

Статистика смерчів на території України на основі нових даних

*В.М. Ващенко, І.Б. Кордуба, Є.А. Лоза, Ж.І. Патлашенко,
О.О. Банніков, Ю.М. Кризська, 2018*

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління,
Київ, Україна

Надійшла 16 травня 2018 р.

Смерчи — опасные и труднопредсказуемые атмосферные явления, которые могут приводить к значительному экономическому и социальному ущербу. Поэтому в США и Европе изучению смерчей уделяется все больше внимания, активно развивается система наблюдений и сообщений о смерчах. В статье на основе новых данных семи каталогов экстремальных погодных явлений Европы и в странах бывшего СССР создан сводный каталог, в который вошли 6298 сообщений о наблюдении смерчей, на его основе построены географические распределения зарегистрированных смерчей различных типов и мощностей на территориях Украины, Беларуси, Молдовы, Польши, Румынии, Венгрии и других ближайших к Украине территорий стран Европы за период 1119—2017 гг. в долготно-широтном диапазоне $21—65^\circ$ в. д. и $44—71^\circ$ с. ш. Показано, что географическое распределение смерчей в континентальной и умеренно континентальной климатических областях приблизительно однородно и коррелирует с плотностью населения на соответствующих территориях. Сделан вывод о том, что на малонаселенных территориях Украины 90—95 % случаев разрушительных смерчей интенсивностью EF1 и выше остаются незарегистрированными и неучтенными в каталогах. Этот вывод подтверждается данными дистанционного космического зондирования, а значит, реальное количество смерчей должно превышать примерно в 10—20 раз количество сообщенных случаев, зарегистрированных в каталогах. На основании анализа данных сводного каталога также показано, что на территории Украины могут возникать катастрофические смерчи интенсивностью EF4—EF5. В соответствии с географическим распределением вероятностей регистрации смерчей на территории Украины, вероятность регистрации мощных разрушительных смерчей классом EF1 и выше также географически примерно однородно распределена для всей территории Украины. Согласно этому распределению, средняя вероятность регистрации сообщений о смерчах составляет 20,6 смерчей на квадратный градус за столетие, а для разрушительных смерчей интенсивностью EF1 и выше — 4,3.

Ключевые слова: смерчи, каталоги, карты, географическое распределение, вероятность.

Вступ. У статті смерч визначено як небезпечно і важкопрогнозоване атмосферне явище у формі лійкоподібного вихору, який у США та Європі звичайно називають "торнадо". Смерчі часто мають високу руйнівну силу і здатні наносити значну соціальну та економічну шкоду. Смерчі виникають в усьому світі, однак най-

більша їх кількість зареєстрована в США. Лише на території так званої "Алеї торнадо" щороку внаслідок смерчів гинуть близько 80 осіб і більш як 1500 осіб отримують поранення [Tornado ..., 2018].

Через свою локальну природу дуже часто смерчі, в тому числі руйнівні, залишаються незареєстрованими на метеороло-

гічних спостережувальних пунктах і тому не входять до офіційних каталогів екстремальних погодних явищ. Кожен підтверджений факт спостереження смерчу є важливим не лише з точки зору визначення ймовірності виникнення цих подій і їх проходження через певну територію, а й з позиції фундаментальних наукових досліджень у галузі термодинаміки, газодинаміки тощо. З практичного погляду, дослідження смерчів є важливими для розробки методів їх прогнозування з метою попередження потенційних катастрофічних наслідків.

На території України смерчі також здатні спричиняти значну небезпеку. Наприклад, 23 червня 1997 р. унаслідок смерчу біля с. Раків Ліс (Волинська обл.) загинуло 4 особи, 17 осіб було травмовано, зруйновано близько 200 будинків, знищено та пошкоджено понад 600 млн м² посівів. Для ліквідації наслідків цього смерчу було залучено більш як 1700 осіб і задіяно понад 100 одиниць спеціальної техніки [Стеблюк, 2013].

У останні роки значний внесок у вивчення смерчів було зроблено за допомогою методики дистанційного зондування Землі на основі ретроспективного аналізу серій космічних знімків лісових територій, на яких проходження смерчів спричинило масові вивали лісу [Shikhov, Chernokulsky, 2018]. Економічні збитки від таких вивалів можуть бути більші за збитки, спричинені лісовими пожежами. При цьому аналіз космічних знімків також дає змогу виявити наслідки руйнівних потужних смерчів у важкодоступних і ненаселених регіонах, визначити кількісні параметри смерчів — приблизну дату події, площу вивалених дерев, форму і траєкторію проходження смерчу, й навіть оцінити конкретну кількість пошкоджених чи повалених дерев.

Однак незважаючи на значний прогрес у виявленні та прогнозуванні смерчів, наявність удосконалених кліматичних та атмосферних моделей, спеціальних метеорологічних космічних платформ, доплерівських радарних систем й потужних ком-

п'ютерів, фізика, умови формування і утворення смерчів все ще залишаються багато в чому не визначеними і не сформульованими для всіх регіонів Землі.

Небезпека смерчів. Унаслідок смерчу потужністю F3 на території Бангладеш 26 квітня 1989 р. загинуло щонайменше 1300 осіб, травмовано — 12 000, залишились без домівок — 80 000 осіб. Економічні збитки становили 1,5 млн дол. США [Dolce, 2014].

До трагічних наслідків також призвів раптовий, малопотужний і короточасний смерч інтенсивністю EF1 на території Цзяньлі у Китаї, який у червні 2015 р. забрав життя майже 450 осіб — пасажирів та екіпажу внаслідок затоплення річкового лайнера "Eastern Star" на р. Янцзи [Tornado..., 2008].

Найпотужнішим із зареєстрованих за всю історію спостережень смерчів визнано смерч класу потужності F5, який спостерігали 3 травня 1999 р. у США біля м. Оклахома-Сіті. У лійці цього смерчу діаметром 100 м швидкість вітру досягала 136 м/с (490 км/год). Це найбільша зареєстрована швидкість вітру на Землі за всю історію спостережень [Wurman, Kosiba, 2013].

За останні 200 років у Європі були зареєстровані катастрофічні смерчі: біля м. Монвіль (Франція) у серпні 1845 р. [Ravilious, 2018] (щонайменше 70 смертельних випадків, за іншими даними — до 200 смертельних випадків [British..., 2018; Dessens, Snow, 1989]); біля м. Іваново (Росія) у червні 1984 р. (69 смертельних випадків, за іншими даними — до 400 смертельних випадків [Finch, Vikos, 2012]) та у муніципалітеті Орія (Італія) у вересні 1897 р. (55 смертельних випадків).

Поблизу кордону України з Польщею за останні 100 років зареєстровано два потужні смерчі, які офіційно класифіковані як F4, але за характером і масштабами руйнувань вони могли мати потужність F5. Це смерчі 20 липня 1931 р. поблизу м. Люблін (Польща) та 20 травня 1960 р. поблизу с. Ніборз (Польща) [European..., 2013].

