

---

---

# ЗМІНА КЛІМАТУ

---

---

УДК 551.515.3+550.394.2

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-1-24-2-14>

## МОНІТОРИНГ ТА ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ СМЕРЧОНЕБЕЗПЕКИ НА ТЕРИТОРІЯХ КИЇВСЬКОЇ ТА ЧЕРНІГІВСЬКОЇ ОБЛАСТЕЙ

Бондар О.І.<sup>1</sup>, Ващенко В.М.<sup>1</sup>, Лоза Є.А.<sup>1</sup>, Патлашенко Ж.І.<sup>1</sup>,  
Шпиг В.М.<sup>2</sup>, Банніков О.О.<sup>1</sup>, Кризська Ю.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, Київ  
danileo@ukr.net;

<sup>2</sup>Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України  
пр. Науки, 37, 03028, Київ  
vitold82@i.ua

На основі аналізу екологічної смерчонебезпеки на територіях Київської та Чернігівської областей України проведено географічний розподіл смерчів за 1999–2018 рр. Досліджено статистику смерчів, і визначено сумарні площі руйнувань смерчами. За даними відкритих зарубіжних каталогів і результатами дистанційного зондування Землі показано, що річна ймовірність виникнення руйнівного смерчу на площі 1 000 км<sup>2</sup> становить  $5,3 \cdot 10^{-2}$  рік<sup>-1</sup> для територій двох областей, що на 3–5 порядків перевищує значення ймовірності для оцінки екологічної небезпеки різних об'єктів на території України. Доведено, що ця величина може бути ще більшою через смерчі, які відбулися реально, але не були зареєстровані за ефектом селекції спостережень. Розроблено пропозиції щодо вдосконалення системи моніторингу та прогнозу смерчів на території України. *Ключові слова:* смерч, водойма, вивал лісу, екологічна безпека.

**Мониторинг и экологические риски смерчопасности на территориях Киевской и Черниговской областей.** Бондарь А.И., Ващенко В.Н., Лоза Е.А., Патлашенко Ж.И., Шпиг В.М., Банников А.А., Кризская Ю.М. На основе анализа экологической смерчопасности на территориях Киевской и Черниговской областей Украины проведено географическое распределение смерчей за период 1999–2018 гг. Исследована статистика смерчей, и определены суммарные площади разрушений смерчами. По данным открытых зарубежных каталогов и результатам дистанционного зондирования Земли показано, что годовая вероятность возникновения разрушительного смерча на площади 1000 км<sup>2</sup> составляет  $5,3 \cdot 10^{-2}$  год<sup>-1</sup> для территории двух областей, что на 3–5 порядков превышает значения вероятности для оценки экологической опасности различных объектов на территории Украины. Доказано, что эта величина может быть ещё на порядок больше за счёт смерчей, которые состоялись реально, но не были зарегистрированы по эффекту селекции наблюдений. Разработаны предложения по усовершенствованию системы мониторинга и прогнозу смерчей на территории Украины. *Ключевые слова:* смерч, водоём, вывал леса, экологическая безопасность.

**Monitoring and ecological risks of tornadoes hazard in Kyiv and Chernihiv oblasts.** Bondar O., Vashchenko V., Loza Ye., Patlashenko Zh., Shpyg V., Bannikov O., Kryzaska Yu. This paper analyzes tornadoes ecological hazard in territory of Kyiv and Chernihiv oblasts of Ukraine. The geographical distribution of tornadoes in 1999–2018 was plotted and analyzed. The tornado statistics was investigated and total area of destruction by tornadoes was estimated. Based on open tornado databases and remote Earth sounding data the yearly probability of a destructive tornado over 1000 km<sup>2</sup> area was estimated to be  $5.3 \cdot 10^{-2}$  year<sup>-1</sup> for total area of the oblasts. This value is 3–5 orders higher than the one used to calculate ecological safety of different objects in Ukraine. This value may be one more order higher due to real tornadoes which were not registered due to observation selectivity effect. Proposals for improvement of tornado monitoring and forecast in Ukraine were made. *Key words:* tornado, water body, forest destruction, ecological safety.

