

**ЕКОЛОГІЧНА НЕБЕЗПЕКА ВПЛИВУ СМЕРЧІВ ТА ЗЕМЛЕТРУСІВ НА ВОДОЙМИ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ****В. М. Ващенко, Є. А. Лоза, Ж. І. Патлашенко, О. О. Банніков, Ю. М. Кризська**

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління

вул. В. Липківського, 35, Київ, Україна. E-mail: danileo@ukr.net

**В. М. Шпиг**

Український гідрометеорологічний інститут

пр. Науки, 37, Київ, Україна.

Водойми, в першу чергу, забруднені небезпечними хімічними або радіоактивними речовинами, є джерелом підвищеної екологічної небезпеки, пов'язаної із виносом водних мас і забруднюючих речовин за межі чаш водойм унаслідок впливу на них стихійних природних явищ – смерчів і землетрусів. У даній роботі за даними відкритих каталогів смерчів та даних дистанційного зондування Землі на території Київської області проаналізовано 30 випадків реєстрації смерчів за період 1968–2018 рр. та їх географічний розподіл. Отримано нижнє значення оцінки сумарної площі руйнувань, спричинених смерчами, яка становить близько 3800 га за останні 20 років та значення загального рівня смерчонебезпеки, яке складає  $6,6 \cdot 10^{-3} \text{ рік}^{-1}$  на площі 1000 кв. км. для ефективного періоду спостережень 1999–2018 рр. У роботі показано, що 2–3 водойми щороку опиняються у зоні впливу смерчу. Обґрунтована необхідність вдосконалення системи моніторингу для раннього упередження і прогнозу смерчів на території області, зокрема, за допомогою використання даних міжнародних каталогів екстремальних погодних явищ та даних дистанційного космічного зондування Землі. Вказується також на небезпеку можливого впливу сейсмічних подій на водні об'єкти області, включаючи можливе виникнення малоїмовірної події одночасного впливу на водойми смерчу та землетрусу.

**Ключові слова:** смерч, землетрус, водойма, екологічна безпека, Київська область.**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ ВЛИЯНИЯ СМЕРЧЕЙ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ВОДОЁМЫ КИЕВСКОЙ ОБЛАСТИ****В. Н. Ващенко, Е. А. Лоза, Ж. И. Патлашенко, А. А. Банников, Ю. М. Кризская**

Государственная экологическая академия последипломного образования и управления

ул. В. Липковского, 35, Киев, Украина. E-mail: danileo@ukr.net

**В. М. Шпиг**

Украинский гидрометеорологический институт

пр. Науки, 37, Киев, Украина.

Водоёмы, в первую очередь, загрязнённые опасными химическими или радиоактивными веществами, являются источником повышенной экологической опасности, связанной с выносом водных масс и загрязняющих веществ за пределы чаш водоёмов в результате воздействия на них стихийных природных явлений – смерчей и землетрясений. В данной работе на основании данных открытых каталогов смерчей и данных дистанционного зондирования Земли на территории Киевской области проанализованы 30 случаев регистрации смерчей в период 1968–2018 гг. и их географическое распределение. Получено нижнее значение оценки суммарной площади разрушений, вызванных смерчами, которая составляет около 3800 га за последние 20 лет и оценки общего уровня смерчопасности, который составляет  $6,6 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$  на площади 1000 кв. км. для эффективного периода наблюдений 1999–2018 гг. В работе показано, что 2–3 водоёма ежегодно оказываются в зоне влияния смерча. Обоснована необходимость совершенствования системы мониторинга для раннего предупреждения и прогноза смерчей на территории области, в частности, посредством использования данных международных каталогов экстремальных погодных явлений и данных дистанционного космического зондирования Земли. Отмечена также опасность возможности влияния сейсмических событий на водные объекты области, включая возможность маловероятного события одновременного воздействия на водоёмы смерча и землетрясения.

**Ключевые слова:** смерч, землетрясение, водоём, экологическая безопасность, Киевская область.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** За даними European Severe Weather Database [1, 2] тільки у 2018 році з 1 січня по 4 грудня на території України було зареєстровано 20 смерчів, причому деякі з них спричинили руйнування природних і антропогенних об'єктів та травмування людей. У роботах [3, 4, 5] було показано, що загальна щорічна кількість смерчів та їх екологічна небезпека на території України, як і на територіях інших країн Європи [6], є значно недооціненими. Крім того, як показують дані каталогів та дані дистанційного зондування Землі [3, 4], частота

виникнення смерчів є приблизно однорідною для усієї території України. Зокрема, на території України можливе виникнення надзвичайно руйнівних смерчів класів потужності EF4 і навіть EF5 за вдосконаленою шкалою Фудзіти-Пірсона [5].