Незважаючи на те що кількість та руйнівна сила європейських смерчів менша, ніж смерчів США, щорічно вони призводять у Європі до економічних збитків і людських втрат. Так, у 1950—2015 рр. смерчі стали причиною 316 смертельних випадків, 4462 поранень і сумарних збитків приблизно у 1 млрд євро [Antonescu et al., 2017].

Вивчення смерчів у США та Європі. У США вивченню смерчів не приділяли належної уваги доти, доки у 1880-х роках Д. П. Фінлі у Signal Corps Армії США не розробив методіку виявлення можливих умов виникнення смерчів у вигляді так званих "правил Фінлі" [Finley, 1884], на основі яких у 1884—1886 рр. він зробив декілька успішних пілотних прогнозів.

Утім після декількох наступних невдалих прогнозів смерчів метеорологи США дійшли висновку, що прогнозування смерчів може спричинити паніку серед населення. Саме тому у Правилах роботи станцій Погодного бюро США у 1905 р. офіційно було заборонено використовувати слово "смерчі" та публікувати їх прогнози. Фактично це призвело до припинення досліджень явища. Ця заборона також була підтверджена у наступних редакціях "Правил" 1915 і 1934 рр.

Переломний момент у сприйнятті смерчонебезпеки у США настав лише після серії катастрофічних смерчів, зокрема смерчу 8 березня 1925 р., який пронісся штатами Міссурі, Іллінойс та Індіана і спричинив 695 смертей, травмував 2000 осіб. Збитки від нього було оцінено у 16,5 млн дол. США. У результаті у США було розроблено комплекс заходів і засобів для оперативного виявлення та подальшого контролю розвитку небезпечних смерчів у такому складі: 1) система прогнозування можливості виникнення смерчів; 2) система моніторингу смерчів; 3) система розповсюдження попередження про смерч; 3) комунікаційні системи і тренінги для населення [Bradford, 1999].

У подальшому перший успішний прогноз смерчу у США було зроблено у 1948 р., у 1950 р. остаточно знято "заборону" на вживання слова "смерчі". А в 1965 р. смерч,

який спричинив загибель 271 особи та 200 млн дол. США збитків [Heidorn, 2007], остаточно змусив Національну службу погоди США надати проблемі вивчення смерчів пріоритетний статус.

Наступним надзвичайно важливим кроком у вивченні та прогнозуванні смерчів стало масове застосування спеціалізованих доплерівських погодних радарів на моніторингових пунктах США у 1990-х роках. Це дало змогу виявляти не лише метеокліматичні умови, сприятливі для формування смерчів, а й циркуляційні рухи у осередках шторму, що можуть утворити смерчі. На сьогодні завчасність попередження про небезпечні смерчі у США становить 10—15 хв.

У Європі за період 1950—2015 рр. середня щорічна кількість зареєстрованих смерчів становила 83 випадки, що було в 11 разів менше за аналогічний показник для США. Завдяки поширенню Інтернету, фото- та відеотехніки щорічна кількість повідомлень про смерчі зростає більш як у 13 разів (рис. 1), у 2015 р. в Європі було зафіксовано 206 смерчів [Antonescu, 2017]. Проте реальна кількість випадків смерчів залишається невідомою через недостатню кількість якісних офіційних даних і оцінюється не менше 300—400 щорічно [Groenemeijer, Kuhne, 2014].

Після 2006 р. у Європейській лабораторії екстремальних штормів розпочалося створення нового каталогу European Severe Weather Database (Європейська база даних екстремальних погодних явищ — ESWD) [Dotzek et al., 2009; European ..., 2013], до якого було включено повідомлення про смерчі. До цього каталогу за період часу 1950—2015 рр. занесено 5478 смерчів, які спостерігали у 42 європейських країнах [Antonescu et al., 2017].

Смерчі на території України. На сьогодні немає єдиного "повного" каталогу смерчів для території України, внаслідок чого оцінки ймовірності виникнення смерчів суттєво занижені.

Для уточнення статистики спостережень та реєстрації фактів смерчоутворення на території України у цій статті викорис-

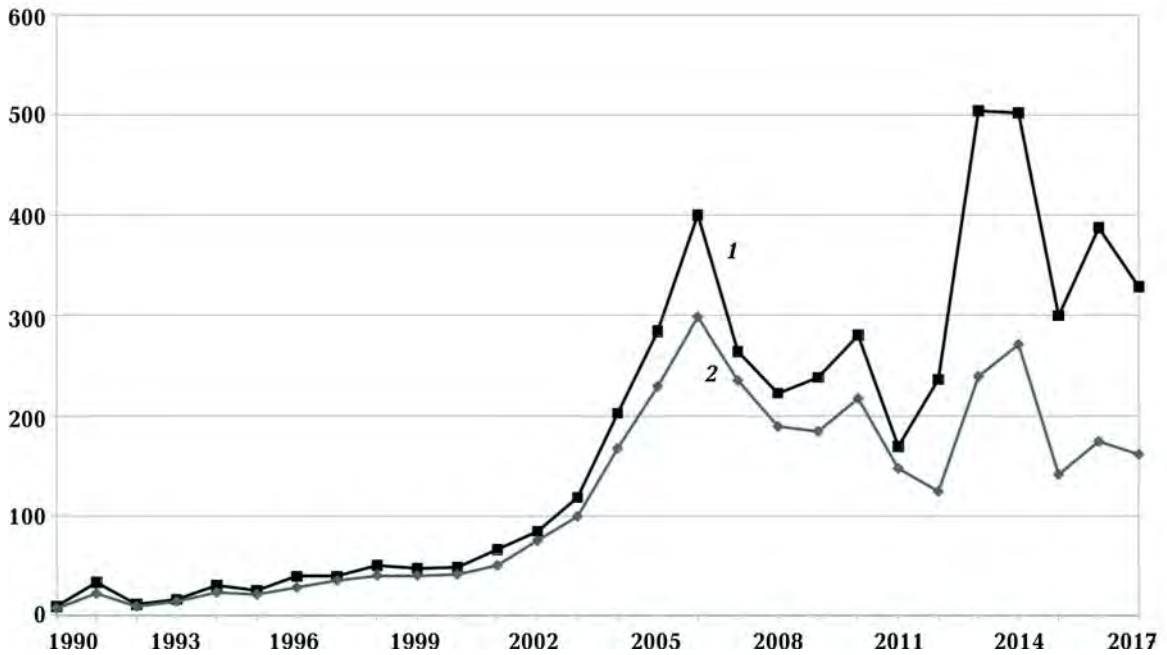


Рис. 1. Кількість повідомлень про смерчі, зареєстрована у каталогах [Руководство ..., 2001; European ..., 2013; meteoweb.ru; Каталог ..., 2013, 2014; Tornado ..., 2018; Shikhov, Chernokulsky, 2018] за період 1990—2017 рр.: 1 — сумарна кількість записів, 2 — кількість записів після їх просторової фільтрації та фільтрації можливих дублікатів.