**Постановка проблеми.** Смерчі здатні знищувати великі площі лісових масивів, викачувати з водойм воду та переносити її на великій відстані разом із біотою та забруднюючими речовинами, які містяться в товщі води та в донних відкладеннях. Смерчі також можуть пошкоджувати й руйнувати природні

та антропогенні об'єкти, спричиняти смертельні випадки і травмування.

Загальна щорічна кількість смерчів та їх екологічна небезпека на території України, як і на територіях інших країн Європи [1-4], дуже важко оцінювати. Зокрема, на території України можливе

виникнення надзвичайно руйнівних смерчів класів потужності EF4 і навіть EF5 за вдосконаленою шкалою Фудзіті-Пірсона [3].

Унаслідок вибуху смерчів біля с. Раків Ліс Волинської області в червні 1997 р. загинуло 4 людей і 17 травмовано, зруйновано близько 200 будинків, знищено та пошкоджено понад 600 км<sup>2</sup> посівів. Для ліквідації наслідків цього смерчу було залучено понад 1 700 людей та 100 одиниць спеціальної техніки [5].

Руйнівний смерч у 1988 р. обминув густонаселені території та спричинив вивал лісу на площі понад 18 км<sup>2</sup> на 2–7 км південніше м. Березань Київської області. Важливо також звернути увагу на те, що менш потужний смерч Даулатпур-Сатурія у квітні 1989 р. на території Бангладеш призвів до загибелі 1 300 і травмування майже 12 000 людей. У червні 2001 р. поблизу м. Фастів Київської області смерч викачав воду з водойми площею 3 га. Біля с. Євминка Чернігівської області в червні 2012 р. унаслідок унікального явища вибуху смерчів було зруйновано близько 30 житлових будинків, їх фрагменти рознесено на кілька кілометрів [3] й вивалено близько 0,8 км<sup>2</sup> лісу [2]. Аналогічний вибух смерчів поблизу м. Прип'ять Київської області у 2010 р. також спричинив вивал лісу на площі понад 5,8 км<sup>2</sup> [2].

За даними каталогу European Severe Weather Database [6; 7], у 2018 р. з 1 січня по 14 грудня на території України було зареєстровано 16 смерчів, з них 10 – над морською поверхнею у Криму та Одеській області та 3 пилових й 1 шкваловий вихор (за назвою gustnado). Деякі з цих смерчів спричинили руйнування природних та антропогенних об'єктів і травмування людей.

Отже, дослідження рівнів екологічної смерчонебезпеки на територіях Київської та Чернігівської областей є актуальною проблемою для наукових досліджень.

#### Виклад основного матеріалу.

#### Характеристика водних об'єктів і лісових масивів.

У таблиці 1 наведено кількість і площу водних і лісових об'єктів на досліджуваних територіях на основі опублікованої інформації [8-12].

Як свідчать дані таблиці 1, показники лісистості територій Київської та Чернігівської областей досить близькі. Загальні площі областей і локальні кліматичні умови також подібні. Сумарна площа водних об'єктів різниться майже у 4 рази, переважно через площі Київського та Канівського водосховищ.

Отже, і Київська, і Чернігівська області мають схожі характеристики гідрологічних і лісових об'єктів, що дає змогу порівнювати смерчонебезпеку на їхніх територіях і розглядати її усереднене значення для сумарних територій обох областей.

#### Географічний розподіл смерчів.

На рисунку 1 зображено карту Київської та Чернігівської областей із гідрологічними об'єктами, географічними координатами випадків спостереження і реєстрації смерчів за даними відкритих каталогів [7; 13-18]. Координати вивалів лісу ідентифіковані за результатами дистанційного зондування Землі [2]. Аналіз показників і побудова карт були виконані за допомогою розробленої авторами спеціалізованої геоінформаційної системи на основі Free Pascal з використанням Castle Game Engine і Lazarus.

На карті (рис. 1) прослідковується схожа однорідність географічного розподілу зареєстрованих смерчів, що узгоджується з попередніми висновками [1].

