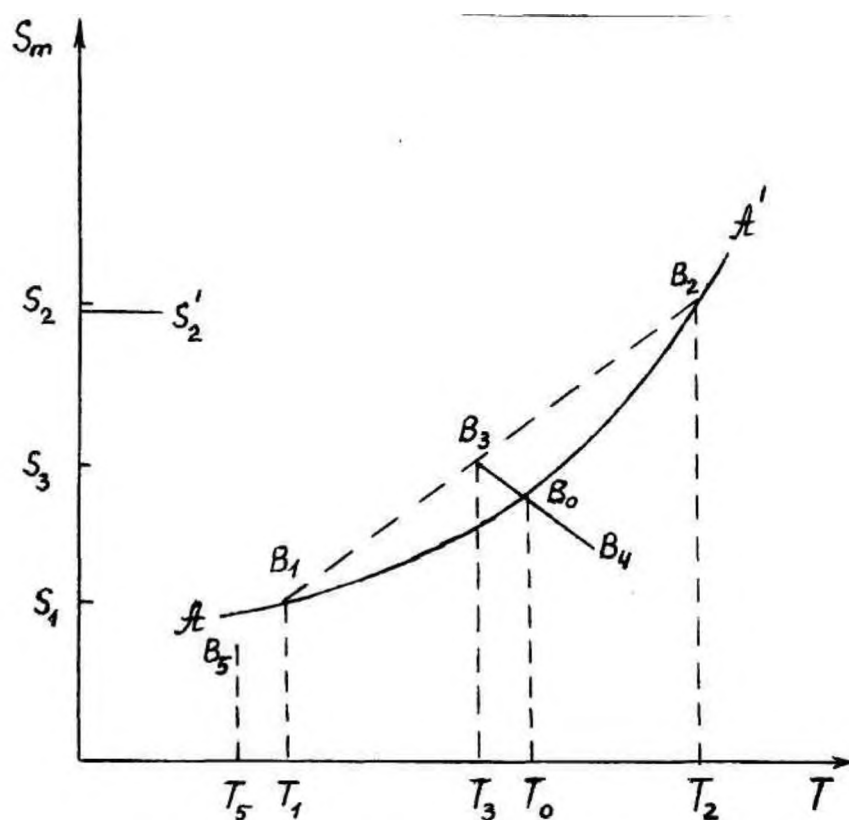


Рисунок 3.1 – До пояснення процесу утворення туману змішування

Тумани змішування часто утворюються в холодну половину року над акваторією Чорного моря при вторгненні морського арктичного повітря. Теорія формування туману змішування розроблена Л.Т. Матвєєвим [1, 2].

### 3.3 Тумани випаровування

Тумани випаровування виникають завдяки припливу водяної пари у повітря за рахунок випаровування води з теплої підстильної поверхні у відносно холодне повітря. Вони особливо часто утворюються над морями Арктики, де температура відкритої води значно вища, ніж температура льоду або снігу. Тому повітря, що переміщується над льодом або материком, при переході на водну поверхню є значно холоднішим від води. Під впливом інтенсивного випаровування з водної поверхні над ополонками виникає туман.

Необхідно мати на увазі, що холодне повітря знизу нагрівається від теплої підстильної поверхні й стає у нижній частині нестійким. Нестійкість сприяє розвитку інтенсивного турбулентного переміщування і, таким чином, тепло – і вологообміну. Вище тонкого шару нестійкості зберігається інверсія, яка утворилася при переміщенні повітря над льодом або снігом. Під її впливом водяна пара затримується у під інверсійному шарі атмосфери й туман захоплює весь цей шар.

Випаровування води грає помітну роль в утворенні туману над озерами й річками восени, а також вночі, коли повітря при переміщенні з суші виявляється холоднішим від води. У цих випадках основним фактором є радіаційне вихолоджування повітря, а випаровування стає стимулюючим ефектом при туманоутворенні.

Процес утворення туману випаровування досліджувався й у лабораторних умовах. Було встановлено, що різниця температур  $\Delta T$  між повітрям й випаровуючою поверхнею, яка необхідна для утворення туману, тим менша, чим більшою є відносна вологість повітря  $f$ . Ця залежність у кількісному виразі має такий вигляд:

|                     |       |       |      |       |       |
|---------------------|-------|-------|------|-------|-------|
| $f\%$               | 90-85 | 85-80 | 80   | 80-75 | 75-70 |
| $\Delta T^{\circ}C$ | 8,6   | 9,7   | 10,3 | 12,6  | 14,5  |

Різниця температур залежить і від швидкості руху повітря  $g$  над поверхнею води. Про характер цієї залежності можна отримати уявлення з табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Залежність різниці  $\Delta T$  від швидкості руху повітря

|       |         |                     |       |         |                     |
|-------|---------|---------------------|-------|---------|---------------------|
| $f\%$ | $g$ м/с | $\Delta T^{\circ}C$ | $f\%$ | $g$ м/с | $\Delta T^{\circ}C$ |
| 85-80 | 0,22    | 8,5                 | 80-75 | 0,00    | 10,1                |
|       | 0,35    | 9,3                 |       | 0,22    | 10,0                |
|       | 0,45    | 9,8                 |       | 0,53    | 12,2                |
|       | 0,52    | 10,3                |       | 0,71    | 12,8                |
|       | 0,66    | 10,8                |       |         |                     |

Як видно,  $\Delta T$  зростає при зростанні швидкості руху повітря, що можна пояснити впливом переміщування, яке при більших значеннях  $g$  поширюється на шар більшої товщини [1].

## 4 АНАЛІЗ ЧАСОВОЇ МІНЛИВОСТІ КІЛЬКОСТІ ДНІВ З ТУМАНАМИ

### 4.1 Річний хід кількості днів з туманами

Метою бакалаврської роботи є дослідження режиму туманів на території України за період 2009-2018рр. Для досягнення мети було обрано обласні центри в різних регіонах країни: південний – станція Одеса, північний – станція Київ, східний – станція Харків, західний – станція Львів і центральний – станція Вінниця. В якості вихідної інформації використовувалися дані щоденних спостережень за атмосферними явищами у визначених пунктах спостережень [10-14].

В таблиці 4.1 наведено річний розподіл туманів по місяцях за період дослідження на станції Вінниця. З таблиці видно, що у 2009 році всього днів з туманами було виявлено 47 випадків, максимум спостерігається у січні й становить 12 днів, велику кількість визначено і в листопаді – 11 днів, мінімальне значення зафіксовано у травні, що дорівнює 1 день, випадків з туманом не спостерігалось у квітні та у літні місяці. У 2010 році кількість днів з туманами за визначений період становить 34 дні, з яких максимум спостерігався у лютому – 9 випадків, мінімум, що дорівнює 1 день, визначено у травні, червні та жовтні, днів з туманами не зафіксовано у квітні та серпні. За 2011 рік виявлено 25 днів з туманами, максимальна кількість була зафіксована у січні – 9 випадків та у грудні – 8 днів, а мінімальне значення спостерігається у липні та вересні і становить 1 день. У лютому, серпні, жовтні та з квітня по липень не було жодного туману. У 2012 році виявлено 29 випадків, з яких 16 днів у листопаді, що є максимальним значенням та мінімальна у квітні, липні та серпні, що становить 1 день. Весною, у липні та вересні тумани не спостерігались. За 2013 рік виявлено 47 днів з

туманами, максимум – 14 днів – визначено у січні, мінімум – 1 день – у квітні, липні та серпні. У червні 2013 року туманів не було виявлено. Протягом 2014 року кількість днів з туманами становить 45, максимум – 10 днів – у лютому та листопаді, мінімум в кількості 1 день виявлено у квітні, червні та вересні. У серпні не було жодного дня з туманами. За 2015 рік зафіксовано 38 днів з туманами: максимум в січні – 13 днів, мінімум – 1 день – у березні, травні та жовтні, туманів не було у квітні й у літні місяці. У 2016 році було нараховано 19 днів з туманами, з яких максимум – у лютому та листопаді – 4 випадки, мінімум, що становить 1 день, визначено у травні, червні, серпні та вересні. Тумани не спостерігались у березні, квітні та липні. Взагалі протягом 2016 року зафіксовано мінімальну кількість туманів за весь період дослідження.