тано зведений авторами каталог на основі синтезу даних каталогів European Severe Weather Database [Dotzek et al., 2009; European ..., 2013] і Tornado-Map.de [Tornado ..., 2018], а також каталогу смерчів, що міститься у додатку до РБ-022 [Руководство ..., 2001], матеріалів інтернет-журналу Meteoweb.ru [meteoweb.ru], Каталогу смерчів на території колишнього СРСР [Каталог ..., 2012] і Каталогу смерчів на території Росії, Казахстану, України та Білорусі [Каталог ..., 2014] й матеріалів статті [Shikhov, Chernokulsky, 2018]. Зведений каталог загалом містив 6298 випадків реєстрації смерчів, з яких 5794 випадки зареєстровано у географічному регіоні 14° — 65° сх. д. і 44° — 71° пн. ш. за період часу 1119—2017 рр. Вибір таких довготно-широтних характеристик обраних територій зумовлений необхідністю аналізу смерчонебезпеки для територій як України, так і суміжних країн. Оскільки відповідні каталоги частково містили повідомлення про одні й ті самі смерчі, проведено фільтрацію можливих дублікатів, після якої кіль-

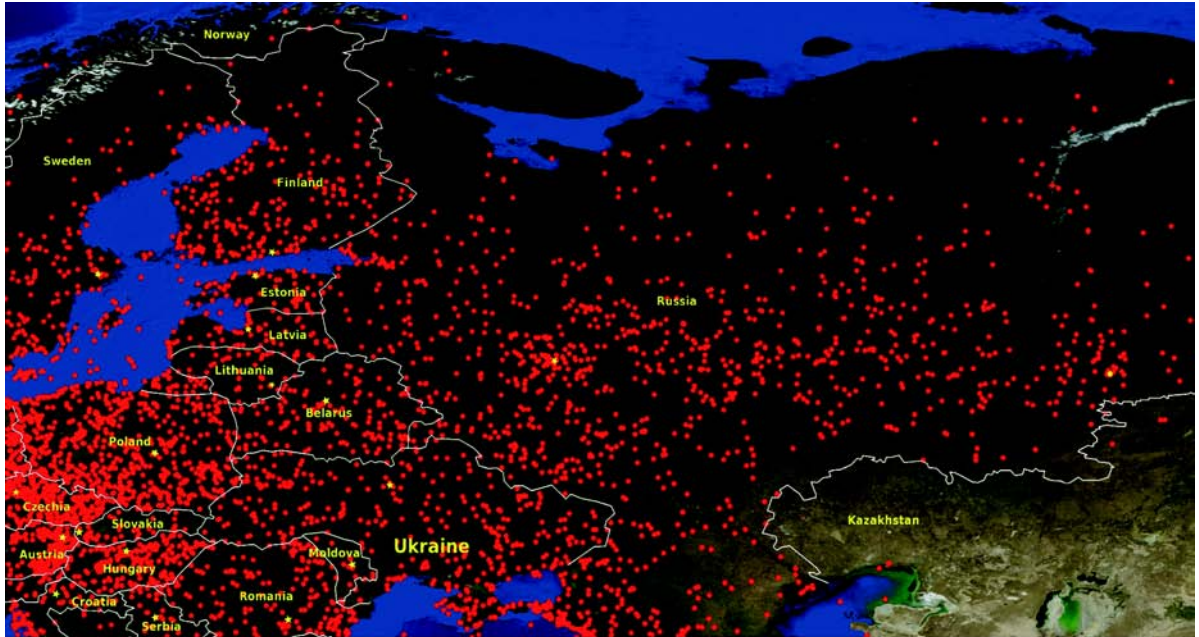
кість робочих подій становила 4406 записів. До зведеного каталогу увійшли смерчі усіх типів — dust devil, funnel cloud, gustnadoe, tornado (згідно з класифікацією ESWD).

На основі зведеного каталогу побудовано географічний розподіл смерчів на досліджуваній території (рис. 2). Моделювання і обробку даних виконано у програмах Free Pascal, Lazarus, рендер на основі програми Castle Game Engine.

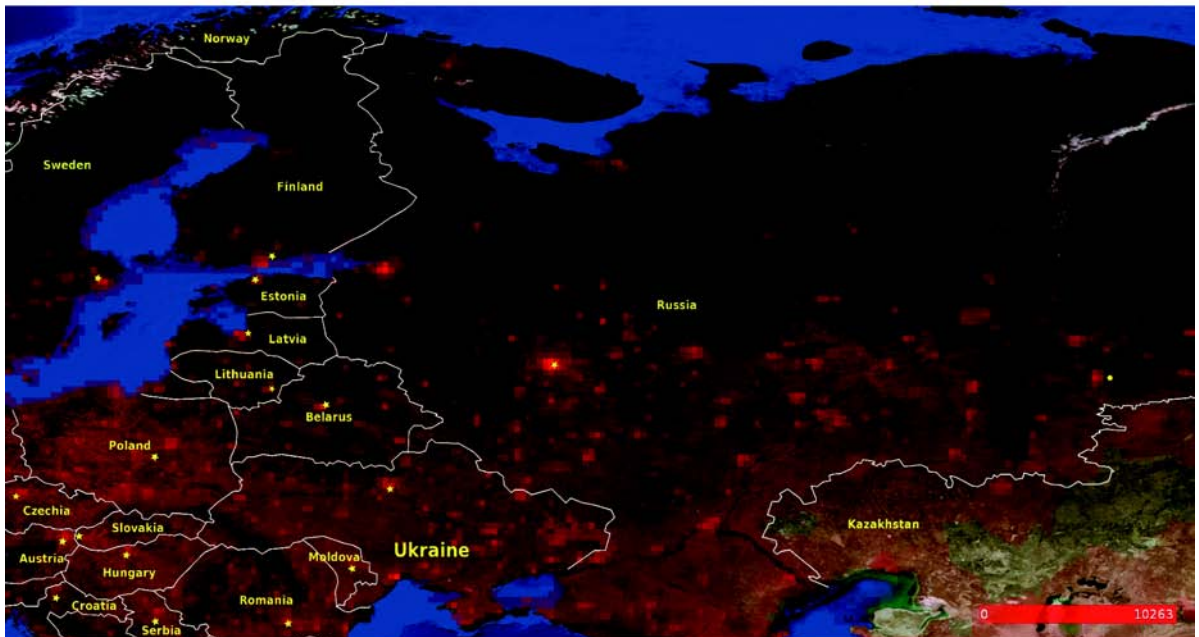
За допомогою створеної карти координатного географічного розподілу фактів реєстрації смерчів можна вводити поправки за селекцію спостереження смерчів у різних країнах, враховувати неоднорідність реєстраційних даних унаслідок різної густоти населення та оцінювати коефіцієнт імовірності неререєстрації реальних смерчів для малонаселених територій. На карті прослідковується тенденція тяготіння кількості зареєстрованих смерчів саме до густонаселених районів (порівн. рис. 2, а, б), про що зазначено у публікаціях [Taszarek, Brooks, 2015; Antonescu et al., 2017].