За даними Державного реєстру об'єктів підвищеної небезпеки, станом на 2015 р. на території Київської області крім водойм, знаходилися більше 300 інших екологічно небезпечних об'єктів [7], пошкодження чи руйнування яких під впливом смерчу та землетрусу може призвести до катастрофіч-

## Розробка та експлуатація систем екологічного моніторингу

них екологічних наслідків [8, 9, 10].

Смерчі здатні викачувати з водойм воду та переносити її на великі відстані разом із біотою та забруднюючими речовинами, які містяться у товщі води та у донних відкладеннях, наприклад екологічно небезпечні хімічні або радіоактивні речовини. Так, у Київській області у червні 2001 року поблизу м. Фастів смерч викачав воду з водойми площею 3 га [5].

Навіть малопотужні смерчі класу потужності EF0–EF1 здатні збурювати водну масу, формувати хвилі цунамі висотою декілька метрів, а також викачувати і переносити воду і різні об'єкти на відстані до декількох кілометрів [8, 9, 5].

У роботі [11] також була показана небезпечність зворотного ефекту – забруднення водойм екологічно небезпечними речовинами в результаті проходження смерчу на прилеглих територіях. Зокрема, у Оклахомі (США) вибух смерчів 3 травня 1999 р. призвів до повного руйнування екосистеми декількох ставків через забруднення їх органічними речовинами, що призвело до падіння рівня розчиненого кисню у воді нижче критичних значень.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Київська область має площу 28900 тис. га, через яку проходять 3 великі річки: Дніпро (довжина русла на території області – 243 км), Прип'ять (68 км) та Десна (66 км); 8 середніх і 1511 малих річок сумарною довжиною русел 833 км і 7535 км, відповідно [12, 13].

Із загальної площі області водними та водогосподарськими об'єктами зайнято 233 тис. га, або 8% території області. Зокрема загальна площа Київського і Канівського водосховищ у межах території області складає 120 тис. га, а інших водосховищ і ставків – 37 тис. га.

Усього на території області розміщено 62 водосховища загальним об'ємом 194 млн. м<sup>3</sup>. З них – 4 великих водосховища із об'ємами понад 10 млн. м<sup>3</sup>. Крім того, у Київській області знаходяться 3175 ставків із загальним об'ємом понад 245 млн. м<sup>3</sup> [12]. Зокрема, в межах м. Києва налічується близько 430 різних водних об'єктів, які займають площу 6,7 тис. га, або 8% площі міста [14, 15].

На рис. 1 зображено карту Київської області із найбільшими річками та водоймами, на якій також нанесені дані про смерчі, які спостерігались на території області, а також на прилеглих до неї територіях на основі даних відкритих каталогів і даних дистанційного зондування Землі [4]. Аналіз даних та побудова зображення були виконані у розробленій авторами ГІС на основі CastleGameEngine, Lazarus, FreePascal.

Слід відзначити, що на рис. 1 прослідковується приблизна однорідність географічного розподілу зареєстрованих смерчів, що узгоджується із нашими висновками, отриманими раніше [3].

У табл. 1. представлена статистика випадків реєстрації смерчів на основі даних відкритих каталогів на території Київської області за останні 50 років, а також смерчів, які не були зареєстровані у міжнародних каталогах, але були ідентифіковані за

результатами аналізу вивалів лісу смерчами на супутникових знімках у період часу 1988 р., та 2006–2012 рр. [4].

У районі розміщення будь-якої водойми на території Київської області рівень смерчонебезпеки можна оцінити величиною річної ймовірності виникнення руйнівного смерчу на площі 1000 кв. км:

$$P = 10^3 \cdot S_c / (S_k T), \quad (1)$$

де  $S_k$  – площа Київської області;  $S_c$  – сумарна площа зони руйнувань від смерчів у Київській області;  $T$  – ефективний період спостережень 1999–2018 рр. (20 років).

Такий часовий інтервал було обрано тому, що з 1999 року кількість зареєстрованих смерчів на території Київської області приблизно стабілізувалася на рівні 0,4 смерчів на рік (за даними зарубіжних каталогів), але їх реальна кількість може перевищувати значення 2,6 смерчів на рік із урахуванням результатів космічного дистанційного зондування землі [4] (табл. 1).