Пунктирною лінією на карті окреслено територію, на якій ідентифікацію вивалів лісу смерчами проводили на основі даних дистанційного зондування Землі [2]. Площа цієї області становить близько 20 км<sup>2</sup>, або 32 % від досліджуваної території за 2006–2012 рр., тобто 35 % від ефективного періоду спостережень, який використовували у розрахунках. Рівень лісистості для територій Чернігівської та Київської областей становить 20–40 % [9; 11]. Це свідчить, що за результатами аналізу даних дистанційного зондування Землі було виявлено лише 2–4 % загального числа смерчів, які реально від-

Таблиця 1

#### Основні характеристики водних і лісових об'єктів на територіях Київської та Чернігівської областей

Показник	Київська область <sup>a</sup>	Чернігівська область <sup>b</sup>
Площа області	28,9 тис. км <sup>2</sup>	31,9 тис. км <sup>2</sup>
Сумарна площа водних об'єктів	2,3 тис. км <sup>2</sup> 8 %	0,6 тис. км <sup>2</sup> 2 %
Кількість великих річок	3	2
Кількість середніх річок	8	8
Кількість малих річок	1511	1560
Загальна площа водосховищ і ставків	1,6 тис. км <sup>2</sup>	0,1 тис. км <sup>2</sup>
Кількість водосховищ	62	24
Кількість ставків	3175	1839 <sup>b</sup>
Загальна площа лісового фонду	7,5 тис. км <sup>2</sup>	7,4 тис. км <sup>2</sup>
Лісистість території	20,4 %	20,7 %

<sup>a</sup> – до Київської області включено м. Київ; <sup>b</sup> – загальна кількість ставків на території Чернігівської області [10] може бути заниженою.

булися на досліджуваній території. Отже, реальна кількість руйнівних смерчів на територіях Київської та Чернігівської областей за 20 років становила 500–1000 смерчів, тобто 25–50 смерчів · рік<sup>-1</sup>, причому досить потужних, щоб спричинити вивали лісу на площі 2 га і більше. Ця величина також узгоджується з нашими попередніми висновками [1-3].

**Кількісні характеристики смерчонебезпеки.**

У таблиці 2 наведено статистику випадків рестації смерчів на досліджуваних територіях за 1999–2018 рр. [2; 7; 13-18].

Рівень смерчонебезпеки для об'єкта в межах Київської або Чернігівської областей оцінюється за допомогою річної ймовірності руйнівного смерчу на площі 1 000 км<sup>2</sup> за формулою [14]:

$$P = 10^3 \cdot S_i / (S_o \cdot T), \quad (1)$$

де  $S_o$  – площа відповідної області;  $S_i$  – загальна площа руйнувань, спричинених смерчами;  $T$  – досліджуваний період 1999–2018 рр.

Розрахунок річної ймовірності  $P$  за допомогою (1) ускладнюється відсутністю інформації про загальну площу руйнувань  $S_i$  для більшості смерчів, що спостерігалися на території України. При цьому для 40–50 % зареєстрованих смерчів у каталогах відсутні оцінки класу потужності. Тому нами проведено оцінку площі  $S_i$  (табл. 3) на основі даних відкритих каталогів [7; 13-17] та результатів дистанційного зондування вивалів лісу смерчами [2; 18].