У останні роки зроблено значний крок у вивченні реальних потужних, але не зареєстрованих смерчів класу F1 і більше

в лісовій зоні на підставі використання даних космічного дистанційного зондування Землі, включаючи космознімки та



а

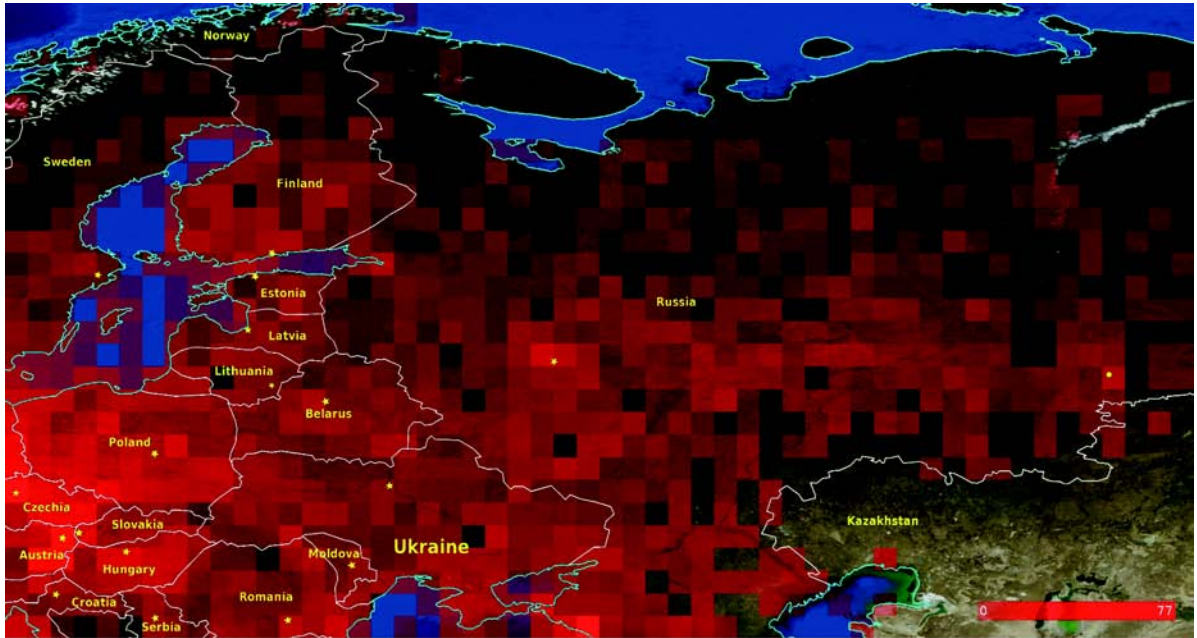


б

Рис. 2. Географічний розподіл: а — смерчів для територій України та прилеглих країн за даними каталогів [Руководство ..., 2001; European ..., 2013; meteoweb.ru; Каталог ..., 2013, 2014; Tornado ..., 2018; Shikhov, Chernokulsky, 2018]; б — густоти населення (осіб на 1 км²) станом на 2015 р. за даними [Center ..., 2017], базова карта — NASA August Blue Marble [Stockli et al., 2005], жовтими зірочками позначено столиці країн.

карти змін лісового покриву Землі Global Forest Change Map. Ця методика ґрунтується на виявленні на космознімках вузьких і протяжних суцільних вітровалів з подальшою їх верифікацією на підставі даних супутникових знімків високої роз-

дільної здатності, таких як Landsat, Sentinel та ін. [Шихов, Тарасов, 2016]. За допомогою таких космознімків і даних Global Forest Watch виявлено 110 випадків вивалу лісу на території Росії, спричинених смерчами потужністю F1 і більше, з яких



а



б

Рис. 3. Географічний розподіл імовірності реєстрації смерчу у рівнопрямій проекції, побудований на основі каталогів [Руководство ..., 2001; European ..., 2013; meteoweb.ru; Каталог ...]

лише 5 смерчів занесено до каталогу ESWD [Shikhov, Chernokulsky, 2018].

Статистика виявлених у такий спосіб смерчів дає змогу зробити висновок, що для малонаселених територій інформація про 95—96 % випадків потужних смерчів (класом F1 і вище) і ще більша кількість менш потужних смерчів залишається незареєстрованою.

Слід зауважити, що репрезентований у цій статті метод працює виключно для густих лісових масивів і для смерчів потужністю F1 і більше, які супроводжуються вивалом лісу на площах понад 1 га. Тому значення 95 % є нижньою граничною оцінкою ймовірності нерєєстрації смерчу на певній малонаселеній площі.

Отже, для малонаселених територій можна оцінити коефіцієнт імовірності нерєєстрації смерчу потужністю F1 і вище — 95%, тобто на один зареєстрований смерч відповідного класу потужності припадає 20 незареєстрованих смерчів, які призвели до фактичних значних руйнувань. На підставі логарифмічески нормального розподілу кількості смерчів залежно від їх

потужності [Shikhov, Chernokulsky, 2018] можна стверджувати, що смерчів потужністю F0 на відповідній території відбувається у 10 разів більше, ніж потужністю EF1+. Це означає, що ймовірність нерєєстрації смерчу класу інтенсивності F0 і вище для малонаселених територій становить 99,5%, або на кожен зареєстрований такий смерч припадає 200 незареєстрованих смерчів потужністю F0 і вище.

Отримані результати узгоджуються із таким фактом: для території США у 1920-ті роки приймали, що середня кількість смерчів за рік дорівнювала 100—200, а в останнє десятиліття середньорічна кількість повідомлень про спостереження смерчів перевищує 1200. Таким чином, можна очікувати, що зростання доступності фото- та відеотехніки для населення, а також можливостей Інтернету й надалі збільшуватиме кількість випадків реєстрації смерчів різних типів і потужностей.

Аналіз даних карти (рис. 3, в) також вказує на відсутність географічно виражених "центрів смерчоутворення" чи якихось інших характерних географічних ло-