Таблиця 4.1 – Річний хід кількості днів з туманами на станції Вінниця за період 2009-2018 рр.

| Рік    | I  | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X  | XI | XII | Всього |
|--------|----|----|-----|----|---|----|-----|------|----|----|----|-----|--------|
| 2009   | 12 | 9  | 3   | 0  | 1 | 0  | 0   | 0    | 2  | 4  | 11 | 5   | 47     |
| 2010   | 5  | 9  | 2   | 0  | 1 | 1  | 2   | 0    | 2  | 1  | 6  | 5   | 34     |
| 2011   | 9  | 0  | 2   | 0  | 0 | 0  | 1   | 0    | 1  | 0  | 4  | 8   | 25     |
| 2012   | 3  | 1  | 0   | 0  | 0 | 1  | 0   | 1    | 0  | 2  | 16 | 5   | 29     |
| 2013   | 14 | 4  | 4   | 1  | 2 | 0  | 1   | 1    | 2  | 6  | 3  | 9   | 47     |
| 2014   | 6  | 10 | 6   | 1  | 2 | 1  | 2   | 0    | 1  | 3  | 10 | 3   | 45     |
| 2015   | 13 | 5  | 1   | 0  | 1 | 0  | 0   | 0    | 4  | 1  | 5  | 8   | 38     |
| 2016   | 2  | 4  | 0   | 0  | 1 | 1  | 0   | 1    | 1  | 3  | 4  | 2   | 19     |
| 2017   | 4  | 6  | 7   | 0  | 0 | 0  | 1   | 0    | 4  | 5  | 5  | 5   | 37     |
| 2018   | 6  | 5  | 7   | 0  | 0 | 1  | 3   | 2    | 3  | 8  | 9  | 9   | 53     |
| Всього | 74 | 53 | 32  | 2  | 8 | 5  | 10  | 5    | 20 | 33 | 73 | 59  | 374    |

За 2017 рік виявлено 37 днів з туманами, максимум визначено у березні і становить 7 днів, мінімум, що дорівнює 1 день, спостерігається у липні. Днів з туманами не спостерігалось з квітня по липень та у серпні. Протягом 2018 року має місце найбільша кількість випадків з туманами за зазначений період – 53 дні, максимум з яких зафіксовано у листопаді та грудні – 9, мінімальна кількість становить 1 день й виявлена у червні. Тумани не спостерігались в 2018 році у квітні та травні.

Загалом, найбільшу кількість днів з туманами за період в 10 років було виявлено з жовтня по березень включно, тобто в холодний період року. Всього зафіксовано в цей період 324 днів, що становить 87 % від загальної кількості. Максимуми спостерігалися в січні та листопаді – 74 і 73 дні відповідно. В теплий період, з квітня по вересень включно, у Вінниці за період дослідження визначено 50 днів з туманами. Найменшу кількість туманів зафіксовано в квітні – 2 дні. Аналіз річного ходу кількості туманів дає можливість зробити висновок, що за період дослідження в холодний період року кількість туманів у Вінниці майже в 7 разів більша, ніж в теплий.

В таблиці 4.2 наведено річний розподіл туманів по місяцях за період дослідження на станції Харків. З таблиці видно, що у 2009 році всього днів з туманами було виявлено 43 випадки, максимум – 9 днів спостерігалось у січні та лютому, по 6 днів з туманами зафіксовано жовтні та листопаді. У червні та вересні 2009 року визначено 1 день, не спостерігалось туманів у Харкові в травні, липні й серпні. Протягом 2010 року кількість днів з туманами за визначений період виявлено 28 епізодів, з яких більша кількість спостерігалася у листопаді й грудні – 7 і 5 днів відповідно. Найменше число – 1 день – зафіксовано у вересні та жовтні. В період з травня по серпень включно днів з туманами не виявлено. За 2011 рік спостерігалось 22 дні з туманами, що є мінімумом за період з 2009 по 2018 роки. Максимальна кількість була зафіксована у зимові місяці: у січні 8 й грудні 6 випадків, а мінімальне значення виявлено у квітні та вересні по 1 дню. У



лютому, листопаді та з травня по серпень не було жодного туману. Протягом 2012 року виявлено 28 випадків, з яких 7 днів у жовтні – максимальна кількість та мінімальна у травні – 1 день, у квітні та з червня по вересень включно тумани не спостерігались. За 2013 рік виявлено 48 днів з туманами, максимум – 12 днів – у січні та 10 днів – у жовтні, мінімум – 1 день – у квітні та літні місяці, днів з туманами не спостерігалось у березні та травні.

Таблиця 4.2 – Річний хід кількості днів з туманами на станції Харків за період 2009-2018 рр.

| Рік    | I  | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X  | XI | XII | Всього |
|--------|----|----|-----|----|---|----|-----|------|----|----|----|-----|--------|
| 2009   | 9  | 9  | 5   | 0  | 3 | 1  | 0   | 0    | 1  | 6  | 6  | 3   | 43     |
| 2010   | 4  | 4  | 3   | 3  | 0 | 0  | 0   | 0    | 1  | 1  | 7  | 5   | 28     |
| 2011   | 8  | 0  | 3   | 1  | 0 | 0  | 0   | 0    | 1  | 3  | 0  | 6   | 22     |
| 2012   | 6  | 3  | 2   | 0  | 1 | 0  | 0   | 0    | 0  | 7  | 5  | 4   | 28     |
| 2013   | 12 | 8  | 0   | 1  | 0 | 1  | 1   | 1    | 3  | 10 | 5  | 6   | 48     |
| 2014   | 5  | 1  | 2   | 2  | 0 | 0  | 1   | 0    | 3  | 1  | 3  | 12  | 30     |
| 2015   | 10 | 6  | 0   | 2  | 0 | 1  | 2   | 0    | 0  | 2  | 4  | 4   | 31     |
| 2016   | 11 | 10 | 5   | 2  | 2 | 1  | 1   | 1    | 3  | 2  | 5  | 4   | 47     |
| 2017   | 12 | 1  | 6   | 2  | 0 | 0  | 0   | 0    | 1  | 6  | 9  | 16  | 53     |
| 2018   | 10 | 7  | 6   | 2  | 1 | 2  | 2   | 0    | 0  | 3  | 6  | 7   | 46     |
| Всього | 87 | 49 | 32  | 15 | 7 | 6  | 7   | 2    | 13 | 41 | 50 | 67  | 376    |

У 2014 році всього днів з туманами було виявлено 30, з яких максимум спостерігався в грудні – 12 випадків; мінімум – 1 день – спостерігався в лютому, липні та листопаді. Не спостерігалися тумани в травні, червні та серпні. За 2015 рік зафіксовано 31 день з туманами: максимум в січні – 10 днів, мінімум – 1

день – у червні. В березні, травні, серпні та вересні туманів не було. У 2016 році було нараховано 47 днів, з яких максимум – в січні – 11 випадків, по одному дню з туманом було виявлено в червні, липні та серпні. У 2017 році має місце найбільша кількість днів з туманами за визначений період – 53, максимум – 16 днів – в грудні, мінімум – 1 день – в лютому та вересні, не було туманів з травня по серпень. За 2018 рік випадків – 46, максимум – у січні – 10, мінімальна кількість у травні – 1 день. Не спостерігалися тумани в серпні та вересні.

Найбільшу кількість днів з туманами у Харкові за період в 10 років було виявлено в січні – 87 та грудні – 67 днів. За холодний період, тобто з жовтня до березня включно, в пункті дослідження спостерігалось 326 епізодів, що складає 87 % від загального розподілу. В теплий період у Харкові за 10 років було виявлено 50 днів, максимум визначено в квітні – 15, мінімум зафіксовано в серпні – 2 дні з туманами.

В таблиці 4.3 наведено річний розподіл туманів по місяцях за період дослідження на станції Київ. З таблиці видно, що у 2009 році має місце найбільша кількість днів з туманами за визначений період 42, з яких максимум спостерігався в листопаді – 11 випадків; мінімум – 2 дні – спостерігалися у березні, з квітня по вересень туману взагалі не було. У 2010 році всього днів з туманами було виявлено 29 випадків, максимум – 8 днів було зафіксовано у листопаді, мінімум – 1 днів – у березні, травні та жовтні, випадків з туманом не спостерігалось у квітні та з травня по вересень. Для 2011 року характерними є 20 днів з туманами, максимальна кількість була зафіксована у січні – 10 випадків, а мінімальна у березні та серпні – 1 день, з травня по червень та у вересні-жовтні не було жодного туману. У 2012 році зафіксовано 28 випадків, з яких 8 днів у листопаді – максимальна кількість та мінімальна у березні та серпні – 1 день, в лютому, травні та червні тумани не спостерігались. За 2013 рік виявлено 36 днів з туманами, максимум – 7 днів – у грудні, мінімум – 1 день – у квітні, з травня по серпень тумани не спостерігались. У 2014 році випадків – 39, максимум – 11 днів

– у грудні, мінімум – 1 день – у квітні та липні, не спостерігались тумани у травні та з серпня по жовтень. За 2015 рік зафіксовано 21 день з туманами: максимум в січні – 9 днів, мінімум – 2 дні – у жовтні та грудні, тумани не спостерігались з травня по вересень. У 2016 році було нараховано 15 днів, з яких максимум – в січні – 4 випадки, мінімум – 1 день – у лютому-березні, червні та серпні, випадків з туманами не було квітні-травні, липні та вересні. У 2017 – 24 випадки, максимум – 9 днів – у грудні, мінімум – 2 дні – у лютому та жовтні-листопаді, не було туманів з квітня по вересень. За 2018 рік випадків – 38, максимум – у листопаді – 10, мінімальна кількість у жовтні – 2 дні, туман не зафіксовано з квітня по вересень.

