**DOI https://doi.org/10.30525/978-9934-26-212-8-2**

# ВПЛИВ СУЧАСНИХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА АВІАЦІЮ НА ПРИКЛАДІ АМСЦ ХЕРСОН

**Волошина О. В., Родінова І. О.**

## ВСТУП

Інтенсивний розвиток авіації, автомобільного транспорту та морського флоту викликає підвищений інтерес до туманів. Останнім часом безліч аварій у всіх видах транспорту викликано наявністю поганої погоди. При туманах та інших явищах, які обумовлюють погану видимість, польоти іноді виконувати неможливо. Тому припущення утворення і розсіювання туманів має велике значення.

Виникнення туманів часто призводить до закриття аеропортів за погодних умов. Найбільшу небезпеку для авіації представляють адвективні тумани, як найбільш тривалі за часом, мають найбільшу вертикальну потужність і здатні виникнути в будь-який час доби.

Кліматичні умови району враховуються не тільки при метеорологічному забезпеченні польотів повітряних суден, а й при плануванні польотів, а також при плануванні роботи служб аеродрому.

Зміна клімату в даний час розглядається багатьма державами як один з найважливіших глобальних викликів нашого століття. Причиною зміни клімату є динамічні процеси на Землі, зовнішні впливи, такі як коливання інтенсивності сонячного випромінювання, та з недавніх пір діяльність людини.

У Глазго (Шотландія) 31 жовтня 2021 року розпочалась кліматична конференція ООН, мета якої – підтримувати рівень глобального потепління якомога ближче до мети 1,5 °С, встановленої Паризькою угодою 2015 року. Цей показник є порогом, за яким зміни клімату можуть мати незворотні наслідки на всі екосистеми. Втім, на думку вчених, із кожним роком ця мета все більш недосяжна. Температура планети вже зросла на 1,1 градуса й, за поточними прогнозами до 2100 року може загалом збільшитись на 2,7 градуса. Це призведе до танення льодовиків, підвищення рівня світового океану та збільшення ймовірності виникнення природних катаклізмів. Низка держав оголосили про намір переслідувати більш жорсткі цілі у боротьбі з глобальним потеплінням.

Тумани відносяться до небезпечних атмосферних явищ, що погіршують видимість, і роблять великий вплив не тільки на транспорт, а й на інші види народного господарства. З огляду на це, слід спрямувати зусилля на виявлення дійсних причин виникнення і розподілу туманів. Це дозволить більш точно враховувати ці характеристики при плануванні роботи транспорту та інших галузей. У великих містах все частіше туман поєднується з утворенням смогу, що вкрай несприятливо позначається на здоров'ї та самопочутті людей. Тому вивчення даної тематики є важливим і актуальним на сьогоднішній день

Детальна характеристика та виявлення закономірностей поширення туману на певній території дають уявлення про регіональні зміни клімату, які відбуваються протягом десятиліть, і можуть бути використаними при прогнозуванні даного явища.

## 1. Вплив сучасних кліматичних змін на авіацію

Сучасні глобальні та регіональні зміни клімату сприяють збільшенню частоти екстремального стану погоди та призводять до катастрофічних наслідків, зумовлених стихійними явищами. Причиною такої флуктуації клімату є аномальні циркуляційні процеси, що відбуваються в атмосфері.

Погода істотно впливає на всю діяльність авіації. Вона швидко і часто змінюється у часі та просторі.

Мінливість погоди тягне за собою необхідність чіткого метеорологічного забезпечення кожного польоту. Кліматичні дані внаслідок відносної сталості клімату певного району чи певної авіатраси не потрібні для забезпечення окремих польотів. Але вони необхідні при вирішенні питань більшого масштабу, наприклад, при плануванні рейсів на сезон, виборі типу літака для польотів по певній трасі в заданих кліматичних умовах, оцінці умов посадки в різних аеродромах, плануванні сільськогосподарських і будівельних робіт, льодовій розвідці, проектуванні аеропортів.

Герберт Пюмпель, представник ВМО у Комітеті ІКАО з охорони навколишнього середовища від впливу авіації з 2000 року. Його пояснення потенційного впливу зміни клімату на польоти відіграють важливу роль у підвищенні інтересу зацікавлених авіаційних організацій до пов'язаних із кліматом ризиків для авіатранспортного сектора. Пюмпель дає уявлення про те, як можуть здійснюватися польоти в атмосферних умовах, що змінилися в найближчому майбутньому.

**Вплив на повітряний транспорт загального підвищення температури.** Передбачувані максимальні значення підвищених температур в поєднанні з підвищеними значеннями питомої вологості в деяких районах могли б мати серйозний вплив на злітні характеристики в високорозташованих аеропортах або аеропортах з короткими злітно-посадковими смугами, обмежуючи вантажопідйомність або споживання палива. Ці дії потребують проведення більш детальних аналізів для різних регіонів.

На планування вильоту далеких авіарейсів у більш прохолодні вечірні та нічні години в деяких регіонах подальший вплив буде надавати скорочення періоду нічної прохолоди, при якому часто спостерігається висока хмарність, частково обумовлена конденсаційними слідами літаків, що довго зберігаються. У цих випадках ефект нагрівання, що викликається пір'ястими хмарами, уповільнює радіаційне охолодження в нічний період і може являти собою додаткову проблему. У деяких районах це може ще більше скоротити і без того обмежений час роботи.