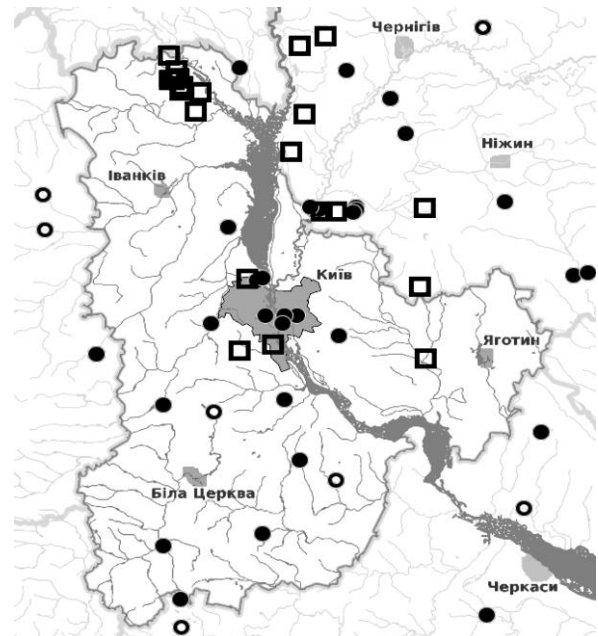


Рисунок 1 – Географічний розподіл смерчів на території Київської області. ● – смерчі, зареєстровані у відкритих каталогах до 2013 р. включно, ○ – смерчі, зареєстровані у відкритих каталогах у 2014–2018 рр., □ – смерчі, виявлені на основі даних дистанційного зондування Землі у 1988 р. та 2006–2012 рр. Рівнопроміжна проекція, 29,1° – 32,4° сх. д., 49,2° – 51,6° пн. ш.

Розрахунок значення річної ймовірності  $P$  за допомогою (1) ускладнюється відсутністю інформації про загальну площу руйнувань  $S_c$  для більшості смерчів, що спостерігались на території Київської області. У даній роботі проведено оцінку площі  $S_c$  (табл. 2) на основі наявних даних відкритих каталогів смерчів та результатів дистанційного зондування вивалів лісу смерчами.

Для цього була проведена оцінка площі руйнувань, спричинених смерчами різних класів потуж-

## Розробка та експлуатація систем екологічного моніторингу

ності на основі [16], а також частоту реєстрації смерчів відповідних класів потужності, на основі даних [17], вважаючи, що за ефективний період спостережень не відбулося смерчів класом потужності EF4 і вище.

Таблиця 1 – Кількість смерчів, зареєстрованих на території Київської області у 1968–2018 рр.

Часовий період	Кількість смерчів у відкритих каталогах	Кількість вивалів лісу смерчами
1968–1983 рр.	2	-
1984–1988 рр.	6	1
1989–1993 рр.	1	-
1994–1998 рр.	-	-
1999–2003 рр.	1	-
2004–2008 рр.	4	-
2009–2013 рр.	1	3 9**
2014–2018 рр.	2*	-
Загалом за 50 років	17	13

\* За 2018 рік використовувалися лише дані каталогу European Severe Weather Database [1, 2].

\*\* Явище "вибуху смерчів" (щонайменше 9 смерчів на півночі Київської області), зареєстроване у 2010 р. за даними дистанційного зондування Землі [4].

Символ тире "-" означає відсутність даних.

Розрахована за формулою (1) річна ймовірність виникнення руйнівного смерчу на площі 1000 кв. км на основі даних табл. 2 для ефективного періоду спостережень 1999–2018 рр. складає  $6,6 \cdot 10^{-3} \text{ рік}^{-1}$  (з урахуванням даних дистанційного зондування Землі). Отримане значення узгоджується із результатами попередніх консервативних оцінок [18] і є на 3-4 порядків вище значення ймовірності, яка зазвичай використовується для оцінки екологічної безпеки різних індустріальних об'єктів на території України. Однак, слід зробити зауваження, що значення отриманої у даній роботі оцінки річної ймовірності виникнення руйнівного смерчу реально може збільшитися на порядок через високу ймовірність нерєєстрації фактичного виникнення та проходження смерчу на території України [3, 4].

Адаптуючи результати розрахунків, проведених у [11] до середньої щорічної площі руйнувань, спричинених смерчами (табл. 2), можна зробити висновок, що на території Київської області щорічно 2–3 водойми опиняються у зоні впливу смерчу.