Таблиця 4.3 – Річний хід кількості днів з туманами на станції Київ за період 2009-2018 рр.

| Рік    | I  | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X  | XI | XII | Всього |
|--------|----|----|-----|----|---|----|-----|------|----|----|----|-----|--------|
| 2009   | 10 | 8  | 2   | 0  | 0 | 0  | 0   | 0    | 0  | 4  | 11 | 7   | 42     |
| 2010   | 7  | 6  | 1   | 0  | 1 | 0  | 0   | 0    | 0  | 1  | 8  | 5   | 29     |
| 2011   | 10 | 0  | 1   | 0  | 0 | 0  | 2   | 1    | 0  | 0  | 2  | 4   | 20     |
| 2012   | 3  | 0  | 1   | 2  | 0 | 2  | 0   | 1    | 2  | 7  | 8  | 2   | 28     |
| 2013   | 6  | 6  | 4   | 1  | 0 | 0  | 0   | 0    | 2  | 4  | 6  | 7   | 36     |
| 2014   | 6  | 7  | 5   | 1  | 0 | 2  | 1   | 0    | 0  | 0  | 6  | 11  | 39     |
| 2015   | 9  | 4  | 0   | 0  | 0 | 0  | 0   | 0    | 0  | 2  | 4  | 2   | 21     |
| 2016   | 4  | 1  | 1   | 0  | 0 | 1  | 0   | 1    | 0  | 2  | 3  | 2   | 15     |
| 2017   | 4  | 2  | 5   | 0  | 0 | 0  | 0   | 0    | 0  | 2  | 2  | 9   | 24     |
| 2018   | 6  | 5  | 8   | 0  | 0 | 0  | 0   | 0    | 0  | 2  | 10 | 7   | 38     |
| Всього | 65 | 39 | 28  | 4  | 1 | 5  | 3   | 3    | 4  | 24 | 60 | 56  | 292    |

Загалом, найбільшу кількість днів з туманами за період в 10 років було виявлено з жовтня по березень включно, тобто в холодний період року. Всього зафіксовано в цей період 272 днів. Максимуми спостерігалися в січні та листопаді – 65 і 60 днів відповідно. В теплий період, з квітня по вересень включно, в Києві за період дослідження визначено 20 днів з туманами. Найменшу кількість туманів зафіксовано в травні – 1 день. Аналіз річного ходу кількості туманів дає можливість зробити висновок, що за період дослідження в холодний період року кількість туманів в Києві майже в 14 разів більша, ніж в теплий.

В таблиці 4.4 наведено річну мінливість туманів по місяцях за період дослідження на станції Львів.

Таблиця 4.4 – Річний хід кількості днів з туманами на станції Львів за період 2009-2018 рр.

| Рік    | I  | II | III | IV | V  | VI | VII | VIII | IX | X  | XI | XII | Всього |
|--------|----|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|--------|
| 2009   | 7  | 8  | 5   | 2  | 5  | 4  | 4   | 2    | 9  | 4  | 8  | 0   | 58     |
| 2010   | 4  | 8  | 2   | 3  | 10 | 5  | 4   | 3    | 9  | 9  | 6  | 7   | 70     |
| 2011   | 6  | 4  | 4   | 0  | 4  | 2  | 5   | 1    | 4  | 4  | 5  | 6   | 45     |
| 2012   | 2  | 4  | 2   | 4  | 0  | 2  | 2   | 3    | 4  | 7  | 7  | 5   | 42     |
| 2013   | 5  | 1  | 6   | 2  | 2  | 1  | 1   | 1    | 4  | 9  | 6  | 7   | 45     |
| 2014   | 5  | 6  | 4   | 3  | 3  | 2  | 1   | 4    | 4  | 5  | 4  | 10  | 51     |
| 2015   | 6  | 5  | 2   | 1  | 5  | 2  | 5   | 0    | 3  | 8  | 3  | 10  | 50     |
| 2016   | 3  | 1  | 6   | 5  | 2  | 1  | 3   | 2    | 6  | 4  | 4  | 13  | 50     |
| 2017   | 8  | 7  | 8   | 1  | 3  | 2  | 5   | 2    | 2  | 8  | 7  | 5   | 58     |
| 2018   | 6  | 4  | 3   | 2  | 1  | 4  | 3   | 4    | 5  | 4  | 7  | 1   | 44     |
| Всього | 52 | 48 | 42  | 23 | 35 | 25 | 33  | 22   | 50 | 62 | 57 | 64  | 513    |

З таблиці видно, що у 2009 році всього днів з туманами було виявлено 58 випадків, з них максимальна кількість спостерігалася в вересні – 9 днів, по 8 днів було зафіксовано в листопаді й лютому. Найменша кількість – 2 дні – має місце у квітні та серпні, жодного туману не виявлено у грудні. У 2010 році визначено найбільшу кількість днів з туманами за період дослідження – 70, з яких максимум спостерігався в травні – 10 випадків, по 9 днів виявлено у вересні та жовтні, мінімум – 2 дні – у березні. За 2011 рік визначено 45 днів з туманами, максимальна кількість була зафіксована у січні та грудні – 6 випадків, у липні та листопаді спостерігається по 5 днів, а мінімальна кількість має місце у серпні – всього 1 день, у квітні не було жодного туману. Протягом 2012 року виявлено 42 випадки, з яких 7 днів у жовтні та листопаді – максимальна кількість та мінімальна у січні, березні, червні та липні – 2 дні, в травні тумани не спостерігались. За 2013 рік зафіксовано 45 днів з туманами, максимум – 9 днів – у жовтні, мінімум – 1 день – у лютому та з червня по серпень. У 2014 році випадків – 51, максимум – 10 днів – у грудні, мінімальне значення – 1 день – спостерігається у липні. За 2015 рік зафіксовано 50 днів з туманами: максимум в грудні – 10 днів, мінімум – 1 день – у квітні, тумани не спостерігались у серпні. Протягом 2016 року було нараховано 50 днів, з яких максимум – у грудні – 13 випадків, мінімум – 1 день – у лютому та червні. У 2017 визначено 58 випадків, з яких максимальна кількість – 8 днів – спостерігається у січні, березні та жовтні, мінімум має місце у квітні і становить 1 день. За 2018 рік виявлено 44 дні з туманами, максимум – у листопаді – 7, мінімальна кількість спостерігається у травні і складає 1 день.

Найбільшу кількість днів з туманами у Львові за період в 10 років було виявлено в грудні – 64 дні. За холодний період, з жовтня до березня включно, в пункті дослідження спостерігалось 325 епізодів, що складає 63 % від загального розподілу. В теплий період у Львові за 10 років було виявлено 188 днів, максимум визначено у вересні – 50, мінімум зафіксовано в серпні – 22 дні з туманами.

В таблиці 4.5 наведено річний розподіл туманів по місяцях за період дослідження на станції Одеса. З таблиці видно, що у 2009 році було виявлено всього 97 днів з туманами, з яких максимум спостерігався в листопаді – 19 випадків; мінімум – 1 день було виявлено в липні. У 2010 році має місце найбільша кількість днів з туманами за період дослідження – 113. Найбільше значення – 15 днів зафіксовано у листопаді, мінімум – 3 дні – у вересні.

Таблиця 4.5 – Річний хід кількості днів з туманами на станції Одеса за період 2009-2018 рр.

| Рік    | I   | II | III | IV | V  | VI | VII | VIII | IX | X  | XI | XII | Всього |
|--------|-----|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|--------|
| 2009   | 16  | 7  | 10  | 3  | 4  | 9  | 1   | 3    | 2  | 10 | 19 | 13  | 97     |
| 2010   | 12  | 11 | 7   | 14 | 14 | 8  | 5   | 5    | 3  | 6  | 15 | 13  | 113    |
| 2011   | 17  | 1  | 6   | 3  | 3  | 4  | 8   | 1    | 4  | 8  | 6  | 16  | 77     |
| 2012   | 10  | 2  | 3   | 12 | 9  | 8  | 2   | 0    | 13 | 6  | 12 | 8   | 85     |
| 2013   | 12  | 11 | 8   | 5  | 10 | 7  | 0   | 2    | 2  | 16 | 10 | 12  | 98     |
| 2014   | 7   | 12 | 5   | 8  | 10 | 2  | 1   | 4    | 0  | 11 | 7  | 15  | 82     |
| 2015   | 13  | 7  | 5   | 5  | 11 | 3  | 4   | 1    | 10 | 6  | 7  | 10  | 82     |
| 2016   | 10  | 9  | 9   | 10 | 11 | 5  | 4   | 3    | 2  | 6  | 5  | 4   | 78     |
| 2017   | 8   | 15 | 14  | 6  | 3  | 5  | 5   | 0    | 11 | 6  | 10 | 12  | 95     |
| 2018   | 11  | 8  | 14  | 7  | 6  | 1  | 5   | 2    | 4  | 6  | 8  | 14  | 86     |
| Всього | 116 | 83 | 81  | 73 | 81 | 52 | 35  | 21   | 51 | 81 | 99 | 117 | 890    |

За 2011 рік спостерігалось 77 днів з туманами, максимальна кількість була виявлена у січні – 17 випадків, а мінімум показника визначено у лютому та серпні – 1 день. Протягом 2012 року виявлено 85 випадків, з яких 13 днів у вересні –

максимальна кількість та мінімальна у лютому та липні – 2 дні, в серпні цього року тумани не спостерігались. За 2013 рік зафіксовано 98 днів з туманами, максимум – 16 днів – у жовтні, мінімум – 2 дні – у серпні та вересні, в липні туманів не виявлено. У 2014 році визначено 82 дні з туманами, максимум – 15 днів – у грудні, мінімум – 1 день – у липні, не спостерігались тумани у вересні. За 2015 рік зафіксовано 82 випадки: максимум мав місце в січні – 13 днів, мінімум – 1 день – у серпні. В 2016 році було нараховано 78 днів, з яких максимум – в травні – 11 випадків, мінімум – 2 дні – у вересні. Протягом 2017 року спостерігалось 95 днів з туманами, максимум – 15 днів – виявлено у лютому, мінімум – 3 дні – у травні, не було зафіксовано туманів у серпні. За 2018 рік визначено 86 днів, з яких найбільше значення має місце у березні та грудні – 14 випадків, мінімальна кількість спостерігається у червні – 1 день. Загалом, найбільшу кількість днів з туманами за період в 10 років було виявлено з жовтня по березень включно, тобто в холодний період року. Всього зафіксовано в цей період 577 днів. Максимуми спостерігалися в грудні та січні – 117 і 116 днів відповідно. В теплий період, з квітня по вересень включно, в Одесі за період дослідження визначено 313 дні з туманами. Найменшу кількість туманів зафіксовано в серпні – 21 день. Аналіз річного ходу кількості туманів дає можливість зробити висновок, що за період дослідження в холодний період року кількість туманів в Одесі майже в 2 рази більша, ніж в теплий.