Проблема глобального потепління починає безпосередньо стосуватися і аеровокзалів. Ті з них, які не обладнані достатньою потужною системою кондиціювання повітря, будуть змушені проходити повну реконструкцію. Крім того, у старих аеропортах вже зараз починає виявлятися така проблема, як ув'язування літаків у розплавленому асфальті.

Втім, не лише спека негативно впливає на аеропорти. Очевидно, що зі зміною клімату та посиленням вихрових потоків навігаційне обладнання в авіаційних вузлах вимагатиме повного переоснащення.

**Потенційні впливи більш дрібномасштабних локальних явищ, що впливають на безпеку польотів.** Наукові дослідження майбутніх впливів зміни клімату на авіацію стикаються з проблемою, що полягає в тому, що багато метеорологічних явищ із значними впливами та наслідками пов'язані з просторовими та тимчасовими масштабами, які значно поступаються за величиною тим масштабам, які реалізовані в сучасних прогностичних моделях. Ця проблема стає ще більш очевидною при використанні кліматичних моделей зі значно нижчою роздільною здатністю, тому для отримання, як мінімум, статистично надійних результатів для дрібно- та мікромасштабних явищ будуть потрібні інтелектуальні методи даунскейлінгу, статистична подальша обробка та більш передові методи використання концептуальних моделей. Це стосується метеорологічних явищ зі значними впливами та наслідками, таких як конвекція та пов'язані з нею явища від

низькорівневого зсуву вітру до граду та ударів блискавок, турбулентності при ясному небі та турбулентності орографічних гірських хвиль, а також турбулентності поблизу верхньої межі та низькорівневого зсуву вітру, поганої видимості та низької хмарності.

**Обледеніння та піщані/пильні бурі.** Обледеніння літака вважається проблемою для цивільної авіації. Наявність великих переохолоджених крапель при діапазоні температур від –4 до –14 °С залежить від ряду умов. До таких умов відносяться наявність великої кількості водяної пари, мезомасштабної смуги висхідних потоків повітря і обмежена концентрація відповідних аерозолів, що виконують функцію ядер конденсації, які сприяють утворенню великих переохолоджених крапель.

Тенденція загального потепління і збільшення вологості на деяких широтах при більш активній динаміці потоку – все це вказує на підвищену імовірність появи умов, сприятливих для обледеніння.

На сьогодні, при значному розвитку метеорологічних і кліматичних досліджень, глобальній зміні клімату приділяється значна увага, а такий стан клімату, який сформувався за останні роки, ставить перед науковцями завдання дослідження сучасних особливостей формування атмосферних явищ, особливо небезпечних та стихійних, одним з яких є туман.

Міжнародним організаціям, таким як ІКАО або Європейське агентство з безпеки польотів, необхідно розробити інструктивну документацію та моделі передової практики для підтримки управління ризиками. Ці організації мають залучити усі зацікавлені сторони – від операторів, пілотів, начальників аеропортів та фірм-виробників до урядів та керівників служби держнагляду з техніки безпеки. Багатодисциплінарна робота вчених спільно з експертами з оперативної діяльності та безпеки могла б зробити внесок у підготовку проектів такої інструктивної документації. Важливо, щоб інструктивна документація регулярно переглядалася і оновлювалася з тим, щоб відображати статистичні дані про клімат, що виникають і змінюються.

## 2. Небезпечні явища для діяльності авіації

В Україні майже щорічно у будь-якому районі створюються умови виникнення стихійних метеорологічних явищ. Стихійні метеорологічні явища мають аномальний характер утворення і пов'язані з особливостями циркуляційних процесів, на які впливає орографія[1].

[1] «Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986–2005 рр.)» / За ред. В. М. Ліпінського, В. І. Осадчого, В. М. Бабіченко. Київ : Ніка-Центр, 2006. 312 с.

Стихійні метеорологічні явища зазвичай спостерігаються у комплексі, що значно посилює їх негативний вплив. Так, зливові дощі супроводжуються грозами, градом, штормовим вітром; хуртовини – снігопадом та сильним вітром, відкладенням мокрого снігу, обледенінням тощо.

За даними гідрометеорологічної служби України, у державі упродовж 2011–2020 років зафіксовано 2752 випадки стихійних метеорологічних явищ. Особливістю останнього 10-річчя є значна кількість випадків дощу, вітру та снігу, які досягли критеріїв стихійного явища.

Так, у зв'язку із кліматичними змінами 7 серпня 2016 року в Одесі за неповні чотири години випало понад 90 мм опадів, а шквали вітру сягали до 29 м/с. У Івано-Франківській області 22–23 червня 2020 року інтенсивність дощів склала 106–168 мм, що спричинило катастрофічні повені, що призвели до трагічних наслідків.

На підставі аналізу статистичних даних та прогностичних показників визначили регіони України, у яких найбільш можливі стихійні метеорологічні явища. До локальних територій потенційних затоплень в Україні віднесли Закарпатську, Львівську, Чернівецьку, Івано-Франківську та інші області.

Атмосферна турбулентність, гроза, ожеледиця (переохолоджений дощ, мряка, крижаний дощ), а також атмосферні явища, що погіршують видимість і ускладнюють польоти (туман, хуртовина, сніг, дощ, мряка), відносяться до небезпечних для авіації явищ погоди.

Несприятливі і насамперед стихійні явища погоди завжди перебувають у царині інтересів учених-кліматологів як екстремальні складові природного середовища.

