

МЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ УТВОРЕННЯ ОЖЕЛЕДНО–ПАМОРОЗЕВИХ ТА СНІГОВИХ ВІДКЛАДЕНЬ В УКРАЇНІ

Ключові слова: атмосферне обледеніння, ожеледь, зерниста та кристалічна паморозь, мокрий сніг, дискримінантний аналіз

Постановка проблеми. Всі види атмосферного обледеніння біля поверхні землі, а саме: ожеледь, кристалічна та зерниста паморозь, мокрий сніг завдають надзвичайно великих збитків економіці країни: порушують нормальну експлуатацію повітряних ліній зв'язку й електропередачі, режим польотів в аеропортах, утруднюють роботу залізничного та автомобільного транспорту та призводять до значних негативних наслідків у сільському і лісовому господарстві. Відомі випадки катастрофічних обледенень [18, 20], з якими були пов'язані масові руйнування телекомунікацій, загибель худоби, посівів, деревних насаджень.

В останні 30–50 рр. на підставі стандартних метеорологічних спостережень, польових експериментів, досліджень в лабораторіях та за допомогою чисельних моделей було отримано ряд кліматичних характеристик просторового та часового розподілу ожеледно–паморозевих явищ та налипання снігу, метеорологічних та синоптичних умов, при яких виникає наземне обледеніння [18, 20]. Проте, незважаючи на отримання низки цінних результатів в області кліматології та метеорології атмосферного обледеніння, ще лишається багато регіонів, для яких взагалі відсутнє описання умов обледеніння в атмосфері, (насамперед, це гірські райони) або такі дані є застарілими. Україна є однією з таких країн, на теренах якої в останні роки дослідження в області атмосферного обледеніння проводились несистематично та нерегулярно і результати багатьох робіт в цій області потребують оновлення.

Серед задач, які для України потребують нагального розв'язання в області атмосферного наземного обледеніння, такі: 1) виявлення метеорологічних умов виникнення мокрого та замерзлого мокрого снігу (цю задачу ще й досі не розв'язано в багатьох розвинених країнах); 2) отримання точних метеорологічних критеріїв для розділення типів наземного обледеніння; 3) комплексний аналіз мікрофізичних та метеорологічних умов утворення атмосферного льоду; 4) районування території України за ожеледодонебезпечністю.

Аналіз попереднього досвіду. Існує два основних підходи до вивчення умов атмосферного обледеніння, перший з яких полягає у вивченні саме метеорологічних та синоптичних умов випадіння різних типів опадів, які викликають обледеніння біля поверхні землі і на висотах, саме такого підходу

дотримуються на протязі останніх десятиріч іноземні вчені у своїх дослідженнях [14, 16, 22, 23, 25, 26–29]. Серед робіт цього напрямку вітчизняних та російських вчених слід відзначити роботи Волевахи Н.М., Кошенко А.М. [1, 2, 5, 6] та Шакіної Н.П. [10–13, 24].

Взагалі у роботах, які виконувались з цього питання на теренах колишнього СРСР і які виконуються зараз в Україні, реалізується інший підхід до розв'язання проблеми – отримання різних кліматичних характеристик атмосферного наземного обледеніння, а саме метеорологічні умови наростання та зберігання ожеледно–паморозевих та снігових відкладень, часово-просторовий розподіл товщини, діаметру та маси льодових відкладень, що допомагає зробити районування території по ожеледонебезпечності [3, 8, 9]. Цей метод досить широко застосовується в останні роки і за кордоном [17-20].

В даній статті для вивчення метеорологічних умов формування ожеледно-паморозевих та снігових відкладень було використано останній підхід.

Метою даної роботи є виявлення метеорологічних умов, які найбільше сприяють появі атмосферного обледеніння, та визначення дискримінантних функцій, які відокремлюють різні типи атмосферного обледеніння в залежності від значень швидкості вітру та температури повітря.