#### 4.2 Сезонні коливання кількості днів з туманами

Відомо, що режим туманів характеризується сезонною мінливістю. Наступним завданням у дослідженні туманів в Україні є визначення змін

кількості днів з явищем по сезонах. В таблиці 4.6 представлено розподіл туманів по сезонах на станції Вінниця за період дослідження.

Таблиця 4.6 – Сезонний розподіл кількості днів з туманами на станції Вінниця за період 2009-2018 рр.

| Сезон  | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Всього |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| Зима   | 26   | 19   | 17   | 9    | 27   | 19   | 26   | 8    | 15   | 20   | 186    |
| Весна  | 4    | 3    | 2    | 0    | 7    | 9    | 2    | 1    | 7    | 7    | 42     |
| Літо   | 0    | 3    | 1    | 2    | 2    | 3    | 0    | 2    | 1    | 6    | 20     |
| Осінь  | 17   | 9    | 5    | 18   | 11   | 14   | 10   | 8    | 14   | 20   | 126    |
| Всього | 47   | 34   | 25   | 29   | 47   | 45   | 38   | 19   | 37   | 53   | 374    |

Взимку максимальна кількість днів спостерігалась в 2013 році та становила 27 днів, а також достатньо велику кількість зафіксовано у 2009 та 2015 роках – по 26 днів. Найменшу кількість було визначено протягом 2012 та 2016 років – 9 та 8 днів відповідно. Весною максимум днів виявлено в 2014 році – 9 епізодів, а мінімум зафіксовано в 2016 році, який становить 1 день. В 2012 році у весняний сезон туманів взагалі не було виявлено. Влітку максимальна кількість спостерігалась у 2018 році – 6 днів, мінімум – 1 день – у 2011 та 2017 роках. Протягом 2009 та 2015 років влітку туманів не зафіксовано. Восени максимум визначено у 2018 році – 20 днів, а мінімальна кількість спостерігається у 2011 році – 5 днів.

Сезонний розподіл кількості днів з туманами свідчить, що найбільша за період дослідження кількість спостерігалась взимку – 186 днів, що становить майже 50 % від загальної кількості. Восени було зафіксовано у Вінниці за період в 10 років 126 днів з туманами. Наступним по кількості туманів є весняний



період, протягом якого було виявлено 20 випадків. Мінімальну кількість днів було визначено влітку – 20 днів.

В таблиці 4.7 представлено мінливість туманів по сезонах на станції Харків за період дослідження. Взимку максимальна кількість днів спостерігалась в 2017 році і становила 29 днів. Велика кількість днів з туманами зафіксована в 2013 й 2016 роках – 26 та 25 випадків відповідно. Найменшу кількість було визначено в 2010 та 2012 роках – 13 днів. Весною максимум днів виявлено в 2016 та 2018 роках – по 9 днів, а мінімум зафіксовано в 2013 – 1 день та 2 дні у 2015 році. Влітку максимальна кількість спостерігалась у 2018 році та становить 4 дні, по 3 дні з туманами виявлено в 2013, 2015 й 2016 роках. Мінімальна кількість в 1 день зафіксована у 2009 та 2014 роках, а з 2010 по 2012 та в 2017 роках туманів взагалі не було. Восени максимум визначено 2013 – 18 й 16 днів у 2017 роках, а мінімум у 2011 році – 4 дні. Дослідження сезонного ходу кількості днів з туманами дає можливість стверджувати, що найбільша кількість за період 2009-2018 рр. спостерігалась взимку – 203 дні, що становить 54 % від загального розподілу. Восени цей показник має значення 104 випадки, весною він складає 54 дні. Мінімальне число випадків було виявлено влітку – 15 днів.

Таблиця 4.7 – Сезонний розподіл кількості днів з туманами на станції Харків за період 2009-2018 рр.

| Сезон  | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Всього |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| Зима   | 21   | 13   | 14   | 13   | 26   | 18   | 20   | 25   | 29   | 24   | 203    |
| Весна  | 8    | 6    | 4    | 3    | 1    | 4    | 2    | 9    | 8    | 9    | 54     |
| Літо   | 1    | 0    | 0    | 0    | 3    | 1    | 3    | 3    | 0    | 4    | 15     |
| Осінь  | 13   | 9    | 4    | 12   | 18   | 7    | 6    | 10   | 16   | 9    | 104    |
| Всього | 43   | 28   | 22   | 28   | 48   | 30   | 31   | 47   | 53   | 46   | 376    |

В таблиці 4.8 представлено розподіл туманів по сезонах на станції Київ за період дослідження. Взимку максимальна кількість днів спостерігалась в 2009 та 2014 роках та становила 25 та 24 дні відповідно. Найменшу кількість було визначено в 2012 році – 5 днів. Весною максимум днів виявлено в 2018 році – 8 днів, а мінімум зафіксовано в 2011 та 2016 роках – 1 день, у 2015 році днів з туманами не зафіксовано.

Таблиця 4.8 – Сезонний розподіл кількості днів з туманами на станції Київ за період 2009-2018 рр.

| Сезон  | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Всього |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| Зима   | 25   | 18   | 14   | 5    | 19   | 24   | 15   | 7    | 15   | 18   | 160    |
| Весна  | 2    | 2    | 1    | 3    | 5    | 6    | 0    | 1    | 5    | 8    | 33     |
| Літо   | 0    | 0    | 3    | 3    | 0    | 3    | 0    | 2    | 0    | 0    | 11     |
| Осінь  | 15   | 9    | 2    | 17   | 12   | 6    | 6    | 5    | 4    | 12   | 88     |
| Всього | 42   | 29   | 20   | 28   | 36   | 39   | 21   | 15   | 24   | 38   | 292    |

Влітку максимальна кількість спостерігалась у 2011, 2012 й 2014 роках – по 3 дні, 2 дні виявлено у 2016 році, в інших роках туманів не було взагалі. Восени максимум визначено в 2012 та в 2009 роках – 17 і 15 днів відповідно, по 12 епізодів зафіксовано в 2013 й 2018 роках, а мінімальні значення спостерігаються у 2017 та 2011 роках – 4 і 2 дні відповідно.

Сезонний розподіл кількості днів з туманами свідчить, що найбільша за період дослідження кількість спостерігалась взимку – 160 днів. Восени було зафіксовано в Києві за період в 10 років 88 днів з туманами. Наступним по кількості туманів є весняний період, протягом якого було виявлено 33 випадки. Мінімальну кількість днів було визначено влітку – 11 днів.

В таблиці 4.9 представлено розподіл туманів по сезонах на станції Львів за період дослідження. Взимку максимальна кількість днів спостерігалась в 2014 та 2015 роках та становила 21 день, в 2017 й 2010 роках також зафіксовано велику кількість випадків – 20 і 19 днів відповідно. Найменшу кількість було визначено в 2011 та 2018 роках – 11 днів. Весною максимум днів виявлено в 2010 році – 15 днів та 13 днів у 2016 році, а мінімум зафіксовано в 2011 та 2018 роках – по 6 днів. Влітку максимальна кількість спостерігалась у 2010 році – 12 днів, по 11 та 10 днів виявлено у 2018 й 2009 роках відповідно. Мінімум – 3 дні – зафіксовано в 2013 році. Восени максимум визначено протягом 2010 року, який становить 24 дні, а мінімум спостерігався в 2011 та 2014 роках – 13 днів.

Таблиця 4.9 – Сезонний розподіл кількості днів з туманами на станції Львів за період 2009-2018 рр.

| Сезон  | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Всього |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| Зима   | 15   | 19   | 16   | 11   | 13   | 21   | 21   | 17   | 20   | 11   | 164    |
| Весна  | 12   | 15   | 8    | 6    | 10   | 10   | 8    | 13   | 12   | 6    | 100    |
| Літо   | 10   | 12   | 8    | 7    | 3    | 7    | 7    | 6    | 9    | 11   | 80     |
| Осінь  | 21   | 24   | 13   | 18   | 19   | 13   | 14   | 14   | 17   | 16   | 169    |
| Всього | 58   | 70   | 45   | 42   | 45   | 51   | 50   | 50   | 58   | 44   | 513    |

Найбільша кількість днів з туманами за період 2009-2018 рр. спостерігалась восени – 169 днів. Взимку кількість днів складала 164 випадки. Весною показник становив 100 днів. Мінімальне число випадків було виявлено влітку – 80 днів.