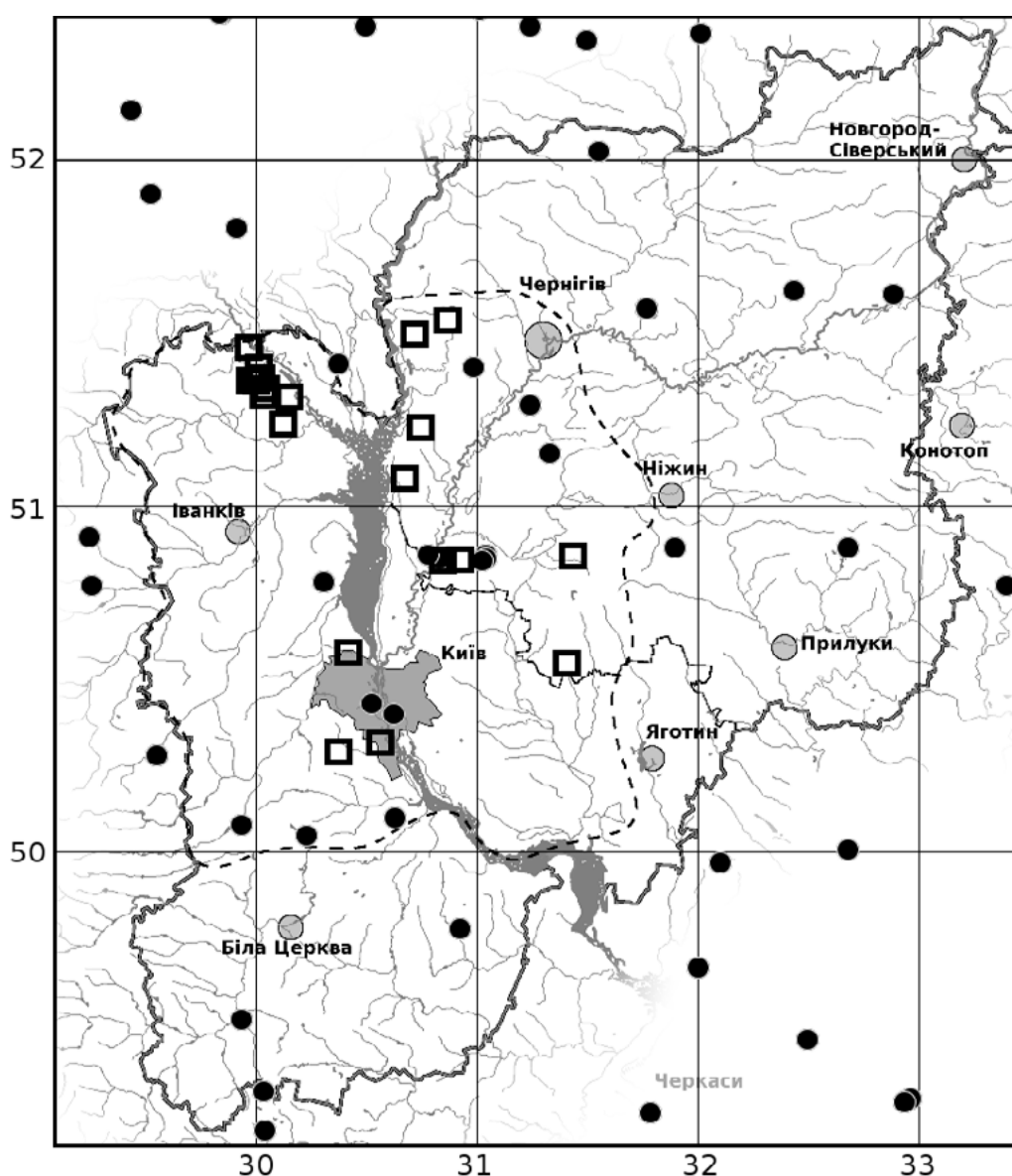


Рис. 1. Географічний розподіл смерчів на територіях Київської та Чернігівської областей.

- – смерчі, зареєстровані у відкритих каталогах у 1999–2018 рр.,
  - – смерчі, виявлені за даними дистанційного зондування Землі у 2006–2012 рр.
- Рівнопрямісна проекція, 29,1° – 33,5° сх. д., 49,2° – 52,4° пн. ш.

Площа руйнувань смерчами невідомої потужності ( $i$ ) визначена на основі даних про частоту смерчів різних потужностей у Європі [13] за формулою:

$$s = \sum \rho_i \cdot s_i, \quad (2)$$

де  $i$  – потужність смерчу (EF0–EF5),  $\rho_i$  – середня частота смерчів відповідної потужності на території Європи,  $s_i$  – середня площа руйнувань смерчем відповідної потужності.