Матеріали і методи дослідження. В роботі для вивчення режиму ожеледно–паморозевих явищ (ожеледь, кристалічна та зерниста паморозь) та налипання снігу (відкладення снігу, мокрого снігу та змерзлого снігу) в Україні використовувались дані наземних спостережень по ста вісімдесяти п'яти станціях за період з 2002 по 2009 рр. Дані спостережень містили інформацію з температури, швидкості та напрямку вітру біля поверхні землі на момент початку явища та на момент досягнення відкладенням максимального розміру.

Методи дослідження полягали в застосуванні фізико-статистичного аналізу та лінійного дискримінантного аналізу, математичний апарат яких описано в [7].

Результати дослідження та їх обговорення.

Просторово-часовий розподіл ожеледно–паморозевих та снігових відкладень на території України. За період з 2002 по 2009 рр. на вказаних станціях було зафіксовано усього 17 629 випадків ожеледно-паморозевих та снігових відкладень. Відкладення атмосферного льоду на розглянутих станціях утворюються з жовтня по квітень включно, проте, основна маса випадків (від 93,3 % для мокрого снігу до 99,8% для кристалічної паморозі) спостерігаються з листопада по березень.

З усіх типів відкладень найчастіше спостерігається ожеледь (33,7% від загальної кількості випадків), доволі часто спостерігаються також зерниста паморозь (25,8%) та кристалічна паморозь (23,2%). Найрідше на території України реєструються випадки зі замерзлим мокрим снігом (0,5%).

Повторюваність ожеледно-паморозевих явищ та налипань снігу з року в рік зазнає значних коливань. В період, що розглядається, спостерігається

тенденція до зменшення кількості випадків атмосферного обледеніння всіх типів, окрім мокрого снігу, для якого визначено додатний тренд, що можна пояснити загальним підвищенням температури повітря на території України та ослабленням швидкості вітру [3].

Частота появи атмосферного обледеніння є найвищою в найхолодніший час доби – години перед місцевим сходом сонця – для всіх типів відкладень атмосферного льоду, окрім кристалічної паморозі. Для цього типу найвища повторюваність реєструється після місцевого заходу сонця. Після сходу сонця повторюваність для всіх типів атмосферного обледеніння різко падає і сягає свого абсолютного добового мінімуму ополудні.

Особливості просторового розподілу атмосферного обледеніння повторюють особливості рельєфу та осередненого поля опадів [3,4]. Основною закономірністю просторового розподілу опадів в Україні, зумовленою загальними циркуляційними факторами, є їх зменшення з півночі і північного заходу на південь і південний схід. Такі ж загальні риси простежуються і в просторовому розподілі атмосферного обледеніння над рівнинною територією. В гірських місцевостях просторовий розподіл атмосферного обледеніння сильно відрізняється від осередненого поля опадів під впливом місцевих умов.

Найбільша кількість днів з атмосферним обледенінням на рік (44,5%), з яких 46,9 % припадає на ожеледь, реєструється на ст. Дар'івка (Донецька область, висота 302 м над рівнем моря). Взагалі Донецькій височині відповідає висока повторюваність атмосферного обледеніння, що можна пояснити не тільки впливом рельєфу, а і впливом циркуляційних умов, оскільки взимку ця територія знаходиться під впливом периферії Сибірського максимуму, що сприяє надходженню теплого вологого повітря з Азовського та Чорного морів, виникненню адвективного туману, а отже, в залежності від розміру крапель, утворенню або ожеледі, або зернистої паморозі.

Найменша повторюваність атмосферного обледеніння відповідає деяким приморським станціям (ст. Іллічівськ, Вилкове, Ішунь, Євпаторія, Алушта, Хорли тощо), що пов'язано з їх морським помірним кліматом, та гірським станціям, розташованим в Закарпатській низовині (ст. Рахів, Міжгір'я, Селятин, Нижній Студений тощо) і захищеним від зовнішніх циркуляційних процесів.

Просторовий розподіл ожеледі та зернистої паморозі в загальних рисах повторює просторовий розподіл атмосферного обледеніння над територією України. Зерниста паморозь має найбільшу повторюваність в гірських масивах: Українські Карпати та Кримські гори, де її повторюваність в кілька разів перевищує повторюваність ожеледі.

Розподіл появи кристалічної паморозі та мокрого снігу має досить складний характер.