В таблиці 4.10 представлено мінливість туманів по сезонах на станції Одеса за період дослідження. Взимку максимальна кількість днів спостерігалась в 2009 та 2010 рр. та становила 36 днів. Найменшу кількість було визначено в 2012 році – 20 днів. Весною максимум днів виявлено в 2010 році – 35 днів, а мінімум

зафіксовано в 2009 році – 17 днів. Влітку максимальна кількість днів з туманами спостерігалась у 2010 році – 18 днів, мінімум – 7 днів – у 2014 році. Восени максимум визначено у 2009 та 2012 роках – 31, а мінімум у 2016 – 13 днів.

Таблиця 4.10 – Сезонний розподіл кількості днів з туманами на станції  
Одеса за період 2009-2018 рр.

| Сезон  | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Всього |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| Зима   | 36   | 36   | 34   | 20   | 35   | 34   | 30   | 23   | 35   | 33   | 316    |
| Весна  | 17   | 35   | 12   | 24   | 23   | 23   | 21   | 30   | 23   | 27   | 235    |
| Літо   | 13   | 18   | 13   | 10   | 9    | 7    | 8    | 12   | 10   | 8    | 108    |
| Осінь  | 31   | 24   | 18   | 31   | 28   | 18   | 23   | 13   | 27   | 18   | 231    |
| Всього | 97   | 113  | 77   | 85   | 95   | 82   | 82   | 78   | 95   | 86   | 890    |

З таблиці видно, що найбільша кількість днів з туманами за період 2009-2018 рр. спостерігалась взимку – 316 днів. Мінімальне число випадків було виявлено влітку – 108 днів. Весною та восени кількість днів складала 235 та 231 відповідно.

## 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ КІЛЬКОСТІ ДНІВ З ТУМАНАМИ

Наступним кроком у дослідженні режиму туманів над територією України є виявлення закономірностей просторової мінливості цього явища у деяких обласних центрах, що були розглянуті у попередніх розділах роботи. На рис. 5.1 представлено просторовий розподіл кількості днів з туманами в Одесі, Києві, Вінниці, Харкові і Львові.

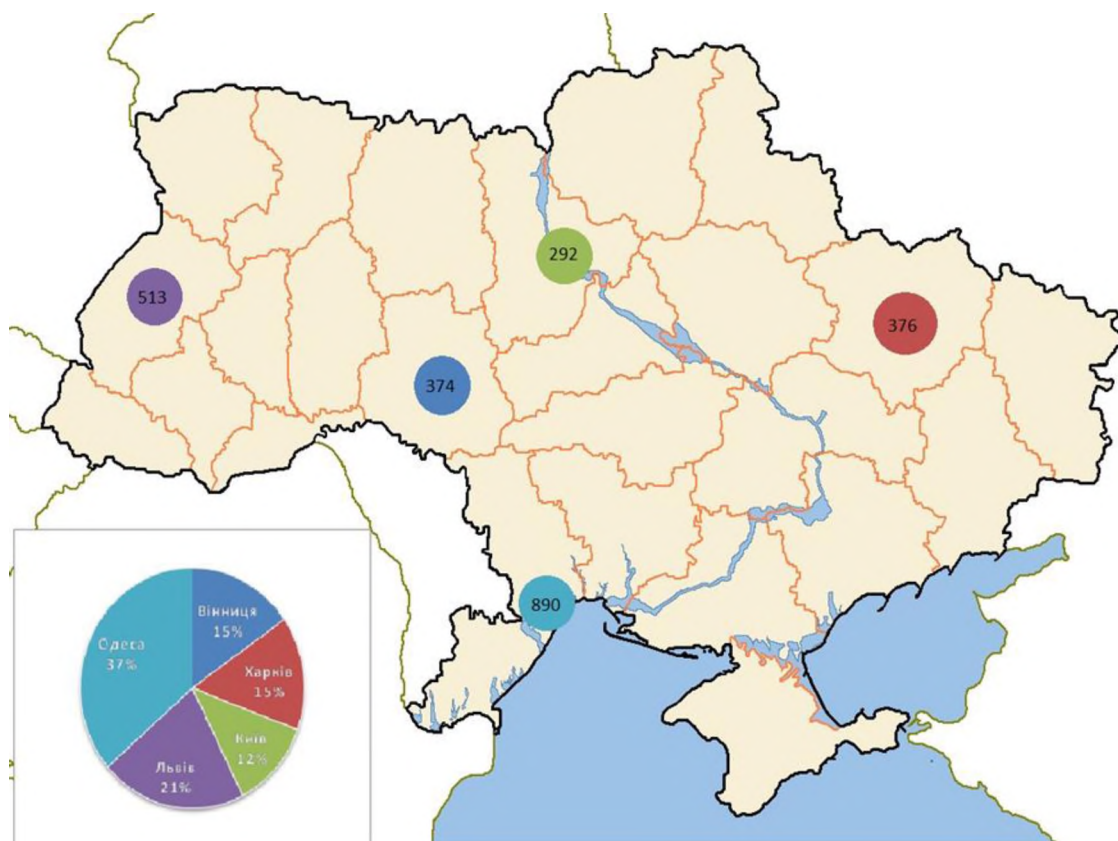


Рисунок 5.1 – Кількість днів з туманами за період 2009-2018 рр.

На карті видно, що максимальне значення кількості днів з туманами спостерігається на півдні України, а саме, у місті Одеса і становить 890 випадків

за 10 років, що дорівнює 37 % від загальної кількості днів з туманами по всіх станціях за обраний період. Наступним регіоном по великій кількості туманів виступає західна Україна, яка представлена в роботі містом Львів. У Львові за період дослідження зафіксовано 513 днів з туманами, що становить 21 % від загального розподілу. Мінімальна кількість днів спостерігається на півночі України, що представлена містом Київ. В північному регіоні виявлено 292 випадки і цей показник дорівнює 12 % від загального значення. Східний регіон визначається пунктом Харків, в якому виявлено 376 днів з туманами. Центральну Україну в дослідженні визначає станція Вінниця, тут зафіксовано 374 дні з туманами, що становить 15 % від загальної кількості епізодів. Загальна кількість днів з туманами за період 2009-2018 роки за станціях дослідження становить 2445 випадки.

Відомо, що режим туманів залежить від температурного, вітрового й вологісного режиму території, що розглядається. Неважко бачити, що найбільша кількість днів з туманами спостерігається в південному регіоні, де формуються найбільш сприятливі умови для виникнення цього явища.

Цікавим є питання мінливості туманів в місячному розподілі. На рис. 5.2 наведено зміну кількості днів з туманами по місяцям на станціях дослідження за період 2009-2018 рр. У січні максимальна кількість днів спостерігається в Одесі та складає 116 випадків. Велике число днів з таким явищем зафіксовано в східній і центральній Україні, що становить 87 й 74 епізоди відповідно. Північній Україні притаманна невелика кількість туманів, яка дорівнює 65 дням. Мінімальна кількість спостерігається у Львові і становить 52 випадки. Для лютого максимум складає 83 випадки в Одесі, на станції Вінниця кількість днів з туманами становить 53 епізоди. Протягом лютого східна та західна Україна характеризується майже однаковою кількістю туманів 49 й 48 випадків відповідно. Найменше число днів зафіксовано у Києві – 39 епізодів. В березні максимальна кількість днів з туманами за визначений період спостерігалась в

Одесі – 81 день. Наступним по значущості виявлено західний регіон – у Львові відмічається 42 дні з туманами. Центральний та східний регіони мають однакове число днів – 32, а мінімум – 28 днів – спостерігається у Києві.