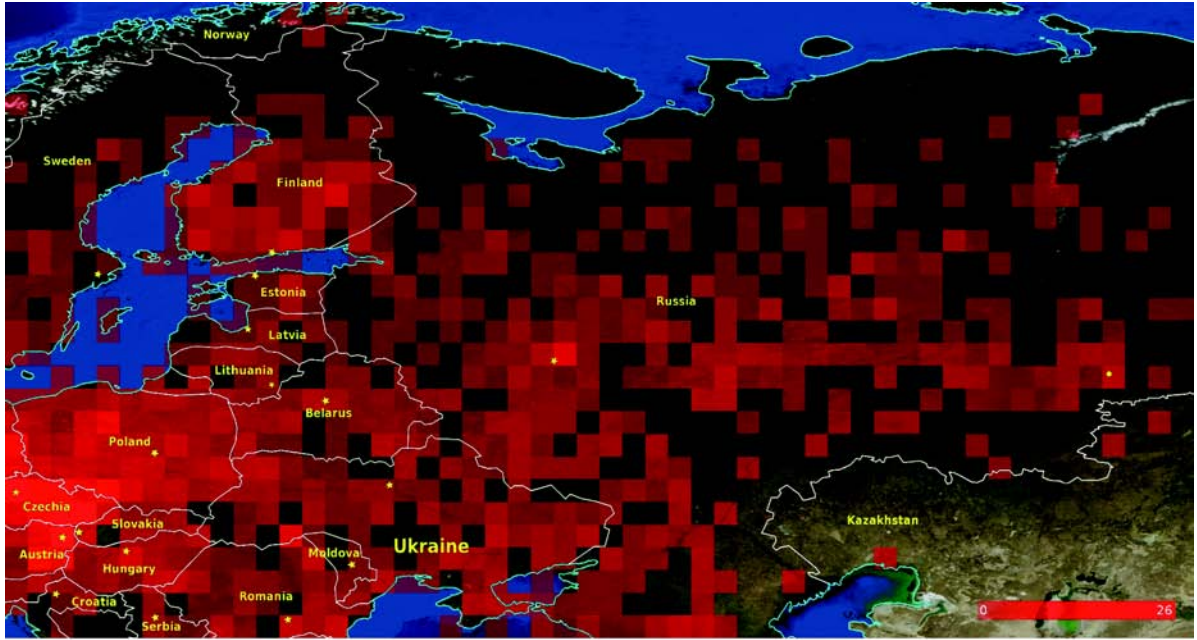


В

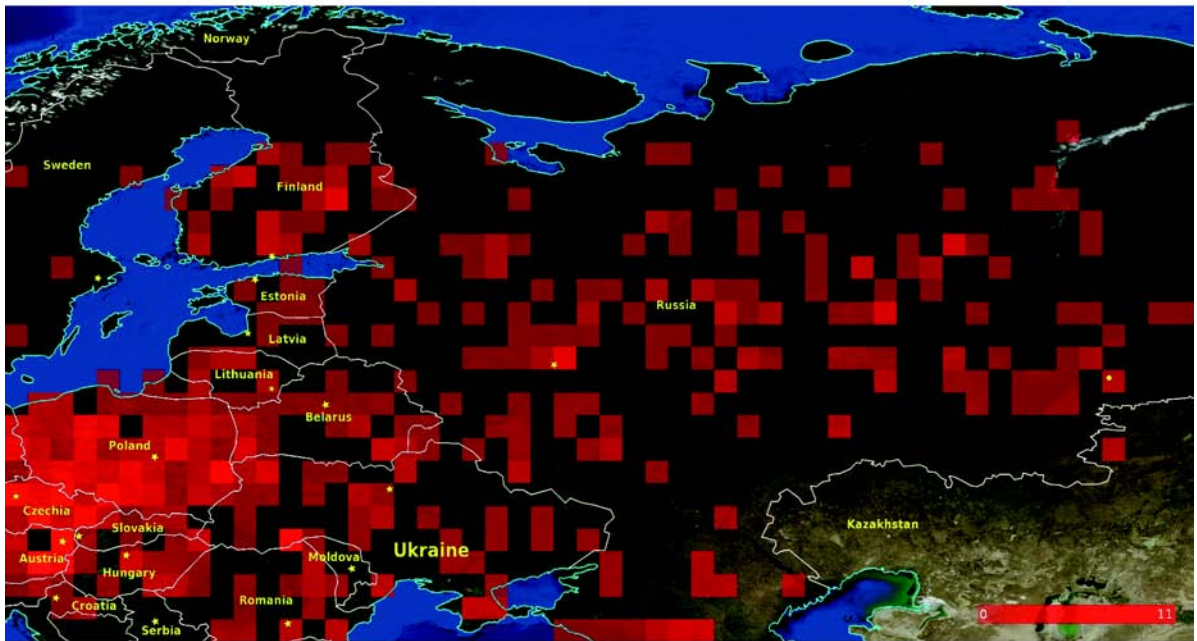
2013, 2014; Tornado ..., 2018; Shikhov, Chernokulsky, 2018]. Розмір чарунки сітки: a — $1^\circ \times 1^\circ$; b — $0,5^\circ \times 0,5^\circ$; v — $0,33^\circ \times 0,33^\circ$.

кальних територій із суттєво підвищеною смерчонебезпекою, крім очевидної кореляції кількості зареєстрованих смерчів із великими населеними пунктами (див. рис. 2, б). Отже, смерчі можуть виникати і ви-

никають на значних площах із квазіоднорідною ймовірністю, а в межах масштабних кліматичних структур їх особливості можуть бути зумовлені локальними характеристиками підстильної поверхні та міс-



а



б

Рис. 4. Географічний розподіл смерчів у рівнопрямій проекції із достовірно ідентифікованою потужністю за шкалою Фудзита—Пірсона на основі каталогів [Руководство ..., 2001; European ..., 2013; meteoweb.ru; Каталог ..., 2013, 2014; Tornado ..., 2018; Shikhov, Chernokulsky, 2018]: а — F0 і вище; б — F2 і вище. Розмір чарунки сітки $1^\circ \times 1^\circ$.

цевими, переважно аерологічними та гідрологічними, умовами.

Таким чином, небезпека виникнення потужного смерчу існує на усіх без винятку територіях України та суміжних країн.

Географічний розподіл випадків реєстрації смерчів. На рис. 3—5 показано карти розподілу відносних імовірностей випадків реєстрації смерчів для досліджуваних територій.

Відповідно до рис. 3, а, розподіл імовірності реєстрації смерчів для усієї території України й на територіях суміжних країн має квазіоднорідний характер. Рис. 3, в також наочно демонструє проблему неповідомлення про випадки смерчів на територіях не тільки України, а й Білорусі, Румунії, Словаччини, Молдови і деяких інших країн, як зазначено вище. При цьому географічний розподіл на рис. 3—5 зроблено у вигляді довготно-широтної сітки у рівнопрямій проекції із розміром кожної чарунки $1^\circ \times 1^\circ$.

Про квазіоднорідність розподілу можна стверджувати принаймні для двох клі-

матичних зон: континентальної та помірно континентальної.

На рис. 3, б, в з меншим розміром чарунок сітки, $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ та $0,33^\circ \times 0,33^\circ$ відповідно, детальніше також прослідковується чіткий зв'язок кількості зареєстрованих повідомлень про спостереження смерчів із густиною населення (див. рис. 2, б) на всіх територіях. Такий самий висновок можна зробити і для густонаселених берегових територій, де умови для спостереження смерчів є сприятливішими.

Відносна густина смерчів на рис. 3 визначена на основі шкал, розташованих у правій нижній частині кожного рисунка, і відповідає сумарній кількості зареєстрованих смерчів на певних територіях за весь період спостережень.