Сильний дощ формується за складної взаємодії макро- і мікромасштабних синоптичних процесів та орографії. Найчастіше (60 %) сильні дощі випадають під час переміщення південних і південно-західних циклонів з Чорного моря і Середньодунайської низовини, а також внаслідок блокуючих синоптичних процесів, що є одним з головних факторів формування сильних опадів. Вони утворюються під час переміщення холодних фронтів із заходу (15 %) у глибоких улоговинах, де створюються умови для розвитку хвильового збурення. Рідше (10 %) сильні опади спостерігаються під час активізації малорухомих фронтів у районі Чорноморської депресії і під час формування над територією України малорухомих циклонів (5 %). Сильні опади випадають також при переміщенні циклонів з північного заходу та на стаціонарних фронтах (10 %).

Під час переміщення південних циклонів сильний дощ може випадати у будь-якій частині України і охоплювати значну територію. Опади, зумовлені переміщенням холодних фронтів із заходу, відмічається здебільшого на півночі України. Під час переміщення циклону з північного заходу опади випадають у північних і східних регіонах, а за активізації Чорноморської депресії – на півдні країни. Кількість опадів, їх повторюваність, інтенсивність залежать від багатьох чинників: місця формування, стадії розвитку, потужності, траєкторії руху, вологовмісту циклону, а також від фізико-географічних умов, орографії, місцевих особливостей території.

Снігопади – це одна із важливих характеристик зимового сезону в Україні. Залежно від особливостей циркуляції атмосфери іноді відзначаються дуже сильні снігопади, які належать до стихійних гідрометеорологічних явищ. Це снігопади з кількістю опадів 20 мм та більше 12 годин і менше.

На території України у зимовий сезон залежно від особливостей циркуляції атмосфери іноді відмічається дуже сильний снігопад (кількість опадів 20 мм і більше за 12 год та менше), який відносять до стихійного метеорологічного явища. Інколи він буває весною і восени.

Сильні снігопади, зазвичай, пов'язані з виходом на територію України південних і південно-західних циклонів (50 %) із Середземного моря, а також західних (10 %) і північно-західних циклонів (10 %) із Західної Європи. За таких умов дуже сильні снігопади бувають в Українських Карпатах і західних областях. Рідко (10 %) їх формування спричиняють фронти, що переміщуються в улоговинах «пірнаючих» циклонів і у штормовий зоні між циклонами над Чорним морем і антициклоном над європейською частиною Росії.

Сильні снігопади виникають у меридіональній зоні Дніпропетровськ – Суми внаслідок стаціонування області низького тиску над Чорним морем та блокуючих процесів (10 %) під час активізації циклону над заходом Сибіру, а також проходження із заходу холодного фронту із хвильовими збуреннями або на теплих фронтах (10 %).

В аеропортах через сильні снігопади відбуваються скасування та затримки рейсів. Будь-які сильні дощі та снігопади ускладнюють переліт. Під час опадів дуже погіршується видимість. Роботі аеропортів заважає також сильний вітер. Так, у січні 2014 року сніг та хуртовини паралізували дороги в центрі, на півдні та на сході України. У деяких областях висота снігового покриву складала від 1 до 1,7 метра.

Великий град (діаметр частинок 20 мм і більше) – стихійне метеорологічне явище, яке завжди завдає значної шкоди. Швидкість

падіння градин досягає 25–27 м/с. Градини діаметром 30 мм і більше можуть пробити в літаку вм'ятини, взагалі знищити посіви і навіть побити дрібну худобу; повторюваність такого граду в Україні становить майже 20 %[2].

До градоутворення призводять також циклони, що стаціонують над територією України. У літні місяці формування граду найчастіше відбувається під впливом фронтальних процесів, а в квітні та вересні зумовлено внутрішньомасовими процесами. Холодні фронти з півночі також призводять до випадання крупного граду[3].

Особливо крупний град відмічається у денні години на фронтах з хвильовими збуреннями. Різноманітність фізико-географічних умов також впливає на просторовий розподіл граду. Українські Карпати, Кримські гори і височини Донецька, Волинська, Подільська та Придніпровська) сприяють розвитку висхідних потоків, посиленню турбулентності у приземному карі повітря і збільшенню конвективної хмарності, а отже посиленню градових процесів.

26 червня 2021 року у Бучанському районі Київської області, у селі Бобриця, на відстані близько 10 км від Києва випав град, розміром до 5 см у діаметрі. Шматки льоду ламали не лише садові рослини, а й ушкоджували автомобілі. У серпні 2021 року в Сумській області та Миронівці (Київська область) випав великий град діаметром 38 мм[4].

За своїми фізичними властивостями туман подібний до хмар, з яким має багато спільного за процесами утворення. Тим паче вони тісно взаємопов'язані: піднімаючись, туман переходить у низькі розірвано-шаруваті хмари, і, навпаки, при зниженні хмар до приземного шару утворюють явище туман.

Залежно від висоти верхньої межі шару туману можна умовно розрізняти: поземні тумани при висоті до 2 м, низькі 2–10 м, середні – 10–100 м і високі – понад 100 м. Крім туману та серпанку, погіршення видимості може бути викликане запиленістю повітря чи його задимленістю у зв'язку з лісовими чи торф'яними пожежами тощо.

Тумани складаються з крапельок води («водяний туман») або з крижаних кристалів («крижаний туман»). Величини крапельок туману значною мірою залежать від температури повітря: з підвищенням температури краплі стають більшими. Середні

[2] Климат Украины / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ : Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.