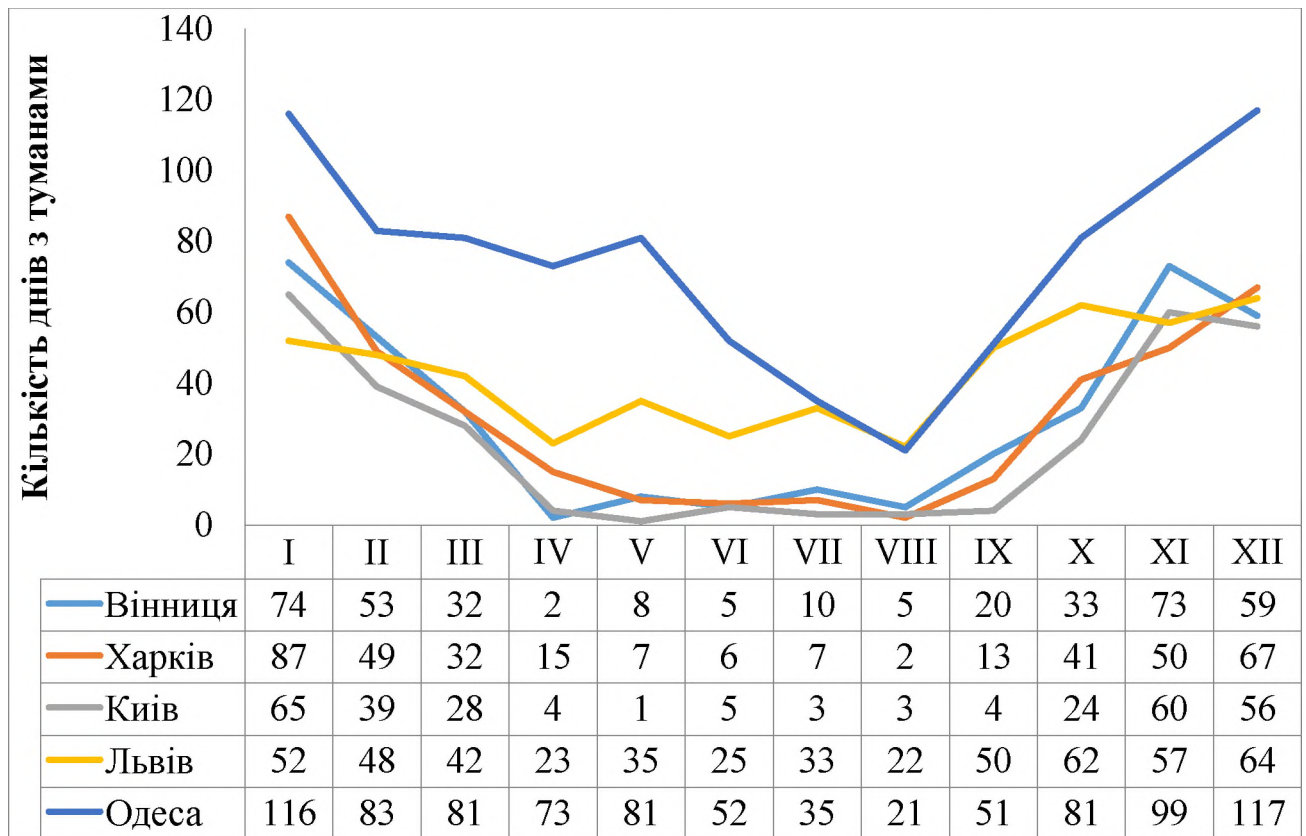


Рисунок 5.2 – Кількість днів з туманами по місяцях за період 2009-2018 рр.

У квітні максимальна кількість днів зафіксована в Одесі – 73 випадки, що суттєво відрізняється від інших станцій. Західний і східний регіони характеризуються невеликою кількістю епізодів – 23 й 15 випадків відповідно. На півночі і в центрі України виявлено 4 і 2 дні з туманами. Протягом травня визначено найбільшу кількість на півдні країни – 81 день, у Львові спостерігається 35 епізодів, у Вінниці, Харкові і Києві зафіксовано 8, 7 й 1 випадок відповідно. В червні максимум – 52 дні – виявлено в Одесі, на заході

України мають місце 25 днів з туманами. Для інших регіонів країни є характерною кількість 5-6 днів з туманами. У липні максимальна кількість спостерігається у Львові та Одесі – 33 та 35 випадків відповідно, мінімум зафіксовано в Києві – 3 дні. Центральна та східна Україна характеризується 10 і 7 днями з туманами відповідно. Протягом серпня найбільше число виявлено у Львові – 22 випадки, що є виключенням із місячного розподілу, коли максимумами зазвичай спостерігаються в Одесі. В даному випадку на півдні на один день з туманами менше. В інших регіонах країни зафіксовано від 5 до 2 епізодів. У вересні максимумами виявлено у Львові та Одесі – 50 та 51 випадок відповідно, найменше число визначено на півночі регіону дослідження і становить 4 дні в Києві. На станціях Вінниця і Харків визначено 20 і 13 днів відповідно. Для жовтня характерною є максимальна кількість в Одесі, що складає 81 день. Наступним по кількості випадків визначено Львів, де спостерігається 62 дні з туманами. На станціях Харків й Вінниця зафіксовано 41 й 33 епізоди відповідно. Найменше число днів виявлено в Києві – 24 дні. У листопаді максимальну кількість – 99 днів – зафіксовано в Одесі, мінімальну – 50 днів – у Харкові. Невелика кількість днів також спостерігається у Львові і становить 57 випадків. Центральні та північні регіони характеризуються кількістю 73 й 60 днів. Для грудня максимум знову виявлено в Одесі – 117 випадків, мінімум у Вінниці та Києві – 59 та 56 днів відповідно. Майже однакову кількість визначено на сході та заході країни – 67 й 64 випадки.

В річному ході на станції Вінниця максимальну кількість днів з туманами зафіксовано в січні – 74 і в листопаді – 73 випадки. Суттєвою кількістю днів відмічаються і грудень й лютий, де спостерігається 59 й 53 епізоди відповідно. Невелика кількість характерна для червня і серпня – по 5 днів, а мінімум випадків виявлено в квітні, що становить 2 дні. У Харкові максимум днів зафіксовано в січні – 87 епізодів, великою кількістю характеризується і грудень – 67 днів. Найменша кількість спостерігається в літні місяці – 6 днів у червні і 2 випадки в



серпні. Київ не є виключенням – максимум зафіксовано в січні 65 днів. Достатньо велика кількість спостерігається в листопаді – 60 днів. Найменше число днів виявлено в травні – 1 день, що є мінімумом для всіх станцій для всіх місяців за весь період дослідження. У Львові найбільша кількість днів з туманами притаманна грудню й жовтню – 64 й 62 випадки. На відміну від попередніх станцій у весняно-літній період спостерігається набагато більша кількість туманів, хоча для цього регіону є мінімальними значеннями. В Одесі виявлено найбільшу кількість днів майже у всі місяці по відношенню до інших станцій з максимальними значеннями в грудні й січні 117 й 116 випадків відповідно.

Наступний етап роботи – це дослідження сезонного режиму туманів на території України. На рис. 5.3 зведено інформацію про сезонний розподіл кількості днів з туманами.

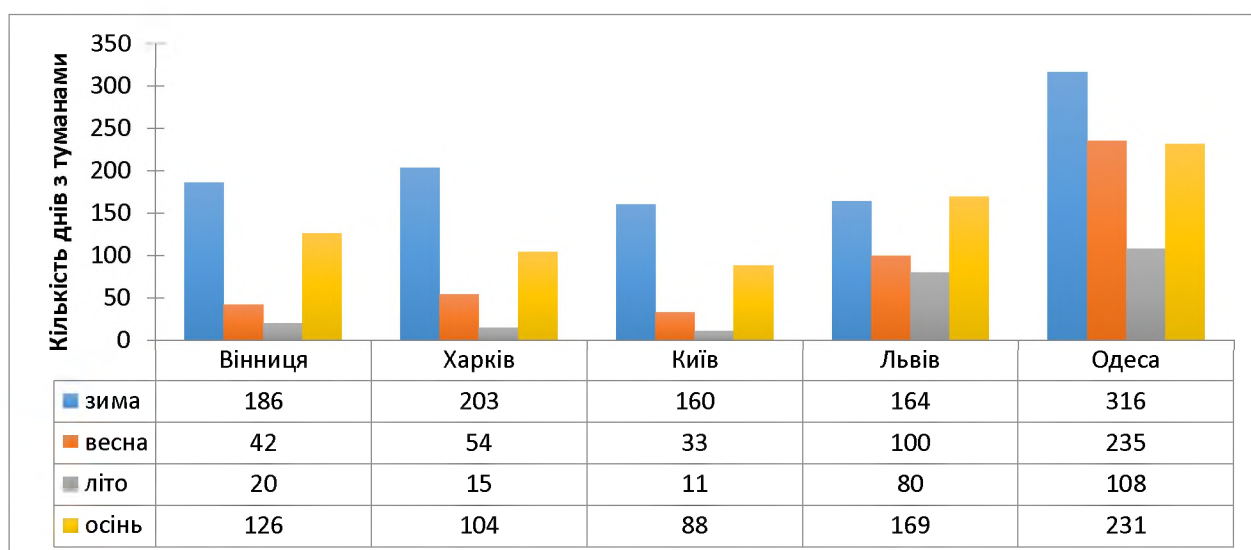


Рисунок 5.3 – Розподіл кількості днів з туманами за сезонами за період 2009-2018 рр.

З гістограми видно, що максимальна кількість днів з туманами притаманна зимовому сезону на всіх досліджуваних станціях, за винятком Львова, де найбільша кількість днів зафіксована восени. Найбільше число днів

спостерігається в цей сезон в Одесі – 316 випадків, наступним по кількості виявлено Харків – 203 випадки. Майже вдвічі менше ніж в Одесі днів у Вінниці – 186 епізодів. Для Києва і Львова характерною є мінімальна кількість туманів – 160 і 164 дні відповідно. В осінньому сезоні виявлено також велику кількість днів з туманами з максимумом в Одесі – 231 випадок і мінімумом в Києві – 88 днів. Велика кількість випадків спостерігається і у Львові в цей сезон – 169 епізодів. Для Вінниці і Харкова визначено 126 й 104 дні з туманами відповідно. Для весни найбільша кількість днів з туманами зафіксована в Одесі – 235 випадків, що майже дорівнює кількості восени. Велике число виявлено і у Львові у порівнянні з іншими станціями – 100 днів. В інших регіонах кількість днів коливається в межах від 33 днів у Києві, 42 днів – і Вінниці і 54 випадки – у Харкові. Літній сезон характеризується найменшим числом днів з цим явищем. Максимальна кількість традиційно спостерігається в Одесі – 108 випадків, на другому місці знову розташований Львів із 80 днями. На інших станціях цей показник значно менший: у Вінниці – 20, у Харкові – 15, у Києві – 11 днів з туманами.