На Донецькій височині кількість випадків із мокрим снігом порівняно із ожеледдю є незначною, що може бути пов'язано із значними швидкостями вітру. В Українських Карпатах мокрий сніг спостерігається лише на південно-західному схилі, оскільки на північно-східному схилі умови для утворення налипань мокрого снігу вкрай несприятливі: розчленованість рельєфу

Українських Карпат зумовлює надзвичайну строкатість у розподілі та повторюваності вітру швидкістю понад 15 м/с [3].

На Кримському півострові найбільша кількість випадків з мокрим снігом має місце на ст. Сімферополь, що знаходиться в улоговині між двома пасмами передгір'я Кримських гір, та на ст. Поштове. У Кримських горах досить рідко спостерігається мокрий сніг, що також можна пояснити високими швидкостями вітру та низькими від'ємними температурами повітря.

Кристалічна паморозь найчастіше спостерігається у північних частинах рівнинних територій та у низовинах, де складаються більш сприятливі для утворення кристалічної паморозі умови: слабкий вітер та низькі від'ємні температури.

Найчастіше ожеледь спостерігається при східному, південно-східному та південному напрямках вітру в східній Україні; для південної території є типовим вітер північного, північно-східного та східного напрямів, що може бути зумовлено активізацією циклонічної діяльності в зимовий період. В Центральній Україні розподіл напрямів вітру є більш однорідним, оскільки внесок східних вітрів, типових для східних регіонів, зменшується, в той час як західні напрями стають більш частими. В Західній Україні західні напрями вітру стають переважними. Загалом, просторовий розподіл напрямів вітру при ожеледі має такі ж особливості, що і при замерзаючих опадах [24], за винятком Кримського півострову, де на відміну від Сімферополя, найчастіше спостерігається північно-західний вітер. Зерниста паморозь має найбільшу повторюваність при південному вітрі. Для кристалічної паморозі, як і для мокрого снігу, не простежується тісного зв'язку між появою явища та певним напрямом вітру.

Розподіл ожеледно–паморозевих та снігових відкладень в площині температура-швидкість вітру для Центральної України. В роботах [15,18,21] показано, що тип ожеледно–паморозевих та снігових відкладень є залежним від такої пари метеорологічних характеристик як температура та швидкість вітру. Нижче представлено графіки (рис. 1), отримані автором для території Центральної України, на яких повторюваність кожного з типів атмосферного обледеніння представлено як функцію температури повітря та швидкості вітру. В даному дослідженні припускалось, що Центральна Україна включає області: Вінницьку, Житомирську, Київську, Кіровоградську, Полтавську, Сумську, Черкаську та Чернігівську.

На кожному з графіків в координатах температура–вітер наведено також лінії, які розділяють певні види обледеніння. Роздільні лінії, одержані автором, визначено за допомогою дискримінантного аналізу. Для порівняння на графіках також показано роздільні лінії, запропоновані в роботі [21] для території Європи для ожеледі і зернистої паморозі та кристалічної і зернистої паморозі.

Можна бачити, що для ожеледі і зернистої паморозі (рис. 1,а), а також для зернистої і кристалічної паморозі (рис. 1,б), мають місце області, в яких з майже рівною ймовірністю можуть спостерігатись обидва явища. Нижня межа такої області співпадає з роздільною лінією, запропонованою автором для території України, а верхня – з роздільною лінією, запропонованою для території Європи.