[3] Сулаквелидзе Г. К. Ливневые осадки и град. Л. Гидрометеоиздат. 1968.

[4] Український гідрометеорологічний центр. URL: http://www.meteo.gov.ua

розміри крапель за позитивних температур досягають радіуса 7–15 μ, а при негативних – 2–5 μ.

Підраховане число крапель туману в одиниці об'єму сильно коливається в широких межах. У середньому 1 $см^3$ при слабкому тумані міститься 50–100 крапельок, а за сильному тумані – 500–600 крапель і більше.

Туман може утворитися лише після насичення або навіть деякого пересичення водяної пари. Тому відносна вологість у тумані, взагалі кажучи, має становити 100 %. Такі ж показники відносної вологості спостерігаються у хмарах. До таких спостережень слід ставитися критично, враховуючи недосконалість станційних методів вимірювання вологості повітря, особливо при негативних температурах.

Тумани утворюються, коли повітряна маса охолоджується до температури нижче точки роси. Процес охолодження може відбуватися внаслідок різних фізичних процесів. Велику роль у цьому відіграє тепловий баланс, приплив та відтік тепла.

Аналіз теплового балансу та інших умов показує, що найбільше суттєвими процесами утворення туману є: 1) радіаційне охолодження підстилаючої поверхні та від її повітряної маси (радіаційні тумани); 2) охолодження теплої повітряної маси при її горизонтальному переміщенні (адвекції) вздовж холодної поверхні, що підстилає (адвективні тумани); 3) адіабатичне охолодження повітряної маси при піднятті вздовж схилів височин і гір (тумани схилів); 4) конвективне перемішування повітря при розташуванні холодної повітряної маси над теплою водною поверхнею.

У всіх цих випадках не менш важливе значення має турбулентність повітряного руху, через який охолоджується більш потужний шар повітря підстилаючої поверхні. Найчастіше утворення та розсіювання туманів залежить від багатьох додаткових факторів: а) зволоження та охолодження повітря завдяки випаровуванню випадаючих опадів та випаровування з підстилаючої поверхні; б) конденсація (сублімація) пари на підстилаючій поверхні; в) склад та стан ґрунту; г) рельєф місцевості; д) зниження тиску в горизонтальному потоці повітря, що рухається, і деякі інші.

Отже, тумани утворюються за участю комплексу метеорологічних процесів, які розділити не завжди вдається.

Тумани в Україні найчастіше бувають у холодний період року (особливо в грудні-лютому). Протягом року найбільша кількість днів з туманами характерна для Карпат і Кримських гір (понад 120 днів), а також для території, що простяглася широкою смугою від Донецького

кряжа на захід через усю Україну; найменше туманів буває на узбережжі Чорного моря, особливо у Криму (15–30 днів).

Так, наприклад, за інформацією Укргідрометцентру, 5 листопада 2021 року над аеродромом Одеса був сильний туман і дощ. Видимість у зоні посадки не перевищувала 400 метрів, а вертикальна видимість – лише 30 м[4].

28 листопада 2021 року у північних, більшості західних, центральних та південних областях України спостерігався туман, з видимістю 200–500 м (І рівень небезпеки, жовтий).

20 грудня 2020 року через туман на Правобережжі, у Чернігівській та Сумській областях видимість становитила від 200 до 500 метрів. У зв'язку із цим синоптики оголосили перший (жовтий) рівень небезпеки.

Тумани створюють несприятливі умови для земного, водного й, особливо, авіаційного транспорту, через що науково-дослідні інститути розробляють і впроваджують різні методи розсіювання тумані. Штучне створення туманів використовується в наукових дослідженнях, хімічній промисловості, теплотехніці та інших галузях.

Вітер – переміщення повітряних мас відносно земної поверхні. Він пов'язаний з нерівномірним розподілом атмосферного тиску та нестійкістю в атмосфері. Вітер рідко буває стійким і характеризується посиленням або послабленням його складової – швидкості. Збільшення баричних градієнтів і як результат, посилення вітру спостерігається переважно у зимовий та перехідні сезони. Сильний вітер з максимальною швидкістю 25 м/с і більше відносять до стихійного метеорологічного явища, яке завдає матеріальних збитків економіці[5]. У цілому на території України вітер зі швидкістю 25 м/с і більше відмічається щорічно (100 %-ва ймовірність).

Важливою характеристикою вітрового режиму є швидкість вітру, яка визначається баричним градієнтом та умовами циркуляції. Найбільша середня місячна швидкість вітру спостерігається майже на всій території України у лютому, іноді цей максимум припадає на січень або грудень. Різниця швидкості вітру між північними та південними районами у холодний період сягає 3,5 м/с. Найменша швидкість вітру відмічається влітку, коли Україна перебуває під впливом Азорського антициклону, а циклонічна діяльність послаблена. У липні-серпні на

[5] Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні (НЯ) та стихійні гідрометеорологічні явища (СГЯ) погоди. УкрГМЦ. Київ, 2003.

більшій частині території швидкість вітру зменшується до мінімальних значень[6].

Шквалом називається короткочасне місцеве посилення вітру до значень, які набагато перевищують значення градієнтного вітру у цьому районі. Більшість шквалів пов'язана з проходженням потужних купчасто-дощових хмар Cb з випаданням зливи або граду, що супроводжуються грозою. Однак спостерігаються і сухі шквали, коли при великій сухості нижнього шару повітря випадають опади не досягають поверхні землі (подібно до сухих гроз).