При цьому мережа спостережень, що існує на сьогоднішній день в Україні, неспроможна давати надійну інформацію щодо раннього виявлення та попередження екологічної безпеки, яку можуть

спричинити смерчі. Методи прогнозування смерчів на сьогодні є недосконалі. Тому для вирішення задач моніторингу смерчів на території України, доцільно користуватися оперативними та ретроспективними даними зарубіжних каталогів, а також даними дистанційного зондування Землі за допомогою космічних платформ, таких як Landsat і Sentinel. Крім того, необхідно розвивати систему оперативного дистанційного моніторингу з метою раннього попередження та прогнозу смерчів і землетрусів на території України. Наземні засоби спостереження доцільно при цьому використовувати як точкові станції валідації підсупутникових дистанційних даних.

Таблиця 2 – Оцінка сумарної площі руйнувань, спричиненої смерчами на території Київської області у 1999–2018 рр.

Клас потужності смерчу	Площа руйнувань, га	Відносна частота реєстрації	Сумарна площа руйнувань, га
EF3	1000	0,05	365
EF2	500	0,16	646
EF1	100	0,35	277
EF0	15	0,45	53
Загалом за даними каталогів для 8 смерчів у 1999–2018 рр.			1341
Вивал лісу руйнівним смерчем біля м. Березань у 1988 р. [4]			1832
Вивали лісу 12 смерчами за результатами [4] у 2006–2012 рр.			653
<b>Загалом за 20 років</b>			<b>3826</b>
У середньому за 1 рік			191

Як і смерчі, землетруси також вважаються мало ймовірними подіями. Однак, за останні роки за даними каталогу землетрусів United States Geophysical Society [19], поблизу території Київської області відбулись два потужні землетруси магнітудою 4,5 (23 червня 2013 року, осередок знаходився 5 км на схід від с. Лозуватка, Криворізького р-ну, Дніпропетровської обл. – приблизно 400 км. від м. Київ) та магнітудою 4,4 (3 лютого 2015 року, осередок знаходився на 18 км на північний-північний схід від м. Гадяч, Гадяцького р-ну, Полтавської обл. – менше 300 км від м. Київ).

Крім того, на території Київської області регулярно відчувуються поштовхи від потужних землетрусів у більш віддалених сейсмоактивних зонах. Наприклад, зона Вранча, центр якої знаходиться на відстані 500–600 км від м. Києва на території Румунії, створює 10 % небезпеку перевищення розрахункової інтенсивності землетрусу 5 балів (за шкалою MSK-64) за 50 років у Київській області [20]. Окрім того, варто відзначити можливість багаток-

## Розробка та експлуатація систем екологічного моніторингу

ратного підсилення сейсмічних коливань унаслідок локальних геологічних особливостей [21].

Слід також відзначити, що окрім природних геологічних землетрусів щорічно відбувається велика кількість техногенних землетрусів магнітудою до 3,0, зокрема поблизу техногенних водних комплексів, особливо великих водосховищ.

Нещодавно було виявлено, що смерчі, контактуючи із землею поверхню, також можуть створювати достатньо потужний сейсмічний сигнал, який реєструється на відстанях до 70 км [22]. При цьому цей сигнал має характерні сейсмограми із частотами від  $10^{-3}$  Гц до 10 Гц, які залежать від діаметру смерчу [23].

Таким чином, територія Київської області насичена багаточисленними водними об'єктами, в тому числі й екологічно небезпечними, забрудненими хімічними та радіоактивними речовинами, і є екологічно вразливою у разі окремого і, особливо, малоімовірного одночасного впливу смерчу і землетрусу на розташовані на ній об'єкти.

**ВИСНОВКИ.** Територія Київської області на 8% покрита водними об'єктами, в тому числі екологічно небезпечними. Значна екологічна небезпека може утворюватись в результаті винесення води разом із донними осадами за межі цих водойм внаслідок впливу на них смерчів та землетрусів.

За останні 50 років на території Київської області за даними відкритих каталогів було зареєстровано 17 смерчів (1968–2018 рр.). Ще 13 незареєстрованих раніше руйнівних смерчів (1988–2012 рр.) було ідентифіковано за допомогою супутникових знімків.