Розрахована за формулою (1) річна ймовірність  $P$  виникнення руйнівного смерчу на площі 1 000 км<sup>2</sup> за даними таблиць 2 і 3 для ефективного періоду спостережень 1999–2018 рр. становить  $4,5 \cdot 10^{-2}$  рік<sup>-1</sup> для території Київської області й  $6,1 \cdot 10^{-2}$  рік<sup>-1</sup> для

Чернігівської області та  $5,3 \cdot 10^{-2}$  рік<sup>-1</sup> для сумарної території двох областей. Ці значення на 3–5 порядків перевищують величину ймовірності, яка зазвичай використовується для оцінки екологічної небезпеки різних природних та антропогенних об'єктів на території України. На основі висновку, одержаного в попередньому розділі про реальну кількість потужних смерчів на територіях Київської та Чернігівської областей, можна стверджувати, що оцінка річної ймовірності виникнення руйнівного смерчу на досліджуваних територіях може бути ще на один порядок більшою через високу ймовірність нерестрації фактичного виникнення та проходження смерчу на території України.

Таблиця 2

**Кількість смерчів, зареєстрованих на територіях Київської та Чернігівської областей, і розрахункові значення рівня смерчонебезпеки**

Показник	Київська область	Чернігівська область
Загальна кількість смерчів, зареєстрованих у каталогах 1999–2018 рр.	10	9 <sup>с</sup>
Сумарна площа руйнувань, спричинених смерчами, зареєстрованими у каталогах <sup>d</sup>	20,2 км <sup>2</sup>	31,6 км <sup>2</sup>
Кількість подій вивалів лісу смерчами у 2006–2012 рр.	12 <sup>e,f</sup>	7 <sup>e,e</sup>
Сумарна площа вивалів лісу, спричинених смерчами	5,9 км <sup>2</sup>	7,7 км <sup>2</sup>
Загальна площа руйнувань $S_i$	26,1 км <sup>2</sup>	39,3 км <sup>2</sup>
Середня щорічна кількість смерчів	1,1 рік <sup>-1</sup>	0,8 рік <sup>-1</sup>
Середня щорічна площа руйнувань, спричинених смерчами <sup>g</sup>	1,3 км <sup>2</sup> рік <sup>-1</sup>	2,0 км <sup>2</sup> рік <sup>-1</sup>
Річна ймовірність виникнення руйнівного смерчу на площі 1000 км <sup>2</sup>	$4,5 \cdot 10^{-2}$ рік <sup>-1</sup>	$6,1 \cdot 10^{-2}$ рік <sup>-1</sup>
	$5,3 \cdot 10^{-2}$ рік <sup>-1</sup>	

<sup>с</sup> – вибух смерчів поблизу с. Євминка зареєстрований у міжнародних каталогах і незалежно за даними дистанційного зондування Землі був врахований у рядку «Кількість подій вивалів лісу смерчами» як два окремих вивалів лісу на підставі того факту, що вибух смерчів утворив два просторово розділені осередки біля с. Євминка (0,6 км<sup>2</sup>) та с. Савин (0,2 км<sup>2</sup>) Козелецького району; <sup>d</sup> – оцінку виконували за результатами, наведеними в табл. 3; <sup>e</sup> – два випадки вивалів лісу смерчем поблизу м. Славутич Київської області у 2006 р. і 2011 р. були віднесені до Чернігівської області, оскільки ці території розташовані її межах; <sup>f</sup> – враховано явище «вибуху смерчів» (щонайменше 9 смерчів на півночі Київської області), виявлене у 2010 р. за даними дистанційного зондування Землі [2]; <sup>g</sup> – найбільші руйнування спричиняються потужними смерчами класу EF2 і вище, які є дискретними явищами і спостерігаються на територіях Київської та Чернігівської областей майже кожні 5 років