Смерч являє собою сильний вихор складної структури з вертикальною (нахиленою чи зігнутою) віссю, що опускається з нижньої межі потужних купчасто-дощових хмар до поверхні землі у вигляді білястої чи темноподібної воронки, яка обертається і характеризується значною швидкістю вітру, потужними низхідними (у центральній частині) і висхідними потоками, значною різницею атмосферного тиску від центра воронки до периферії, шо у комплексі створює надзвичайну енергію смерчу. Іноді виникає дугоподібний смерч з майже горизонтальною віссю.

Пилова буря – небезпечне явище, зумовлене перенесенням сильним вітром (15 м/с та більше) у період тривалого бездощів'я значної кількості пилу, частинок сухого ґрунту, піску, що спричинює значне погіршення видимості.

Сильні пилові бурі, що охоплюють великі площі, часто спостерігаються над південним сходом України і можуть продовжуватися декілька діб. При цьому явищі швидкість вітру досягає ураганної сили – 30 $м \cdot с^{-1}$ і більше. Пилові бурі виникають як за антициклонічної, так і за циклонічної діяльності[7].

На півдні і південному сході України бурі спостерігаються в теплий період року – з березня по вересень. Незвично сильні «чорні» бурі були в березні і квітні 1960 р. на півдні України. Східний і південносхідний вітер мав швидкість 16–28 $м \cdot с^{-1}$ при поривах до 40 $м \cdot с^{-1}$. Площа розповсюдження бурі досягла 1 млн. $км^2$. Видимість погіршувалася до

[6] Репетин Л. Н., Белокопытов В. Н. Режим ветра над побережьем и шельфом северо-восточной части Черного моря. Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту: Зб. наук. пр. 2008. Вип. 257. С. 84–105.

[7] Положення про порядок складання та передачі попереджень і донесень про виникнення стихійних явищ, різких змін6 погоди, поєднання небезпечних явищ та випадків екстремально високого забруднення природного середовища. Київ, Держгідромет, 1994. 169 с.

50 м. Висота підйому пилу, за даними розвідки погоди, перевищувала 1500 м, а на окраїнах Одеси досягала 2400 м. Зазвичай чорні бурі тривають не більше 5 год, але іноді бувають дуже тривалими.

З діяльністю вітру також пов'язане таке явище як хуртовина. Хуртовинну діяльність формують два взаємозумовлені процеси. Один – перенесення снігу, який випав раніше, та снігу, що випадає у даний момент (загальна хуртовина): другий – перенесення снігу, що випав раніше, над земною поверхнею (низова хуртовина). Розрізняють ще поземок – перенесення снігу у шарі, безпосередньо прилеглому до земної поверхні.

Інтенсивна хуртовинна діяльність зумовлена міжширотним обміном повітряних мас у холодний період. Основним синоптичним процесом, що спричинює утворення хуртовин є вихід південних та південно-західних циклонів. Проте вони розрізняються за характером розвитку, масштабом поширення та траєкторіями переміщення. Найчастіше (50 %) сильні хуртовини виникають під час переміщення циклонів із Середземного та Чорного морів на територію південних та центральних областей. Інший шлях таких циклонів проходить через Донецьку височину.

## 3. Просторово-часова мінливість туманів на АМСЦ Херсон за 2005–2020 роки

Відомо, що останні десятиліття кліматична система перебуває у нестійкому стані. Це призводить до глобального потепління клімату та зміни метеорологічних процесів, що відбуваються в атмосфері. У зв'язку з цим зроблено спробу оцінити можливий вплив потепління на утворення туманів у Херсонській області.

Був проведений порівняльний аналіз кліматологічних характеристик на АМСЦ Херсон за різні періоди: 1891–1960 рр., 1961–1990 рр. та 2005–2020 рр.

Проведена оцінка мінливості днів з туманом, тривалості даного явища та взаємозв’язок з глобальним потеплінням та зміною характеристик вологості.

В основу дослідження покладено метеорологічну інформацію, яка була отримана за строковими спостереженнями за холодний (листопад-березень) й теплий (квітень-жовтень) періоди на АМСЦ Херсон.

Холодний період року – період року, який характеризується середньодобовою температурою зовнішнього повітря, що дорівнює +10 ºС і нижче. Теплий період року – період року, який характеризується середньодобовою температурою зовнішнього середовища вище +10 ºС.

У таблиці 1 наведена загальна повторюваність туманів за період 2005–2020 рр на АМСЦ Херсон[8]. Дана таблиця показує, що в холодний період спостерігалася більша кількість туманів, ніж в теплий – 467 випадок (в середньому 29,2). На теплий період року припадає 182 випадків з туманом (в середньому 11,4). Найбільше туманів в холодний період спостерігалося в 2018 році (57), а в теплий в 2019 році (19). За весь період 2005–2020 було 649 випадків з туманом (в середньому припадає 40,6 на рік). Найбільша кількість туманів за рік була в 2019 році – 76 випадків.