Нижнє значення оцінки смерчонебезпеки на території Київської області складає  $6,6 \cdot 10^{-3}$  рік<sup>-1</sup> для площі 1000 кв. км, що узгоджується із іншими незалежними оцінками і є на 3-4 порядки вище значення ймовірності, яка зазвичай використовується для оцінки екологічної небезпеки різних промислових об'єктів на території України. Це свідчить про недооцінку смерчонебезпеки для техногенних та природних водних об'єктів, а також для інфраструктури екологічно небезпечних підприємств.

Щорічно на території Київської області у середньому 2–3 водойми зазнають впливу смерчів.

Отже, при розробці вимог екологічної безпеки водойм Київської області необхідно враховувати можливі малоімовірні екстремальні природні впливи смерчів та землетрусів. Така ситуація вимагає розвитку системи національного дистанційного моніторингу з метою раннього упередження та нових методів прогнозу смерчів і землетрусів на території України.

## ЛІТЕРАТУРА

1. 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.* – 93, 2009. – P. 575–586.

2. European Severe Weather Database. Режим доступу: <https://www.eswd.eu>.

3. 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.* – Vol. 40, No. 3, 2018. – С. 199–213.

4. 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.* – No. 1, 2018. – С. 20–25.

5. 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.* – No. 2(21), 2018. – С. 107–113.

6. Antonescu B., Schultz D., Holzer A., Groenemeijer P. Tornadoes in Europe: An Underestimated Threat: American Meteorological Society. – 2017. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0171.1>.

7. Державний реєстр об'єктів підвищеної небезпеки: Державна служба України з питань праці. Режим доступу: <http://dsp.gov.ua/derzhavnyi-reiestrobiektiv-pidvyshchenoi>.

8. Скалозубов В.И., Оборский Г.А., Козлов И.Л., Ващенко В.Н., Габлая Т.В., Драган Г.С., Коченева В.Ю., Мазуренко А.С., Лещетная Е.С., Пионтовский А.И. Комплекс методов переоценки безопасности атомной энергетики Украины с учетом уроков экологических катастроф в Чернобыле и Фукусиме. – Одесса: «Астропринт», 2013. – 242 с.

9. Скалозубов В.И., Ващенко В.Н., Габлая Т.В., Гудима А.А., Герасименко Т.В., Козлов И.Л. Повышение экологической безопасности атомной энергетики Украины в постфукусимский период. – Киев, 2013. – 120 с.

10. Ващенко В.М., Кордуба І.Б. Аналіз смерчонебезпеки для вдосконалення технології екологічно безпечного виведення з експлуатації водойми-охолоджувача Чорнобильської АЕС // *Екологічна безпека.* – № 2/2016 (22). – С. 128–136.

11. Lynch R.A., Margaret L.P., Paige J. Adverse Impact on Ponds of Organic Debris Deposited by Tornadoes. // *Journal of Environmental Health.* – Vol.63, No.5, 2000, – P. 9–15.

12. Гребінь В.В., Хільчевський В.К., Сташук В.А., Чунарьов О.В., Ярошевич О.Є. Водний фонд України: Штучні водойми – водосховища і ставки: Довідник – Київ: «Інтерпрес ЛТД», 2014. – 164 с.

13. Регіональна доповідь "Про стан навколишнього природного середовища Київської області у 2016 році", Міністерство екології та природних ресурсів України. Режим доступу: <https://menr.gov.ua/files/docs/Reg.report/%D0%94%D0%9E%D0%9F%D0%9E%D0%92%D0%86%D0%94%D0%AC%20%D0%9A%D0%B8%D1%97%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0%202016.pdf>.

14. Панасюк І.В., Томільцева А.І., Скідан В.В., Скідан О.В., Зуб Л.М., Барщевська Н.М., Самчишина Л.В., Погорелова Ю.В., Прокопук М.С., Михайлик О.В. Упорядкування водоохоронних зон мі-

## Розробка та експлуатація систем екологічного моніторингу

ських водойм на основі екологічної оцінки якості вод – Київ, 2016. – 94 с.

15. Афанасьєва О.А., Багацька Т.С., Оляницька Л.Г., Небогаткін І.В., Хрокало Л.А., Петренко А.А., Назаренко В.Ю., Ляшенко А.В., Зоріна-Сахарова К.Є., Санжак Ю.О., Щербак В.І., Кундієв В.А., Голуб О.О., Клоченко П.Д., Кленус В.Г., Каглян О.Є., Арсан О.М., Ситник Ю.М., Беляєв В.В. Екологічний стан київських водойм – Київ: Фітосоціоцентр, 2010. – 256 с.