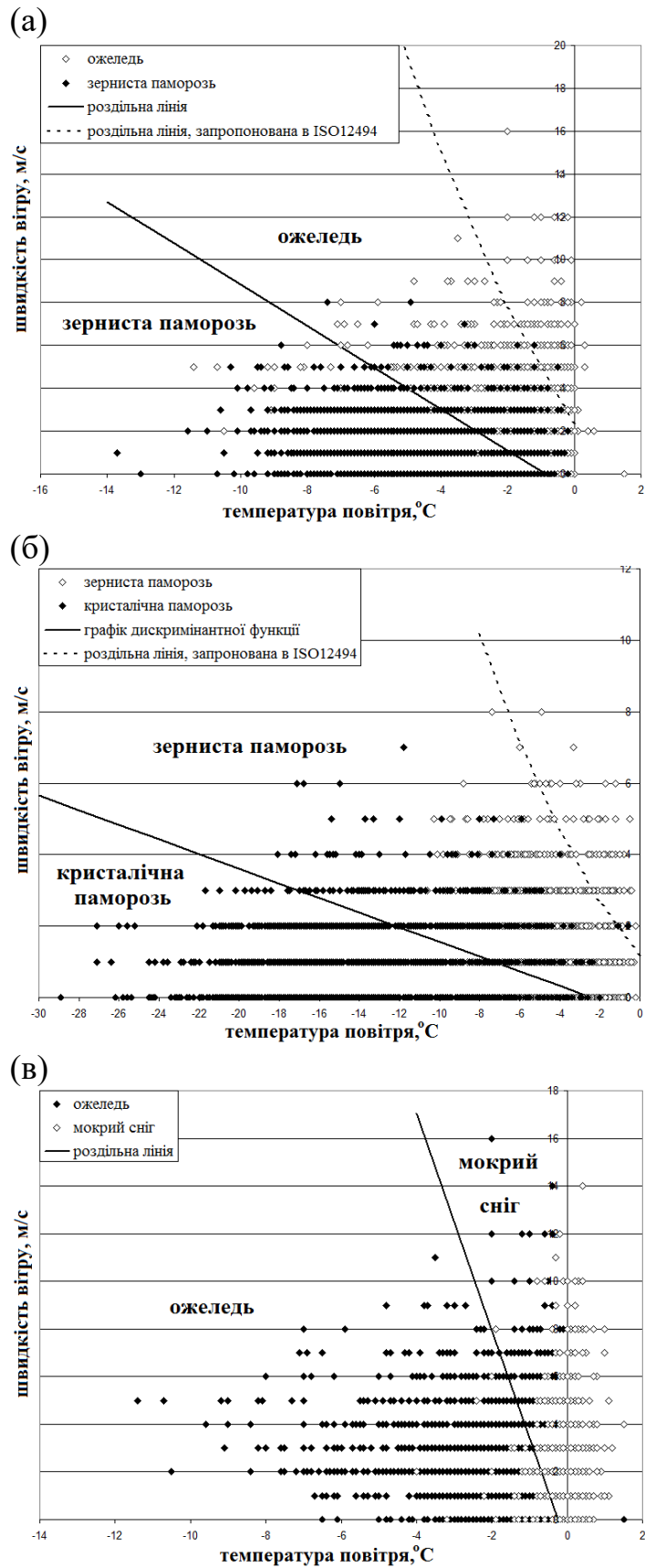


Рис. 1. Відкладення ожеледі та зернистої паморозі (а), кристалічної та зернистої паморозі (б), ожеледі та мокрого снігу (в) як функція температури та швидкості вітру.

Рівняння дискримінантних функцій для розділення явищ представлено в табл. 1. Для використання цих рівнянь в якості прогностичних слід підставити в них відомі значення температури (T) та швидкості вітру (V). Якщо $L > 0$, то у випадку „ожеледь – зерниста паморозь” прогнозується ожеледь, у випадку „ожеледь – мокрий сніг” – мокрий сніг та у випадку „зерниста – кристалічна паморозь” – зерниста паморозь, та навпаки.

Таблиця 1 – Рівняння дискримінантної функції для розділення різних типів атмосферного обледеніння

Явища, що розділяються	Рівняння дискримінантної функції
Ожеледь – зерниста паморозь	$L = 0,095884V + 0,0926076T + 0,0792697$
Ожеледь – мокрий сніг	$L = -0,0269426V - 0,1223213T - 0,0304925$
Зерниста – кристалічна паморозь	$L = 0,1528863V + 0,0313542T + 0,0760064$

Для уточнення прогнозу явища було побудовано таблиці двомірних ймовірностей для кожного з явищ та проведено їх графічний аналіз. Результати цього дослідження представлено на рис. 2.

З рис. 2 видно, що області з різними явищами перекриваються, проте за допомогою цього графіку, краще можна виділити області найбільшої концентрації випадків різних типів атмосферного обледеніння.