Таблиця 3

**Розрахункові площі руйнувань, спричинених смерчами на території Київської та Чернігівської областей**

Клас потужності смерчу	Площа руйнувань на один смерч <sup>h</sup>	Зареєстровано смерчів у 1999–2018 рр. за даними каталогів		Сумарна площа руйнувань	
		Київська область	Чернігівська область	Київська область	Чернігівська область
EF5	100 км <sup>2</sup>	0	0	-	-
EF4	50 км <sup>2</sup>	0	0	-	-
EF3	10 км <sup>2</sup>	0	1 <sup>с</sup>	-	10 км <sup>2</sup>
EF2	5 км <sup>2</sup>	1	2 <sup>с</sup>	5 км <sup>2</sup>	10 км <sup>2</sup>
EF1	1 км <sup>2</sup>	3	2 <sup>с</sup>	3 км <sup>2</sup>	2 км <sup>2</sup>
EF0	0,2 км <sup>2</sup>	1	0	0,2 км <sup>2</sup>	-
Невідомо	2,4 <sup>i</sup> км <sup>2</sup>	5	4 <sup>с</sup>	12 км <sup>2</sup>	8,6 км <sup>2</sup>
<b>Загалом</b>		<b>10</b>	<b>9</b>	<b>20,2 км<sup>2</sup></b>	<b>31,6 км<sup>2</sup></b>

<sup>h</sup> – площа руйнувань смерчами відповідної потужності оцінювали за даними [18]; <sup>i</sup> – площа руйнувань смерчами невідомої потужності

### Підходи до вдосконалення моніторингу та прогнозування смерчів.

Мережа спостережень за смерчами, яка є сьогодні в Україні, неспроможна дати надійну інформацію для раннього виявлення, спостереження, прогнозування смерчів та попередження екологічної смерчонебезпеки. Тому для розроблення конкретних пропозицій щодо методів, засобів і характеристик моніторингу смерчів доцільно використовувати ретроспективні дані зарубіжних каталогів і дані дистанційного зондування Землі. Також необхідно використовувати принципово нові дані щодо явищ і процесів, які відбуваються в системі атмосфера – підстилаюча поверхня Землі і спричиняють виникнення та супроводжують розвиток смерчів, зокрема динамічних процесів взаємодії смерчів з атмосферою та земною поверхнею. Перспективним також є застосування спеціалізованих засобів дистанційної реєстрації світіння атмосфери в оптичному та радіодіапазонах, які виникають на ранніх стадіях зародження смерчу. Доцільно також розвивати спектральні і спектрополяриметричні методи, акустичні, радіолокаційні, сейсмічні спостереження смерчів, які дають змогу отримувати більш повну інформацію про динамічний стан атмосфери.

Для оперативного гідрометеорологічного прогнозу виникнення смерчів пропонуються три підходи:

1. Використання оперативних даних супутникових і радіолокаційних засобів [19; 20].

2. Виявлення сприятливих для утворення смерчів передумов в атмосфері, зокрема макромасштабних атмосферних процесів [21; 22]. Цей підхід дає можливість досліджувати процес формування, час існування, швидкість переміщення, швидкість вітру у вихорі та інші властивості смерчу шляхом:

– використання дискримінантних функцій, отриманих на великому архівному масиві даних аерологічних зондувань або прогностичних даних, отриманих за допомогою чисельних моделей прогнозу погоди, що дає змогу прогнозувати смерчі із завчасністю до 48 год. та справджуваністю понад 78% [23; 24];

– побудови теоретичних чи напівемпіричних моделей для практичного застосування [25–28];

– визначення енергії нестійкості атмосфери або так званих індексів нестійкості/стійкості атмосфери [29; 30].

3. Прогнозування атмосферних умов із високою географічною роздільною здатністю порядку 0,1 км. Однак такий метод потребує високих обчислювальних потужностей. У масштабах України це 1 ПФлопс і більше, що не є досяжним сьогодні.

Перспективним також є використання чисельної мезомасштабної моделі з горизонтальною роздільністю порядку 20 км для прогнозу смерчів, пов'язаних із конвективною хмарністю [31; 32].

**Головні висновки.** Екологічна смерчонебезпека на територіях України та більшості країн Європи залишається недооціненою, незважаючи на значні екологічні наслідки, економічні збитки, загибель і травмування людей унаслідок впливу смерчів.

За даними відкритих міжнародних каталогів і даними дистанційного зондування Землі побудовано географічний розподіл фактів реєстрації смерчів на територіях Київської та Чернігівської областей у діапазоні 29,1° – 33,5° сх. д. і 49,2° – 52,4° пн. ш.