Таблиця 1

**Загальна повторюваність туманів за період 2005–2020 рр. на АМСЦ Херсон**

| Рік/ Місяць | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Холод. пер. | Тепл. пер. | Рік |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2005 | – | 4 | 3 | 3 | 2 | – | – | – | – | 6 | 7 | 5 | 25 | 5 | 30 |
| 2006 | 4 | 5 | 6 | 1 | 3 | – | – | – | 2 | 4 | 7 | 7 | 29 | 10 | 39 |
| 2007 | 5 | 5 | 3 | 2 | 1 | 1 | – | – | 3 | 7 | 4 | 1 | 18 | 14 | 32 |
| 2008 | 2 | 4 | 4 | 4 | 1 | 1 | – | 1 | – | 6 | 7 | 3 | 20 | 13 | 33 |
| 2009 | 13 | 7 | 2 | 4 | – | 2 | – | – | 3 | 6 | 9 | 10 | 41 | 15 | 56 |
| 2010 | 5 | 6 | 3 | 4 | 3 | – | – | – | – | 2 | 5 | 7 | 26 | 9 | 35 |
| 2011 | 8 | – | 3 | 1 | 2 | – | – | – | 2 | 4 | 2 | 10 | 23 | 9 | 32 |
| 2012 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 | – | – | – | 4 | 2 | 7 | 5 | 16 | 11 | 27 |
| 2013 | 5 | 4 | 3 | 2 | – | – | – | – | 2 | 8 | 8 | 5 | 25 | 12 | 37 |
| 2014 | 4 | 7 | 5 | 1 | 4 | – | – | – | – | 3 | 6 | 7 | 29 | 8 | 37 |
| 2015 | 11 | 5 | 3 | – | – | – | – | – | 2 | 4 | 6 | 5 | 30 | 6 | 36 |
| 2016 | 4 | 8 | 4 | 3 | 4 | – | – | – | 2 | 7 | 3 | 5 | 24 | 16 | 40 |
| 2017 | 2 | 5 | 4 | 3 | – | – | – | – | 3 | 3 | 7 | 6 | 24 | 9 | 33 |
| 2018 | 10 | 8 | 10 | 3 | 2 | – | – | – | 3 | 4 | 13 | 16 | 57 | 12 | 69 |
| 2019 | 11 | 12 | 5 | 4 | – | – | – | 2 | 4 | 10 | 10 | 18 | 56 | **20** | 76 |
| 2020 | 4 | 4 | 2 | – | 2 | – | – | – | 4 | 7 | 4 | 10 | 24 | 13 | 37 |
| Сума | 91 | 85 | 61 | 38 | 26 | 4 | – | 3 | 34 | 83 | 105 | 120 | 467 | 182 | 649 |
| Середн. | 6.1 | 5.7 | 3.8 | 2.7 | 2.4 | 1.3 | – | 1.5 | 2.8 | 5.2 | 6.6 | 7.5 | 29.2 | 11.4 | 40.6 |
| Імовір-ність (%) | 16 | 13 | 9 | 6 | 4 | 0,4 | – | 0,4 | 5 | 11 | 16 | 20 | 73 | 27 | 100 |

Порівнюючи дані кількості днів з туманом за 2005–2020 роки з даними за 1891–1960 роки та 1961–1990 роки, що занесені у табл. 2 бачимо таку тенденцію. За 1961–1990 роки число днів з туманами

[8] Щоденники погоди АВ-6 по аеродрому Херсон (2005–2020 рр.)

збільшилось у порівнянні з попереднім періодом[9]. А за 2005–2020 роки середня кількість днів з туманом дещо зменшилась. Значне зменшення помітне у зимові місяці: у грудні на Херсонщині середнє число днів з туманом за період 1891–1960 роки становило 10 днів[10], а вже за 2005–2020 рр. в середньому налічується 7,5 днів; у січні середнє число днів з туманом з 9 (1891–1960 рр.) зменшилось до 6,1 днів (2005–2020 рр.); за лютий місяць середня кількість днів з туманом зменшилась з 7 до 5,7 днів.

Таблиця 2

**Середнє число днів з туманом у Херсоні за три періоди (2005–2020 рр., 1961–1990 рр., 1891–1960 рр.)**

| **Місяць** | **I** | **II** | **III** | **IV** | **V** | **VI** | **VII** | **VIII** | **IX** | **X** | **XI** | **XII** | **X–III** | **IV–IX** | **Рік** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2005–2020 | 6,1 | 5,7 | 3,8 | 2,7 | 2,4 | 1,3 | – | 1,5 | 2,8 | 5,2 | 6,6 | 7,5 | 29,2 | 11,4 | 40,6 |
| Місяць | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | X–III | IV–IX | Рік |
| 1961–1990 | 7,7 | 6,5 | 5,2 | 4,1 | 2,7 | 2,1 | 1,1 | 1,2 | 3,0 | 6,0 | 8,4 | 9,8 | 43,6 | 14,2 | 57,8 |
| Місяць | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | X–III | IV–IX | Рік |
| 1891–1960 | 9 | 7 | 5 | 3 | 2 | 0,8 | 0,4 | 0,5 | 2 | 4 | 7 | 10 | 42 | 9 | 51 |

За березень число днів з туманом у Херсоні зменшилось з 5 до 3,8 днів, а за квітень і травень майже не змінилось. У червні спостерігалось незначне збільшення середнього числа днів з туманом з 0,8 (1891–1960 рр.) до 2,1 дня (1961–1990 рр.), а потім зменшення до 1,3 дня (2005–2020 рр.). У липні за 2005–2020 роки туманів зовсім не було. За серпень-жовтень у 2005–2020 рр. спостерігається збільшення середнього числа днів з туманом у порівнянні з 1891–1960 рр. У листопаді за 2005–2020 роки середня кількість днів з туманом майже не змінилась у порівнянні з 1891–1960 рр., але зменшилась на 1,8 днів, якщо порівнювати з 1961–1990 рр.