Загальну кількість днів з туманами по сезонах представлено на рис. 5.4.

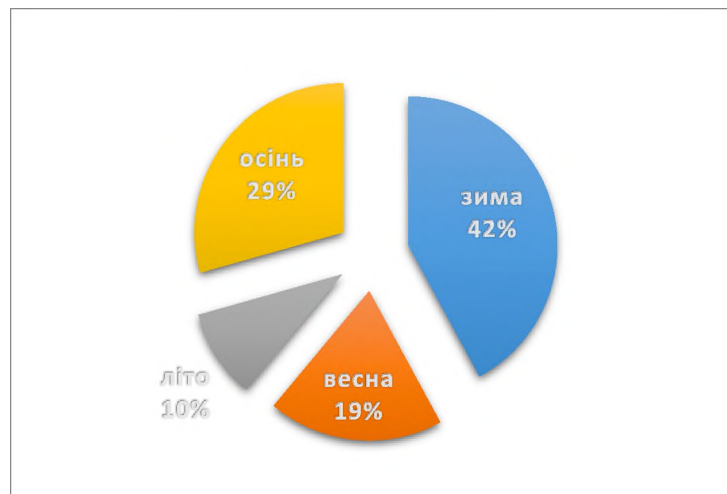


Рисунок 5.4 – Кругова діаграма кількості днів з туманами за сезонами за період 2009-2018 рр.

З діаграми видно, що найбільша кількість туманів спостерігається взимку і становить 42 % від загальної кількості досліджуваних випадків. Достатньо велике число днів зафіксовано восени – 29 % і весною – 19 % випадків. Мінімальне значення кількості днів з туманами виявлено влітку – 10 %.

Одним з кліматичних параметрів є розподіл кількості днів з туманами за холодний і теплий період. В табл. 5.1 представлено мінливість цього показника за період дослідження.

Таблиця 5.1 – Кількість днів з туманами за холодний і теплий період за 2009-2018 рр.

| Період | Вінниця | Харків | Київ | Львів | Одеса | Всього |
|--------|---------|--------|------|-------|-------|--------|
| ХП     | 291     | 285    | 248  | 263   | 496   | 1583   |
| ТП     | 83      | 91     | 44   | 250   | 394   | 862    |
| Всього | 374     | 376    | 292  | 513   | 890   | 2445   |

З таблиці видно, що кількість днів з туманами за холодний і теплий період суттєво різняться в залежності від регіону. Для сходу, півночі й центра країни характерним є значно більша кількість днів з туманами у холодний період, хоча цей період по протяжності менший, ніж теплий (ХП – листопад-березень, ТП – квітень-жовтень): Харків – ХП – 285, ТП – 91 випадок, Київ – ХП – 248, ТП – 44 дні, Вінниця – ХП – 291, ТП – 83 дні. Західний регіон характеризується майже однаковою кількістю днів за холодний і теплий період – 263 й 250 епізодів. Для півдня виявлено 496 днів за холодний і 394 дні за теплий періоди.

Одним з важливих питань у дослідженні режиму туманів є річна мінливість цього явища на території України. На рис. 5.5 наведено інформацію про просторовий розподіл кількості днів з туманами в пунктах спостереження. Максимальна кількість днів у 2009 році спостерігається в Одесі та становить

97 випадків. На інших станціях число днів суттєво зменшується: у Львові в цьому році зафіксовано 58 днів з туманами, у Вінниці – 47 випадків, для Харкова і Києва визначено 43 та 42 епізоди відповідно. У 2010 році максимальна кількість днів з туманами становить 113 випадків і спостерігається на станції Одеса. В цьому році велику кількість днів виявлено у Львові – 70 днів, що є максимальним річним значенням для даної станції за весь період досліджень. Для Вінниці цей показник складає 34 дні, а у Харкові та Києві дорівнює 28 та 29 дні відповідно. Протягом 2011 року максимум становить 77 випадків і спостерігається в Одесі. Наступним по кількості туманів знову виявляється Львів із значенням 45 днів. Невелике число днів зафіксовано у Харкові й Києві – 22 і 20 днів відповідно.

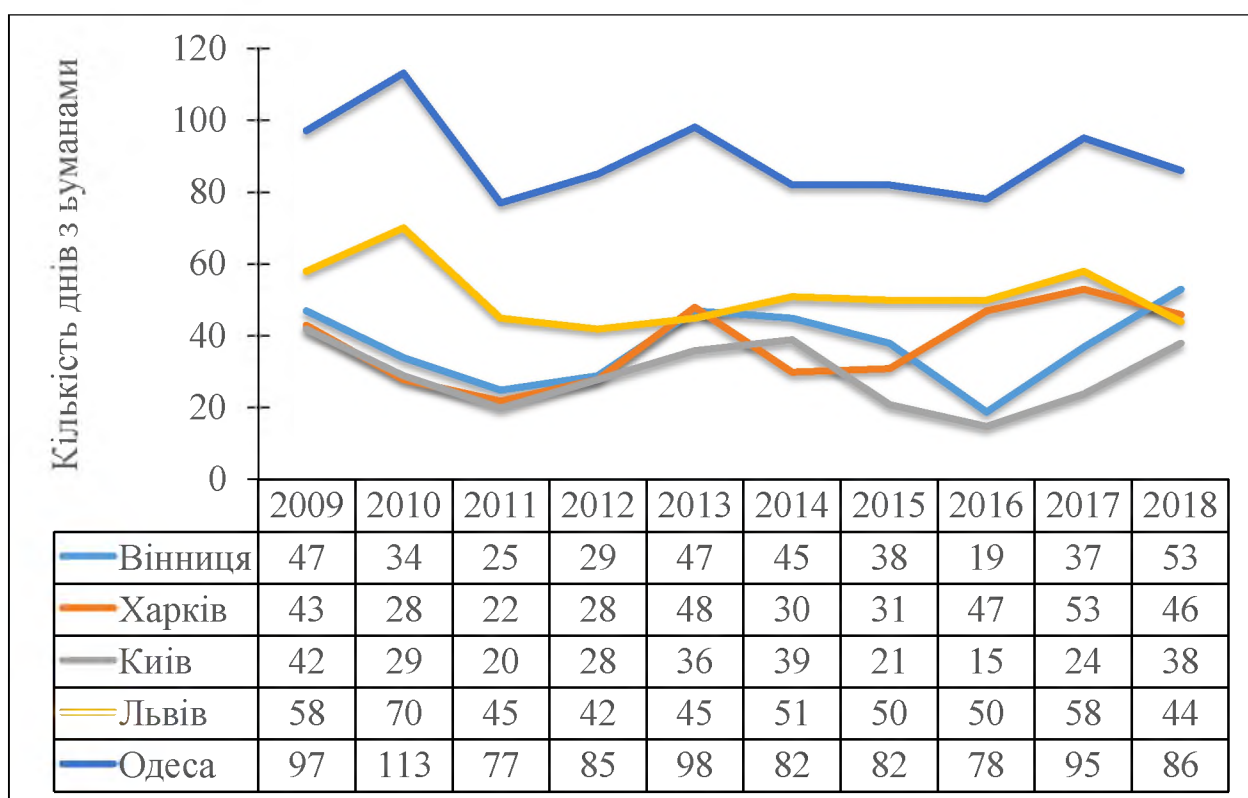


Рисунок 5.5 – Розподіл кількості днів з туманами по роках за період 2009-2018 рр.

У 2012 році максимум спостерігається в Одесі – 85 днів, мінімум – 28 днів – у Харкові та Києві. Для Вінниці цей показник також невеликий і складає 29 днів, на відміну від Львова, де число днів становить 42. Максимальна кількість днів виявлена в Одесі у 2013 році і становить 98 епізодів, мінімальна – 36 випадків – у Києві. В інших регіонах країни цей показник коливається в межах від 45 днів у Львові, 47 випадків – у Вінниці і 48 днів – у Харкові. У 2014 році максимальна кількість складає 82 дні в Одесі, мінімальна у Харкові – 30 днів. Наступним після Одеси визначено місто Львів, де кількість становить 51 день. Для Вінниці і Києва притаманна невелике число днів. Для 2015 року максимум зафіксовано в Одесі – 82 дні, мінімальна кількість у Києві – 21 день. У Вінниці та Харкові виявлено 38 й 31 випадок відповідно, а для Львова цей показник становить 50 днів. В 2016 році максимум виявлено в Одесі 78 днів з туманами, що є одним з найменших показників за весь період дослідження. Західній та східний пункти досліджень мають достатньо велику кількість днів 50 й 47 епізодів. А у Вінниці й Києві спостерігаються найменші показники за період 2009-2018 рр. 19 й 15 випадків відповідно. Протягом 2017 року максимум становить 95 днів і зафіксований в Одесі, мінімум дорівнює 24 випадкам і визначений у Києві. В цьому році в Харкові виявлено найбільшу кількість днів з туманами за весь період дослідження, що становить 53 випадки. Для Львова притаманне також суттєве число днів – 58, а у Вінниці спостерігається 37 епізодів. У 2018 році максимальна кількість днів з туманами зафіксована в Одесі і становить 86 випадків, мінімальну кількість виявлено в Києві – 38 днів. В цьому році максимум за період визначено для станції Вінниця і складає 53 випадки. Західний і східний регіони відзначаються майже однаковим числом 44 й 46 днів відповідно. Аналіз рис. 5.5 дозволяє виявити особливості режиму туманів на кожній досліджуваній станції. У Вінниці за визначений період максимальна кількість днів з туманами спостерігається у 2009, 2013 та 2018 роках і становила 47, 47 та 53 випадки відповідно, мінімальну кількість визначено у