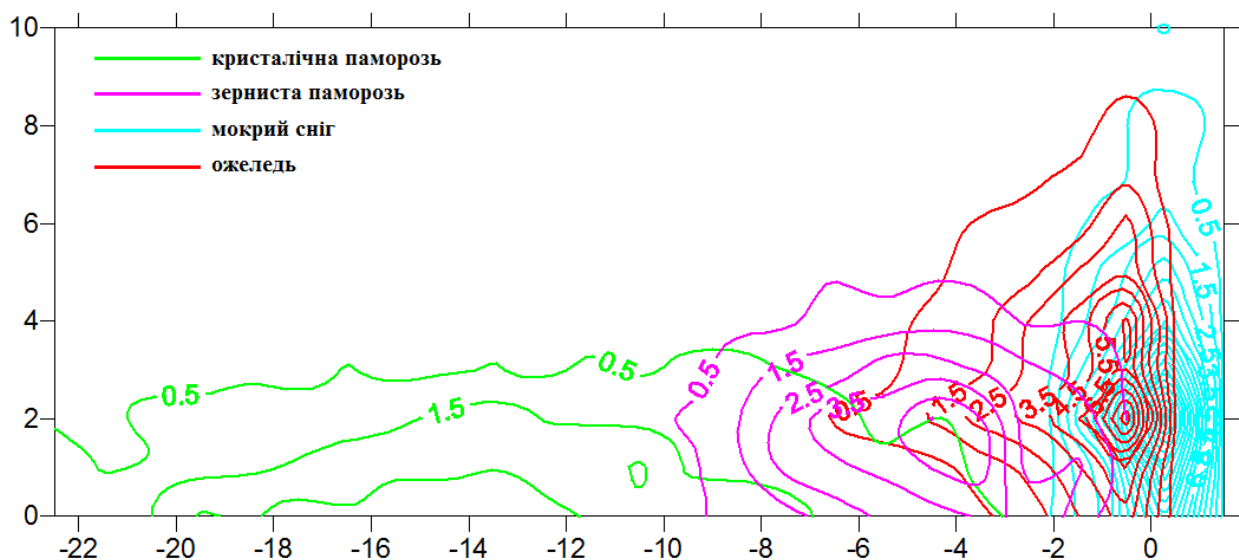


Рис. 2 – Графічне представлення зв'язку між температурою, швидкістю вітру та появою атмосферного обледеніння різних типів. Ізолінії повторюваності проведено через 1 %, зовнішня ізолінія – 0,5 %.

Одержані статистичні залежності можна використовувати з прогностичною метою для відокремлення областей з різними типами відкладень в площині „швидкість вітру–температура”.

Висновки. Найчастіше на рівнинній території України з усіх типів атмосферного обледеніння спостерігається ожеледь, в гірських районах домінуючим типом відкладення є зерниста паморозь. В районах Українських Карпат, Кримських гір та Донецької височини атмосферне обледеніння має найбільшу повторюваність.

Повторюваність ожеледно-паморозевих явищ та налипань снігу з року в рік зазнає значних коливань: спостерігається тенденція до зменшення кількості випадків атмосферного обледеніння всіх типів, окрім мокрого снігу, для якого визначено додатний тренд, що можна пояснити загальним підвищенням температури та ослабленням швидкості вітру на території України.

Розподіл повторюваності напрямків вітру при ожеледі відзеркалює особливості місцевої циркуляції в нижньому шарі атмосфери. У східному і центральному регіонах найбільш часто при ожеледі реєструється вітер східного і південно-східного напрямів, що може бути обумовлено активізацією циклонічної діяльності в зимовий період. Для південної території характерними є східні, північні і північно-східні напрямки, виключаючи Кримський півострів, де максимум повторюваності припадає на північно-західний вітер. У Західній Україні внесок західної складовою є переважаючим. При відкладеннях зернистої паморозі географічний розподіл напрямків вітру є більш однорідним: практично над всією територією України переважає вітер з південної складової. Для кристалічної паморозі та мокрого снігу не було виявлено переважаючих напрямків вітру.