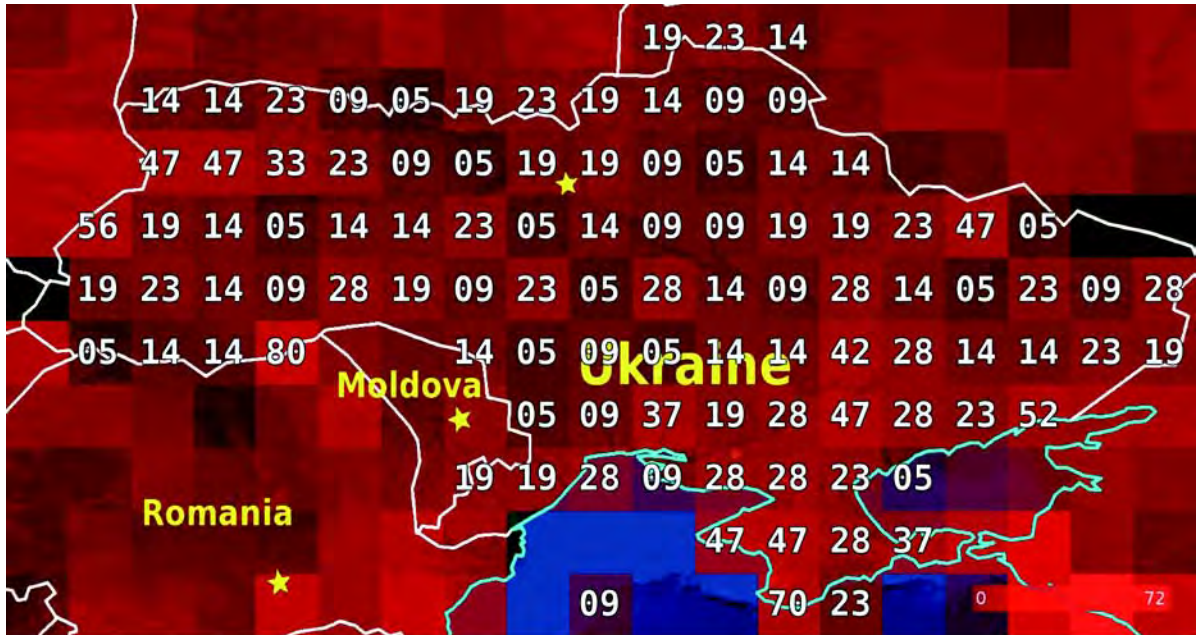
Географічний розподіл повідомлень про смерчі з їх достовірно визначеними потужностями за шкалою Фудзіти—Пірсона показано на рис. 4. Як бачимо, характер розподілу зареєстрованих смерчів потужністю EF0 і більше підтверджує висновок про те, що розподіли смерчів із дос-



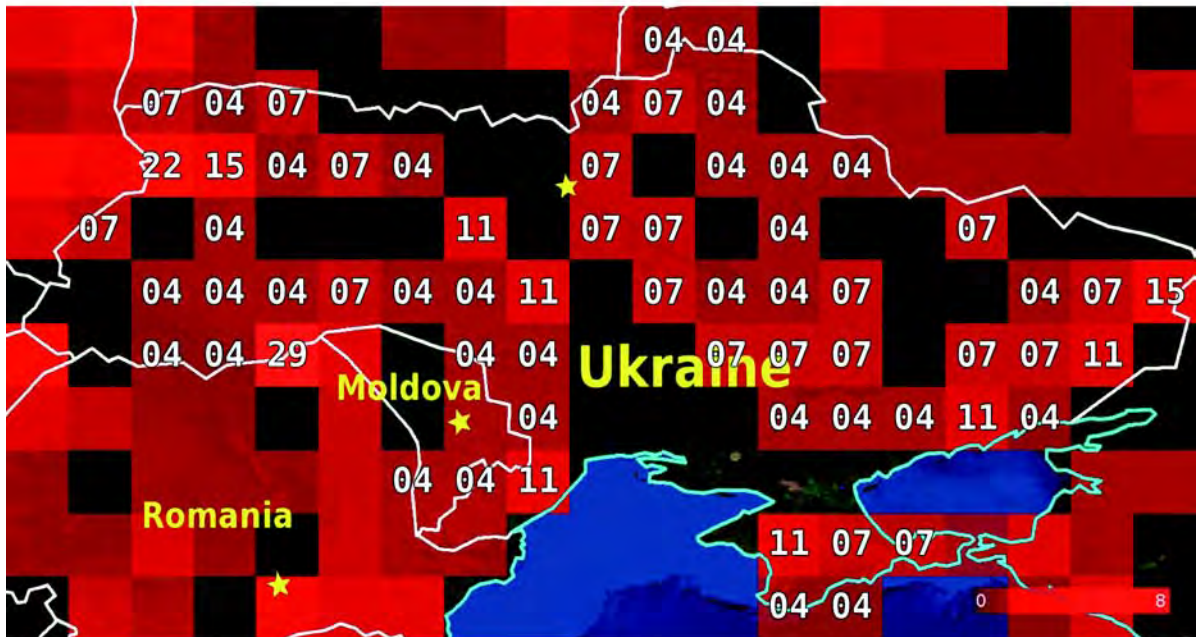
Рис. 5. Географічний розподіл смерчів у рівнопрямій проекції потужністю F3 і вище за шкалою Фудзіти—Пірсона на основі каталогів [Руководство ..., 2001; European ..., 2013; meteo-web.ru; Каталог ..., 2013, 2014; Tornado ..., 2018; Shikhov, Chernokulsky, 2018].

товірно визначеною потужністю як для класів EF0—EF5 (рис. 4, а), так і для класів потужності EF2—EF5 (рис. 4, б) зберігають свою географічну однорідність. Інши-

ми словами, з огляду на характер цих розподілів можна стверджувати, що високопотужні смерчі, як і малопотужні, можуть виникати на будь-яких територіях, і особ-



а



б

Рис. 6. Розподіл імовірності реєстрації смерчів — кількості подій за 100 років, приведений до середніх показників 2007—2017 рр. для території України на основі каталогів [Руководство ..., 2001; European ..., 2013; meteoweb.ru; Каталог ..., 2013, 2014; Tornado ..., 2018; Shikhov, Chernokulsky, 2018]: а — усіх смерчів, б — смерчів потужністю EF1 і вище. Рівнопрямісна проекція, розмір чарунки $1^\circ \times 1^\circ$.

ливо з урахуванням коефіцієнтів на селекцію їх реєстрації.

При цьому, виходячи з дискретної природи реєстрації випадків спостереження смерчів, структуру географічних розподілів потужних смерчів змодельовано так званім ефектом дробового шуму. Така сама картина проявляється і для географічного розподілу катастрофічних смерчів з потужністю EF3—EF5, найбільш руйнівних і небезпечних (рис. 5).

З точки зору перспектив удосконалення методів розрахунків небезпечних ризиків, пов'язаних із виникненням і впливом руйнівних смерчів, тобто смерчів класу EF1 і вище, доцільно побудувати географічний розподіл частоти реєстрації смерчів за певний період часу. Тому рис. 6 ілюструє частоту реєстрації смерчів на території України за даними каталогів [Руководство ..., 2001; meteoweb.ru; Каталог ..., 2012, 2014; European ..., 2013; Tornado ..., 2018; Shikhov, Chernokulsky, 2018] у одиницях кількості зареєстрованих подій за 100 років на чарунки розміром $1^\circ \times 1^\circ$, приведену до середніх показників 2007—2017 рр. Частота реєстрації руйнівних смерчів на території України становить від 4 до 29 смерчів на квадратний градус за століття при середньому значенні для усїєї території України 4,3 потужних смерчів на квадратний градус за століття. При цьому, оскільки на рис. 6, а враховано усі без винятку факти зареєстрованих смерчів усіх типів та класів потужності, статистика стає одноріднішою і сягає значень від 5 до 80 смерчів за століття на квадратний градус при середньому значенні для усїєї території України 20,6 смерчів на квадратний градус за століття.