Графічно порівняння середнього числа днів з туманом у Херсоні за різні періоди (2005–2020 рр., 1961–1990 рр., 1891–1960 рр.) представлено на рис. 1.

На рис. 2 зображений графік, що показує середнє число днів з туманом у Херсоні за холодний період, теплий період та протягом року (1891–1960 рр., 1961–1990 рр., 2005–2020 рр.).

[9] Косовець О.О. Кліматичний кадастр України. УкрНДГМІ та ЦГО. Київ, 2005.

[10] Справочник по климату СССР. Вып. 10: Украинская ССР. Часть 5. Облачность и атмосферные явления. Л. : Гидрометеоиздат, 1968.

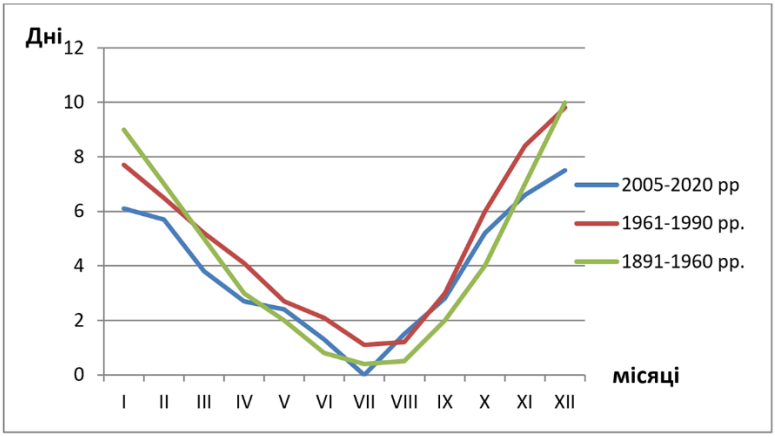


**Рис. 1. Середньомісячне число днів з туманом у Херсоні за три періоди (1891–1960 рр., 1961–1990 рр., 2005–2020 рр.)**

За період 1891–1960 рр. кількість днів з туманом протягом року становила 51 день, за 1961–1990 рр. – 57,8 днів, а за 2005–2020 рр. – 40,6 днів.

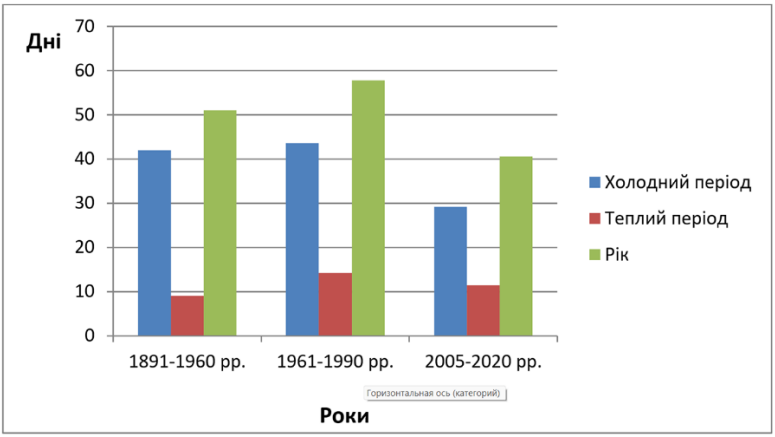


**Рис. 2. Середнє число днів з туманом у Херсоні за холодний період, теплий період та протягом року (1891–1960 рр., 1961–1990 рр., 2005–2020 рр.)**

Значно зменшилась кількість днів з туманною погодою за холодний період року – з 43,6 (1961–1990 рр.) до 29,2 днів (2005–2020 рр.); за теплий період з 14,2 до 11,4 днів. Найменше днів з туманом за теплий період нараховується протягом 1891–1960 рр. – 9 днів.

Зниження температури повітря є однією з основних причин конденсації водяної пари як поблизу земної поверхні, так і у вільній атмосфері. Внаслідок зниження температури утворюються найбільш інтенсивні тумани. Температура за останні 16 років в середньому вища, ніж в минулому столітті (табл. 3–5) і для досягнення стану вологонасичення та утворення туману потрібно більше водяної пари[11].

Таблиця 3

**Середня місячна і річна температура повітря та відносна вологість у Херсоні за довідником по клімату СССР (1891–1960 рр.)**

| Рік/Місяць | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Рік |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T °C | –3,2 | –2,6 | 2,2 | 9,3 | 16,2 | 20,0 | 23,0 | 21,9 | 16,8 | 10,5 | 4,1 | –0,8 | 9,8 |
| Відносна вологість, % | 88 | 84 | 79 | 67 | 63 | 62 | 59 | 59 | 66 | 75 | 85 | 84 | 73 |

Таблиця 4

**Середня місячна і річна температура повітря та відносна вологість у Херсоні за кліматичним кадастром (1961–1990 рр.)**

| Рік/Місяць | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Рік |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T°C | –3,0 | –1,8 | 2,3 | 10,0 | 16,0 | 19,9 | 21,9 | 21,3 | 16,4 | 9,8 | 4,4 | 0,1 | 9,8 |
| Відносна вологість, % | 85 | 84 | 79 | 70 | 66 | 65 | 63 | 62 | 68 | 76 | 86 | 88 | 74 |