2016 році – 19 днів. Невелика кількість випадків притаманна і для 2011 й 2012 років і становить 25 і 29 днів відповідно. Для Харкова максимум зафіксовано у 2013 та 2017 роках і становить 48 та 53 дні відповідно. Необхідно зауважити, що в період з 2016 року кількість днів з туманами у цьому пункті значно збільшилася, що, можливо, пов'язано із змінами температурного, вітрового й вологісного режимів. В період з 2010 по 2012 роки в Харкові спостерігається спад показника з мінімумом 22 дні у 2011 році. У Києві максимум становить 42, 39 та 38 днів у 2009, 2014 та 2018 роках відповідно. Мінімальна кількість спостерігається у 2016 році – 15 днів. У Львові максимум виявлено у 2010 році, який становить 70 днів, мінімум – 42 дні – у 2012 році. В Одесі визначено найбільшу кількість днів з туманами у порівнянні з іншими станціями за весь період дослідження з максимумом у 2010 році, що становить 113 днів. Мінімальну кількість зафіксовано у 2011 та 2016 роках – 77 та 78 днів відповідно.

На рис. 5.6 представлено гістограму розподілу кількості днів з туманами по роках сумарно для всіх досліджуваних станцій.

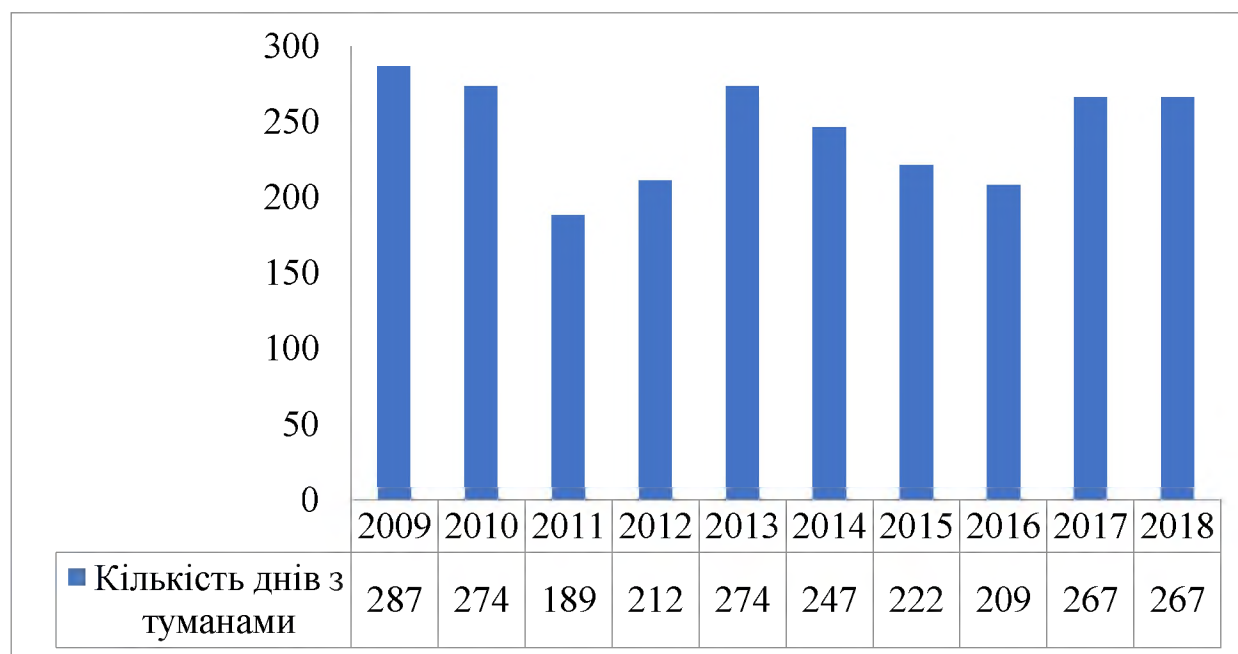


Рисунок 5.6 – Кількість днів з туманами на станціях дослідження по роках

Аналіз гістограми дає можливість зробити припущення, що режим туманів в Україні має коливальний характер з періодом 4-5 років. З рисунка видно, що максимальна кількість спостерігається у 2009, 2013 та 2017-2018 роках та становить 287, 274 та 267 днів з туманами відповідно. Мінімум виявлено в 2011 та 2016 роках – 189 та 209 випадків.

## ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі проведено дослідження режиму туманів на території України за період 2009-2018 роки. Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити наступні висновки.

Найбільша кількість днів з туманами спостерігається на півдні України, а саме, у місті Одеса і становить 890 випадків. Наступним регіоном по великій кількості туманів виступає західна Україна. У Львові за період дослідження зафіксовано 513 днів з туманами. Мінімум туманів визначено на півночі України, де виявлено 292 випадки і цей показник дорівнює 12 % від загального значення. Східний регіон визначається пунктом Харків, який характеризується 376 днями з туманами. Центральну Україну в дослідженні представляє станція Вінниця, тут зафіксовано 374 дні з туманами. Загальна кількість днів з туманами за період 2009-2018 роки за станціях дослідження становить 2445 випадки. Режим туманів залежить від температурного, вітрового й вологісного режиму території, що розглядається. Максимум днів з туманами спостерігається в південному регіоні, де формуються найбільш сприятливі умови для виникнення цього явища.

В місячному розподілі найбільш активними процеси туманоутворення визначені в січні і грудні. Загалом, за зимові місяці у пунктах дослідження зафіксовано 42 % днів з туманами від загального розподілу. В осінній сезон формується 29 % явища. Найменшу кількість туманів визначено влітку.

Кількість днів з туманами за холодний і теплий період суттєво різняться в залежності від регіону. Для сходу, півночі й центра країни характерним є значно більша кількість днів з туманами у холодний період, хоча цей період по протяжності менший, ніж теплий. Західний регіон характеризується майже однаковою кількістю днів за холодний і теплий період, для півдня виявлено в холодний період туманів на чверть більше, ніж у теплий.



Розподіл кількості днів по роках сумарно для всіх досліджуваних станцій свідчить, що режим туманів в Україні має коливальний характер з періодом 4-5 років. Максимальне число спостерігається у 2009, 2013 та 2017-2018 роках та становить 287, 274 та 267 днів з туманами відповідно. Мінімум виявлено в 2011 та 2016 роках – 189 та 209 випадків.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Школьный С.П. Фізика атмосфери: Підручник. К.: КНТ, 2007. 486 с.
2. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометиздат, 1984. 751 с.
3. Мазин, И.П. Облака. Строение и физика образования. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 279 с.
4. Сторм, Д. Атлас погоды: атмосферные явления и прогнозы: пер. с англ. С-Пб.: Амфора, 2010. 191 с.
5. Задачник по общей метеорологии. Под ред. В. Г. Морачевского. Л.: Гидрометеиздат, 1984. С. 237.
6. Дроздов О.А. Климатология. Л.: Гидрометеиздат, 1989. С. 568.
7. Івус Г.П. Спеціалізовані прогнози погоди: Підручник. Одеса. 2010. 407 с.
8. Практикум з синоптичної метеорології. Під ред. Івус Г.П., Іванової С.М. Одеса: ТЕС, 2004. 419 с.
9. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 302 с.
10. Недострелова Л.В., Фасій В.В. Часовий розподіл кількості туманів у Харкові. Науковий журнал «Актуальные научные исследования в современном мире». Выпуск 4 (48). Часть 2. м. Переяслав-Хмельницький, 2019. С. 69-73.
11. Фасій В.В. Сезонні коливання кількості туманів у Харкові. Збірник статей за матеріалами студентської наукової конференції ОДЕКУ. Одеса, 15-18 квітня 2019 р. С. 214-218.
12. Фасій В.В., Недострелова Л.В. Дослідження часової мінливості кількості днів з туманами в Одесі. Вестник ГМЦ ЧАМ. Випуск № 23. 2019. С. 17-25.
13. Недострелова Л.В., Фасій В.В. Аналіз часового ходу кількості днів з туманами в Одесі. IV Международная научно-практическая конференция «SCIENTIFIC

ACHIEVEMENTS OF MODERN SOCIETY», 4-6 декабря 2019 года, Ливерпуль, Великобритания. С. 300-304.

14. Фасій В.В., Недострелова Л.В. Тумани як небезпечний фактор життєдіяльності сучасної людини. Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективні технології для забезпечення безпеки життєдіяльності та довголіття людини», ОНМУ, 14-15 травня 2020 року, м. Одеса.