Відповідні ймовірності розраховано за формулою

$$P = P_{2007-2017} \frac{N}{\sum N_{1119-2017}},$$

де P — результуюча ймовірність для конкретної території (чарунки розміром $1^\circ \times 1^\circ$), N — кількість зареєстрованих смерчів для цієї території за весь період спостережень; $P_{2007-2017}$ — середня щорічна кількість

повідомлень про смерчі за період 2007—2017; $\sum N_{1119-2017}$ — загальна кількість повідомлень про смерчі за весь період спостереження в усьому регіоні (у статті — територія України).

Висновки. 1. На основі наявних у відкритому доступі каталогів смерчів створено зведений каталог смерчів різних типів і потужностей, який містить 6298 випадків спостереження смерчів на територіях України, Білорусі, Молдови, Польщі, Румунії, Угорщини та інших найближчих до України територій Європи за період 1119—2017 рр.

2. Згідно з результатами аналізу географічного розподілу фактів реєстрації смерчів у довготно-широтному діапазоні 21° — 65° сх.д. та 44° — 71° пн.ш., розподіл смерчів у континентальній та помірно континентальній кліматичних областях є приблизно однорідний і корелює із густотою населення, що, зокрема, вказує на відсутність географічно виражених локальних "центрів смерчоутворення".

3. На малонаселених територіях України 90—95 % руйнівних смерчів інтенсивністю EF1 і вище залишаються неповідомленими і тому неврахованими у каталогах, що підтверджується даними дистанційного космічного зондування Землі. Отже, реальна кількість смерчів має перевищувати приблизно у 20 разів кількість повідомлених випадків, зареєстрованих у каталогах.

4. Побудовані карти розподілу ймовірності реєстрації смерчів різної потужності на досліджуваних територіях показують, що ймовірність реєстрації потужних руйнівних смерчів класом EF1 і вище також має приблизно однорідний географічний розподіл для територій, що розміщуються у континентальній та помірно континентальній кліматичних зонах, а отже, і для усїєї території України.

Відповідно до географічного розподілу ймовірностей спостереження смерчів для території України, приведених до показників 2007—2017 рр., середня ймовірність реєстрації повідомлень про смерчі становить 20,6 смерчів на квадратний градус за століття.

Список літератури

- Интернет-журнал* Meteoweb.ru. [Электронный ресурс]. <http://meteoweb.ru> (дата обращения 3.04.2018).
- Каталог* смерчей на территории России, Казахстана, Украины и Белоруссии в 2013 году. (2014). [Электронный ресурс]. <http://earth-chronicles.ru/news/2014-01-09-57543> (дата обращения 3.04.2018).
- Каталог* смерчей на территории Российской Федерации и стран бывшего СССР в 2012 году. (2012). [Электронный ресурс]. <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1Wdxk4vqK1TDAMGoi4Cul85jwuAE> (дата обращения 3.04.2018).
- Руководство* по безопасности РБ-022-01 "Рекомендации по оценке характеристик смерча для объектов использования атомной энергии" (утв. постановлением Госатомнадзора Российской Федерации от 28 декабря 2001 г. № 17). [Электронный ресурс]. <http://meganorm.ru/Data2/1/4293852/4293852236.htm>.
- Стеблюк М. І.* Цивільна оборона та цивільний захист: Підручник. Київ: Знання, 2013. 487 с.
- Шухов А. Н., Тарасов А. В.* Анализ случаев возникновения смерчей в лесной зоне Европейской части России по данным дистанционного зондирования Земли: Материалы III Междунар. конф. "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли". Красноярск, СФУ, 2016. С. 346—349.
- Antonescu B., Schultz D. M., Holzer A., Groenemeijer P.,* 2017. Tornadoes in Europe: An Underestimated Threat. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98 (4), 713—728. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0171.1>.
- Bradford M.,* 1999. Historical Roots of Modern Tornado Forecasts and Warnings. *Weather and forecasting*, 14 (4), 484—491. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1999\)014%3C0484:HR0MTF%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1999)014%3C0484:HR0MTF%3E2.0.CO;2).
- British & European Tornado Extremes. The Tornado & Storm Research Organisation, 2018. Retrieved from http://www.torro.org.uk/whirlwind_info.php.
- Center for International Earth Science Information Network (CIESIN) Columbia University, 2017. Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Population Density, Revision 10. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). Retrieved from <https://doi.org/10.7927/H4DZ068D>.
- Dessens J., Snow J. T.,* 1989. Tornadoes in France. *Weather and forecasting*, 4, 110—132. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1989\)004<0110:TIF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1989)004<0110:TIF>2.0.CO;2).
- Dolce C.,* 2014. The Deadliest Tornado in the World. Tornado News. *The Weather Company*. <https://weather.com/storms/tornado/news/deadliest-tornado-world-bangladesh-20140416>.
- Dotzek N., Groenemeijer P., Feuerstein B., Holzer A. M.,* 2009. Overview of ESSL's severe convective storms research using the European Severe Weather Database ESWD. *Atmos. Res.*, 93, 575—586. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.10.020>.
- European Severe Weather Database, 2013. Retrieved from <https://www.eswd.eu>.
- Finch J., Bikos D.,* 2012. Russian tornado outbreak of 9 June 1984. *Electronic J. Severe Storms Meteor.*, 7 (4), 1—28.
- Finley J. P.,* 1884. Intelligence from American scientific stations. *Science*, 3, 767—768.
- Groenemeijer P., Kühne A.,* 2014. A Climatology of Tornadoes in Europe: Results from the European Severe Weather Database. *Mon. Weather Rev.*, 142 (12), 4775—4790. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-14-00107.1>.
- Heidorn K. C.,* 2007. 1965 Palm Sunday Tornado Outbreak Part I: The Beginning. *The Weather Doctor*. http://www.islandnet.com/~see/weather/events/1965palmsun_torn.htm.
- Ravilious K.,* 2018. Weather watch: Europe has

- a history of fatal tornadoes. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/news/2018/apr/13/weatherwatch-europe-has-a-history-of-fatal-tornadoes>.
- Shikhov A., Chernokulsky A.*, 2018. A satellite-derived climatology of unreported tornadoes in forested regions of northeast Europe. *Remote Sensing of Environment*, 204, 553—567. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.10.002>.
- Stöckli R., Vermote E., Saleous N., Simmon R., Herring D.*, 2005. The Blue Marble Next Generation — A true color earth dataset including seasonal dynamics from MODIS. *Published by the NASA Earth Observatory*. <https://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=73776>. Retrieved 7.05.2018.
- Taszarek M., Brooks H.E.*, 2015. Tornado Climatology of Poland. *Mon. Weather Rev.*, 143, 702—717. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-14-00185.1>.
- Tornado Facts, 2018. Retrieved from <https://www.nationalgeographic.com/environment/natural-disasters/tornadoes/>.
- Tornado Map, 2018. Retrieved from <http://www.tornado-map.de>.
- Wurman J., Kosiba K.*, 2013. Fine scale Radar Observations of Tornado and Mesocyclone Structures. *Weather and Forecasting*, 28 (5), 1157—1174. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-12-00127.1>.