В даній роботі для території Центральної України було побудовано графіки, на яких повторюваність типу відкладення було представлено як функцію температури повітря та швидкості вітру. За допомогою цих графіків було одержано дискримінантні функції для критеріїв розділення різних типів атмосферного обледеніння.

Всі основні висновки, що було отримано при дослідженні умов ожеледно-паморозевих та снігових відкладень біля поверхні землі можна використовувати для наповнення фізикою чисельні моделі прогнозу погоди та для подальшого удосконалення старих та розробки нових алгоритмів прогнозу явищ, які розглядаються в роботі. Всі отримані фізико-статистичні зв'язки можна використати для отримання імовірнісного прогнозу цих явищ.

Список літератури

1. Волеваха Н.М. К методике краткосрочного прогноза гололеда. Труды УкрНИГМИ, вып. 7, 1957.
2. Волеваха В.А. Фронтальные гололеды на Украине. Труды УкрНИГМИ, вып. 25, 1961.
3. Клімат України. За редакцією В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко /Видавництво Раєвського. – Київ, 2003. – 343 с.
4. Климатический атлас Украинской ССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1968, 232 с.

5. Кошенко А.М. Рекомендации к прогнозу фронтальных гололедов на Украине/ А.М. Кошенко // Исследование опасных явлений на Украине и вопросы циркуляции в стратосфере: Труды УкрНИГМИ. - М.: Гидрометеиздат, 1972а. - Вып. 113. - с. 3-8.
6. Кошенко А.М. Некоторые характеристики внутримассовых гололедов на Украине/ А.М. Кошенко // Исследование опасных явлений на Украине и вопросы циркуляции в стратосфере: Труды УкрНИГМИ. - М.: Гидрометеиздат, 1972б. - Вып. 113. - с. 9-18.
7. Пановский Г.А., Брайер Г.В. Статистические методы в метеорологии. – Л.:Гидрометеиздат, 1967, 242 с.
8. Стихийные метеорологические явления на Украине и в Молдавии. Климатическое пособие. Под ред. В.Н. Бабиченко. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 224 с.
9. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє десятиріччя (1986–2005 рр.)/За ред. В.М.Ліпінського, В.І.Осадчого, В.М.Бабіченко. – К.: Ніка–Центр, 2006. – 312 с.
10. Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н., Иванова А.Р. Условия выпадения замерзающих осадков в некоторых аэропортах России и СНГ. Часть I. Аэропорты московського аэроузла// Метеорология и гидрология, 2003. – № 6. – с. 40–58.
11. Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н., Иванова А.Р. Условия выпадения замерзающих осадков в некоторых аэропортах России и СНГ. Часть II. Аэропорт Минеральные Воды// Метеорология и гидрология, 2005. – № 2. – с. 27–42.
12. Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н., Иванова А.Р., Хоменко И.А., Хоменко Г.В. Условия выпадения замерзающих осадков в некоторых аэропортах России и СНГ. Часть III. Аэропорт Одесса// Метеорология и гидрология, 2005. – № 9. – с. 5–18.
13. Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н., Завьялова А.А. Условия выпадения замерзающих осадков в некоторых аэропортах России и СНГ. Часть IV. Аэропорт Нижний Новгород// Метеорология и гидрология, 2007. – № 7. – с. 25–39.
14. Carriere J.-M., Lainard C., Le Bot C., and Robart F., 2000: A climatological study of surface freezing precipitation in Europe. Meteorol. Appl., 7, pp. 1-10.
15. COST 727: Atmospheric Icing on Structures Measurements and data collection on icing: State of the Art// ISSN: 1422-1381, Publication of MeteoSwiss, 75, 110 pp.
16. Cortinas J., 2000: A climatology of freezing rain in the Great Lakes region of North America. Mon. Wea. Rev., v. 128, pp. 3574–3588.
17. Farzaneh M, Savadjiev K (2001) Icing Events Occurrence in Qu'ebec: Statistical analysis of field data. Int J of Offshore Polar Eng, 11, no 1 March: 9–15.
18. Farzaneh, M., Ed., Atmospheric Icing of Power Networks, Springer, Berlin, ISBN 9781402085307, August 2008, 320 p.