У період 1999–2018 рр. на територіях Київської та Чернігівської областей за даними відкритих каталогів спостерігали 19 смерчів, додатково за даними дистанційного зондування Землі було ідентифіковано 19 вивалів лісу смерчами.

Розрахункова загальна площа руйнувань і вивалів лісу, спричинених смерчами за останні 20 років, становить 26,1 км<sup>2</sup> у Київській області та 39,3 км<sup>2</sup> – у Чернігівській.

Виявлено, що на територіях Київської та Чернігівської областей реальна частота смерчів становила 25–50 смерчів/рік<sup>-1</sup>, причому досить потужних, щоб спричинити вивали лісу на площі 2 га і більше.

Розрахункова річна ймовірність виникнення руйнівного смерчу на площі 1000 км<sup>2</sup> становить 4,5 · 10<sup>-2</sup> рік<sup>-1</sup> для території Київської області, 6,1 · 10<sup>-2</sup> рік<sup>-1</sup> для Чернігівської області та 5,3 · 10<sup>-2</sup> рік<sup>-1</sup> для територій обох областей. Цей результат на 3–5 порядків перевищує значення ймовірності, яка зазвичай використовується для оцінки екологічної небезпеки різних природних та антропогенних об'єктів на території України.

Запропоновано шляхи вдосконалення й розвитку сучасних підходів до виявлення, спостереження та прогнозування смерчів на території України.

### Література

1. Ващенко В.М., Кордуба І.Б., Лоза Є.А., Патлашенко Ж.І., Банніков О.О., Кризька Ю.М. Статистика смерчів на території України на основі нових даних. *Геофізичний журнал*. 2018. Т. 40. №. 3. С. 199–213.
2. Ващенко В.М., Лоза Є.А., Кордуба І.Б., Патлашенко Ж.І., Банніков О.О. Нові можливості космічного дистанційного зондування вивалів лісу смерчами на території України. *Екологічна безпека*. 2018. № 1. С. 20–25.
3. Бондар О.І., Ващенко В.М., Шпиг В.М., Лоза Є.А., Кордуба І.Б., Патлашенко Ж.І., Банніков О.О., Кризька Ю.М. Смерчі на території України та їх екологічна небезпека. *Екологічні науки*. 2018. № 2 (21). С. 107–113.
4. Antonescu B., Schultz D., Holzer A., Groenemeijer P. Tornadoes in Europe: An Underestimated Threat. *American Meteorological Society*. 2017. DOI:10.1175/BAMS-D-16-0171.1.
5. Стеблюк М.І. Цивільна оборона та цивільний захист: підручник. Київ, 2013. 487 с.
6. Dotzek N., Groenemeijer P., Feuerstein B., Holzer A. Overview of ESSL's severe convective storms research using the European Severe Weather Database ESWD. *Atmos. Res.* 2009. No. 93. P. 575–586.