Tornado statistics in Ukraine based on new data

***V.M. Vashchenko, I.B. Korduba, Ye.A. Loza, Zh.I. Patlashenko,
O.O. Bannikov, Yu.M. Kryzyska, 2018***

Tornadoes are dangerous and difficult to forecast atmospheric phenomenon that may cause high economic and social losses. Therefore in the USA and Europe tornado receive more attention and tornadoes observation systems are actively expanding and improving. In the present paper, based on the new data of seven severe weather catalogs of Europe and former USSR a merged catalog was created containing 6298 tornado sighting records. On this basis the geographical distribution of recorded tornadoes of all types and intensities in Ukraine, Belarus, Moldova, Poland, Romania, Hungary and other European countries near Ukraine in 1119—2017 within 21—65 °E and 44—71 °N was mapped. The tornado geographic distribution in continental and moderate continental climate areas was shown to be approximately homogeneous and correlating with population density in the territories under consideration. A conclusion that in the low populated regions of Ukraine 90—95 % of destructive tornadoes with intensity EF1 and above remain unreported and are not included in the catalogs was obtained. This conclusion was confirmed by Earth remote sensing data, therefore the real quantity of tornadoes in Ukraine should be approximately 10—20 times higher than the amount of events reported in the catalogs. Based on analysis of the merged catalog it was shown that catastrophic tornadoes with EF4—EF5 intensity may also emerge in Ukrainian territory. The geographic distribution of tornado emerging probability in Ukrainian territory was mapped. The probability of powerful destructive tornadoes with intensity EF1 and higher registration was also shown to be approximately homogeneous in all the territory of Ukraine. Based on geographic distribution of tornado observation frequency in Ukraine the average rate of tornado reporting in Ukraine was estimated to be 20.6 tornadoes per square degree per century, and for destructive tornadoes of EF1 intensity and higher, this frequency estimate is 4.3.

Key words: tornado, catalog, map, geographic distribution, probability.

References

- Internet-magazine Meteoweb.ru. Retrieved from <http://meteoweb.ru>.
- Tornado in the territory of Russia, Kazakhstan, Ukraine and Belarus in 2013. (2014). Retrieved from <http://earth-chronicles.ru/news/2014-01-09-57543>.
- Tornado in the territory of the Russian Federation and the countries of the former USSR in 2012. (2012). Retrieved from <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1Wdxk4vgK1TDAMGoi4Cul85jwuAE>.
- Safety Manual RB-022-01 "Recommendations for the assessment of the characteristics of the tornado for nuclear facilities" (approved by the decision of the Federal Atomic Energy Agency of the Russian Federation of December 28, 2001, No. 17). Retrieved from <http://meganorm.ru/Data2/1/4293852/4293852236.htm>.
- Steblyuk M. I., 2013. Civil defence and civil protection: textbook. Kyiv: Znannia, 487 p. (in Ukrainian).
- Shikhov A. N., Tarasov A. V., 2016. Analysis of tornado emerging in forest regions of Russia derieved from Earth remote sounding data: *Proceedings of III International conference "Regional problems of Earth remote sounding"*. Krasnoyarsk: SFU, P. 346—349 (in Russian).
- Antonescu B., Schultz D. M., Holzer A., Groenemeijer P., 2017. Tornadoes in Europe: An Underestimated Threat. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98 (4), 713—728. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0171.1>.
- Bradford M., 1999. Historical Roots of Modern Tornado Forecasts and Warnings. *Weather and forecasting*, 14 (4), 484—491. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1999\)014%3C0484:HR0MTF%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1999)014%3C0484:HR0MTF%3E2.0.CO;2).
- British & European Tornado Extremes. The Tornado & Storm Research Organisation, 2018. Retrieved from http://www.torro.org.uk/whirlwind_info.php.
- Center for International Earth Science Information Network (CIESIN) Columbia University, 2017. Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Population Density, Revision 10. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). Retrieved from <https://doi.org/10.7927/H4DZ068D>.
- Dessens J., Snow J. T., 1989. Tornadoes in France. *Weather and forecasting*, 4, 110—132. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1989\)004<0110:TIF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1989)004<0110:TIF>2.0.CO;2).
- Dolce C., 2014. The Deadliest Tornado in the World. Tornado News. *The Weather Company*. <https://weather.com/storms/tornado/news/deadliest-tornado-world-bangladesh-20140416>.
- Dotzek N., Groenemeijer P., Feuerstein B., Holzer A. M., 2009. Overview of ESSL's severe convective storms research using the European Severe Weather Database ESWD. *Atmos. Res.*, 93, 575—586. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.10.020>.
- European Severe Weather Database, 2013. Retrieved from <https://www.eswd.eu>.
- Finch J., Bikos D., 2012. Russian tornado outbreak of 9 June 1984. *Electronic J. Severe Storms Meteor.*, 7 (4), 1—28.
- Finley J. P., 1884. Intelligence from American scientific stations. *Science*, 3, 767—768.
- Groenemeijer P., Kühne A., 2014. A Climatology of Tornadoes in Europe: Results from the European Severe Weather Database. *Mon. Weather Rev.*, 142 (12), 4775—4790. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-14-00107.1>.
- Heidorn K. C., 2007. 1965 Palm Sunday Tornado Outbreak Part I: The Beginning. *The Weather Doctor*. http://www.islandnet.com/~see/weather/events/1965palmsun_torn.htm.
- Ravilious K., 2018. Weather watch: Europe has a history of fatal tornadoes. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/news/2018/apr/13/weatherwatch-europe-has-a-history-of-fatal-tornadoes>.

- Shikhov A., Chernokulsky A.*, 2018. A satellite-derived climatology of unreported tornadoes in forested regions of northeast Europe. *Remote Sensing of Environment*, 204, 553—567. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.10.002>.
- Stöckli R., Vermote E., Saleous N., Simmon R., Herring D.*, 2005. The Blue Marble Next Generation — A true color earth dataset including seasonal dynamics from MODIS. *Published by the NASA Earth Observatory*. <https://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=73776>. Retrieved 7.05.2018.
- Taszarek M., Brooks H.E.*, 2015. Tornado Climatology of Poland. *Mon. Weather Rev.*, 143, 702—717. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-14-00185.1>.
- Tornado Facts, 2018. Retrieved from <https://www.nationalgeographic.com/environment/natural-disasters/tornadoes/>.
- Tornado Map, 2018. Retrieved from <http://www.tornado-map.de>.
- Wurman J., Kosiba K.*, 2013. Fine scale Radar Observations of Tornado and Mesocyclone Structures. *Weather and Forecasting*, 28(5), 1157—1174. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-12-00127.1>.