Таблиця 5

**Середні місячні значення характеристик вологості за 2005–2020 рр.**

| Рік/Місяць | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Рік |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T °C | –1,0 | –0.3 | 4,6 | 10.7 | 16.8 | 22,5 | 24,1 | 24.1 | 17,9 | 10,9 | 5,1 | 1,7 | 11,8 |
| $T_d$ °C | –9,2 | –6,5 | 2,0 | 4,4 | 9,9 | 16,5 | 16,5 | 14,4 | 9,7 | 5,8 | 2,9 | –0.8 | 6,4 |
| f (%) | 85 | 84 | 74 | 68 | 67 | 67 | 63 | 55 | 62 | 75 | 86 | 88 | 73 |
| d °C | 8,2 | 6,2 | 2,6 | 6,3 | 6,9 | 6,0 | 7,6 | 9,7 | 8,2 | 5,1 | 2,2 | 2,5 | 5,4 |

[11] Справочник по климату СССР. Вып. 10: Украинская ССР. Часть 2. Температура воздуха и почвы Л. : Гидрометеоиздат. 1965.

Отже, основною причиною скорочення числа днів з туманом служить зменшення відносної вологості під впливом збільшення температури.

Порівнюючи дані характеристик температури та вологості за 2005–2020 роки з даними за довідником по клімату, бачимо, що річна температура в середньому на 2 °С вища, ніж за попередній період, а відносна вологість незначно збільшилась.

## ВИСНОВКИ

Отримані результати проведеного порівняльного аналізу кліматологічних характеристик на АМСЦ Херсон за різні періоди: 1891–1960 рр., 1961–1990 рр. та 2005–2020 рр. вказують на те, що кількість днів з туманом зменшилася за останній період у середньому з 51 до 41 днів на рік, а в холодний період значно з 42 до 29 днів.

Кількість туманів та його тривалість зменшується під впливом температурно-влажностного режиму. Зниження температури повітря є однією з основних причин конденсації водяної пари як поблизу земної поверхні, так і у вільній атмосфері. Внаслідок зниження температури утворюються найбільш інтенсивні тумани.

За останні 16 років річна температура в середньому підвищилася на 2 °С, ніж у минулому столітті і для досягнення стану вологонасичення та утворення туману потрібно більше водяної пари, на що вказують результати порівняльного аналізу відносної вологості.

## АНОТАЦІЯ

Оскільки погодні умови з туманом ускладнюють або лімітують роботу в багатьох галузях економіки, вивчення даної тематики є важливим і актуальним на сьогоднішній день, особливо у зв’язку з сучасними змінами клімату.

Задля безпеки польоту повітряного судна важливим є точний прогноз видимості, так як туман ускладнює спостереження, орієнтацію й управління літаком, що може призвести до аварійної ситуації. Окрім авіації утруднення виникають у діяльності залізничного, водного, автомобільного транспорту, адже при поганій видимості можуть виникати аварії на трасах. У великих містах все частіше туман поєднується з утворенням смогу, що вкрай несприятливо позначається на здоров’ї та самопочутті людей.

Проведено дослідження метеорологічних умов формування туманів, оцінено вплив місцевих геофізичних чинників, що сприяють утворенню туманів та проаналізовано розподіл туманів в часі. Отримані статистичні характеристики та синоптичні умови утворення туманів можуть бути використані для покращення методів прогнозування.

**Література**

1. «Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986–2005 рр.)» / За ред. В. М. Ліпінського, В. І. Осадчого, В. М. Бабіченко. Київ : Ніка-Центр, 2006. 312 с.

2. Климат Украины / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ : вид-во Раєвського, 2003. 343 с.

3. Сулаквелидзе Г. К. Ливневые осадки и град. Л. : Гидрометеоиздат. 1968.

4. Український гідрометеорологічний центр. URL: http://www.meteo.gov.ua

5. Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні (НЯ) та стихійні гідрометеорологічні явища (СГЯ) погоди. УкрГМЦ. Київ, 2003.

6 Репетин Л. Н., Белокопытов В. Н. Режим ветра над побережьем и шельфом северо-восточной части Черного моря. Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту: Зб. наук. пр. 2008. Вип. 257. С. 84–105.

7. Положення про порядок складання та передачі попереджень і донесень про виникнення стихійних явищ, різких змінб погоди, поєднання небезпечних явищ та випадків екстремально високого забруднення природного середовища. Київ, Держгідромет, 1994. 169 с.

8. Щоденники погоди АВ-6 по аеродрому Херсон (2005–2020 рр.).

9. Косовець О. О. «Кліматичний кадастр України» УкрНДГМІ та ЦГО. Київ, 2005.

10. Справочник по климату СССР. Вып. 10: Украинская ССР. Часть 5. Облачность и атмосферные явления. Л. : Гидрометеоиздат, 1968.

11. Справочник по климату СССР. Вып. 10: Украинская ССР. Часть 2. Температура воздуха и почвы Л. : Гидрометеоиздат. 1965.

**Information about the authors:**
**Voloshyna Olena Viktorivna,**
Candidate of Geographical Sciences,
Associate Professor at the Department of Meteorology and Climatology
Odessa State Environmental University
15, Lvivska str., Odesa, 65016, Ukraine

**Rodinova Iryna Oleksiivna,**
Master of Meteorology and Climatology
Odessa State Environmental University
15, Lvivska str., Odesa, 65016, Ukraine