7. European Severe Weather Database. *European Severe Storms Laboratory*. URL: <https://www.eswd.eu> (дата звернення: 14.12.2018).
8. Денисова А.И., Тимченко В.М., Нахшина Е.П. и др. Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ. Київ, 1989. 216 с.
9. Регіональна програма розвитку лісового господарства Київської області на період до 2015 року «Ліси Київщини». *Київське обласне та по м. Києву управління лісового та мисливського господарства*. URL: <https://kyivlis.gov.ua/lisy-kyuivshhyny> (дата звернення: 14.12.2018).
10. Гребінь В.В., Хільчевський В.К., Сташук В.А., Чунар'ов О.В., Ярошевич О.С. Водний фонд України: штучні водойми – водосховища і ставки: довідник. Київ, 2014. 164 с.
11. Ліси Чернігівщини. КП «Чернігівоблагроліс», *Чернігівська Обласна Рада*. URL: <https://agrolis.cn.ua/nasha-organizaciya/lisy-chernigivshchyny> (дата звернення: 14.12.2018).
12. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Чернігівській області за 2017 рік. *Департамент агропромислового розвитку, екології та природних ресурсів Чернігівської обласної державної адміністрації*. URL: <http://apk.cg.gov.ua/index.php?id=24511&tp=1> (дата звернення: 14.12.2018).
13. Datenbank über Tornado Fälle Weltweit. URL: <https://www.tornado-map.de> (дата звернення: 14.12.2018).
14. Руководство по безопасности РБ-022-01 «Рекомендации по оценке характеристик смерча для объектов использования атомной энергии». Госатомнадзор России. 2002. 46 с.
15. Интернет-журнал meteoweb.ru. URL: <http://meteoweb.ru> (дата звернення: 20.12.2018).
16. Каталог смерчей на территории России, Казахстана, Украины и Белоруссии в 2013 году. *Земля. Хроники. Жизни*. URL: <http://earth-chronicles.ru/news/2014-01-09-57543> (дата звернення: 20.12.2018).
17. Каталог смерчей на территории Российской Федерации и стран бывшего СССР в 2012 году. URL: <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1Wdxk4vgK1TDAMGoi4Cul85jwuAE> (дата звернення 20.12.2018).
18. Shikhov A., Chernokulsky A. A satellite-derived climatology of unreported tornadoes in forested regions of northeast Europe. *Remote Sensing of Environment*. 2018. Vol. 204. P. 553-567.
19. Dixon M., Wiener G. TITAN: Thunderstorm identification, tracking, analysis and nowcasting – a radar-based methodology. *J. Atmos. Oceanic Tech.* 1993. Vol. 10. P. 785-797.
20. Wilson J.W., Crook N.A., Mueller C.K., Sun J., Dixon M. Nowcasting Thunderstorms: A Status Report. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1998. Vol. 79. P. 2079-2099.
21. Снитковский А.И. Смерчи на территории СРСР. *Метеорология и гидрология*. 1987. № 9. С. 12-25.
22. Charles A. Doswell III. The Distinction between Large-Scale and Mesoscale Contribution to Severe Convection: A Case Study Example. *Weather and Forecasting*. 1987. Vol. 2. P. 3-16.
23. Переходцева Э.В., Золин Л.В. Гидродинамико-статистический прогноз и экспертная система прогноза смерчей на Европейской территории России. *Труды Гидрометцентра России*. 2008. Вып. 342. С. 45-54.
24. Переходцева Э.В. Анализ устойчивости гидродинамико-статистической модели прогноза шквалов и смерчей для территории России. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2009. Т. 1. Вып. 6. С. 155-162.
25. Матвеев Л.Т. Правила качественного анализа условий вихреобразования в атмосфере и некоторые результаты их проверки// *Метеорология и гидрология*. 1956. № 4. С. 28-30.
26. Ромов А.И. Об изменении вихря и циркуляции скорости в атмосфере. *Тр. УкрНИГМИ*. 1955. Вып. 4. С. 18-28.
27. Ромов А.И., Шишкин Н.С., Сосновская Р.П. Смерчи на Украине 30 мая 1985 г. *Метеорология и гидрология*. 1987. № 2. С. 27-36.
28. Лесков Б.Н., Пірнач Г.М., Сирота М.В., Шпиг В.М. Смерчі у Криму 22 липня 2002 року. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2007. Вип. 256. С. 75-91.
29. Tajbakhsh S., Ghafarian P., Sahraian F. Instability indices and forecasting thunderstorms: the case of 30 April 2009. *Journal Natural Hazards Earth Syst. Sci.* 2012. Vol. 12. P. 403-413.
30. Kaltenböck R., Diendorfer G., Dotzek N. Evaluation of thunderstorm indices from ECMWF analyses, lightning data and severe storm reports. *Journal Atmospheric Research*. 2009. Vol. 93. P. 381-396.
31. Shpyg V., Budak I. WRF reflectivity simulation and verification of thunderstorm forecast by radar and surface observation. *16th International Radar Symposium: 24–26 June 2015: Symposium Materials*. Dresden, 2015. P. 610-615.
32. Shpyg V., Budak I. Estimation of effectiveness of thunderstorms observation and their forecast by the instability indices. *7th International Verification Methods Workshop: 03–11 May 2017, Berlin, Germany. Annalen der Meteorologie*. Berlin, 2017. Vol. 51. P. 81.