19. Fikke, S.M. et al. (2007a) COST Action 727 Atmospheric icing on structures. Measurements and data collection on icing. State of the art. Veröffentlichung MeteoSchweiz Nr. 75.
20. Fikke, Svein M. Modern Meteorology and Atmospheric Icing. IW AIS XI, Monreal, June 2005.
21. ISO (2000) Atmospheric icing of structures. International Standardization Organisation (ISO) International Standard 12494.
22. Jeck R.K., 2008: Advances in the characterization of supercooled clouds for aircraft icing application. Rep., US Dept. Transport., FAA, 138 p.
23. Jeck R., 1996: Representative values of icing-related variables aloft in freezing rain and freezing drizzle. Tech. Rep. DOT/FAA/AR-TN95/119, US Dept. Transport., FAA Technical Center, Atlantic City, New Jersey.
24. Khomenko I.A., Ivanova A.R., Chakina N.P., Skriptunova E.N., Zavyalova A.A. Freezing precipitation in Russia and the Ukraine. Adv. Geosci., 2007, 10, pp. 25–29.
25. Marwitz J., Politovich M., Bernstein B., Ralph F., Neiman R., Ashendon R., and Bresch J., 1997: Meteorological conditions associated with the ATR 72 aircraft accident near Rosenlawn, Indiana, on 31 October 1994. – Bull. Meteorol. Soc., 1997, v. 78, pp. 41–52.
26. Pobanz, B., J. Marwitz, and M. Politovich, 1994: Conditions associated with largedrop regions. J. Appl. Meteor., 33, pp. 1366–1372.
27. Rauber R.M., Olthoff L.S., Ramamurthy M.K., Kunkel K.E. The relative importance of warm rain and melting processes in freezing precipitation events. J. Appl. Met., 2000, v. 39, # 7, pp. 1185–1195.
28. Strapp J., Stuart R., Isaac G., 1996: A Canadian climatology of freezing precipitation, and a detailed study using data from St. John's, Newfoundland, In: Proc. FAA Internat. Conf. Aircraft In-flight Icing, Springfield, Virginia, 6-8 May 1996.
29. Stuart R. A. and Isaac G.A., 1999: Freezing Precipitation in Canada. Atmosphere–Ocean 37 (1): pp. 87–102.

Хоменко І.А. **Метеорологічні умови утворення ожеледно–паморозевих та снігових відкладень в Україні.** В статті досліджується часово-просторовий розподіл різних типів атмосферного обледеніння над територією України і повторюваність їх появи в залежності від температури, напряму та швидкості вітру на базі 185 станцій України з 2002 по 2009 рр. Для Центральної України визначено дискримінантні функції, які дозволяють розділити області з різними видами атмосферного обледеніння в площині „температура – швидкість вітру”.

Ключові слова: атмосферне обледеніння, ожеледь, зерниста та кристалічна паморозь, мокрий сніг, дискримінантний аналіз

Khomenko I.A. **Meteorological conditions of formation of various types of icing accretion in the Ukraine.** In the paper space-time distribution of various types of atmospheric icing such as glaze, hard and soft rimes and wet snow, based on 2002–2009 data of 185 stations, was studied over the Ukraine territory. Frequency distributions of each types of icing accretion dependent on temperature, wind speed and direction, were obtained. For the Central Ukraine

discriminant functions allowing dividing area of various type of icing accretion in the 'temperature-wind speed' plane, were determined.

Key words: atmospheric icing, glaze, hard rime, soft rime, wet snow, discriminant analysis

Хоменко И.А. **Метеорологические условия образования гололедно-изморозевых отложений и налипания мокрого снега в Украине.** В статье исследуется пространственно-временное распределение разных типов обледенения над территорией Украины и повторяемость их появления в зависимости от температуры, направления и скорости ветра на базе 185 станций с 2002 по 2009 гг.. Для Центральной Украины определены дискриминантные функции, которые позволяют разделить области с разными видами атмосферного обледенения в плоскости „температура-скорость ветра”.

Ключевые слова: атмосферное обледенение, гололед, зернистая и кристаллическая изморозь, мокрый снег, дискриминантный анализ