16. Shikhov A., Chernokulsky A. A satellite-derived climatology of unreported tornadoes in forested regions of northeast Europe // Remote Sensing of Environment. – Vol. 204, 2018. – P. 553-567.

17. Datenbank über Tornado Fälle Weltweit. Режим доступу: <https://www.tornado-map.de>.

18. Талерко Н.Н., Гаргрєв Е.К., Кузьменко А.Г. Прогнозная оценка трансграничного переноса радионуклидов вследствие прохождения смерча над водоемом-охладителем ЧАЭС // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – вип. 20, 2013. – С. 85-93.

19. Earthquake Catalog, United States Geophysical Society. Режим доступу: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search>.

20. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А.А. Новые карты общего сейсмического районирования территории Украины. Особенности модели долговременной сейсмической опасности. // Геофизический журнал. – № 3, Т. 28, 2006. – С. 54-77.

21. Старостенко В.І., Кендзера О.В., Омельченко В.Д., Вербицкий С.Т., Вербицкий Ю.Т., Амашукелі Т.А., Лісовий Ю.В., Рожок Н.І. Сейсмологічні дослідження для безпеки ЧАЕС // Національна академія наук України – Чорнобилю: 36. наук. пр. / НАН України. Нац. бібліотека України ім. В. І. Вернадського – К., 2006. – Режим доступу: <http://nbuv.gov.ua/sites/default/files/msd/0604sta.pdf>.

22. Ingel L.Kh., Theophylaktov V.D., Yaroshevich M.I. Detection of Seismic Signals Related to Tornadoes // Doklady Akademii Nauk. – Vol. 386, No. 6, 2002. – P. 813-817.

23. Brian R.E., Christopher E.P., Matthew S.B. Detection and characterization of infrasound from a tornado. – 2018. – Режим доступу: [arXiv:1809.00038v1](https://arxiv.org/abs/1809.00038v1) [physics.ao-ph]

## ECOLOGICAL HAZARD OF TORNADOES AND EARTHQUAKES FOR WATER BODIES IN KYIV OBLAST

V. Vashchenko, Ye. Loza, Zh. Patlashenko, O. Bannikov, Yu. Kryzyska

State Ecological Academy of Post-graduate Education and Management

vul. V. Lypkivskogo, 35, Kyiv, Ukraine. E-mail: danileo@ukr.net

V. Shpyg

Ukrainian Hydrometeorological Institute

pr. Nauky, 37, Kyiv, Ukraine.

**Purpose.** To investigate current level of tornado hazard in Kyiv oblast and ecological hazard resulting from tornado passage over water bodies, especially lakes, contaminated with dangerous chemical or radioactive substances. **Methodology.** Analysis of tornado data from open access international severe weather databases and analysis of remote Earth sounding data were made. **Results.** Water bodies cover 8% of Kyiv oblast total area. A significant ecological hazard may emerge due to possibility of water and bottom sediments uplift and transport beyond the basin due to tornadoes and earthquakes impact. Another environmental threat may be posed by wind-deposition of ecologically dangerous substances into the water body. During last 50 years in open access international catalogs 17 tornadoes were registered (in 1968–2018) in Kyiv oblast. Additionally 13 tornadoes unregistered in catalogs (in 1988 and 2006–2012) were identified by analysis of satellite images of forest destruction by tornadoes. Analysis showed that the lower estimate of total area of destruction caused by tornadoes in the last 20 years is approximately 3800 ha and yearly probability of destructive tornado in 1000 sq. km. area in Kyiv oblast is  $6.6 \cdot 10^{-3} \text{ year}^{-1}$ , which conforms to independent estimates and is 3-4 orders higher than the values currently used to estimate ecological safety of hazardous objects. Therefore the tornado threat is greatly underestimated during ecological safety assessment of industrial and natural water bodies. On average, 2-3 water bodies are affected by tornadoes in Kyiv oblast each year. Therefore during development of ecological safety requirements for water bodies in Kyiv oblast it is necessary to account for possible low-probable extreme natural impacts of tornadoes and earthquakes. It is also necessary to develop national remote monitoring system aimed at early warning and new forecast methods for tornadoes and earthquakes in Ukraine. **Originality.** For the first time based on data on tornadoes up to December 2018 a geographical distribution of tornadoes registration in Kyiv oblast was plotted. The total tornadoes destruction areas and tornado hazard for Kyiv oblast were re-estimated based on new data, including Earth remote sounding data. **Practical value.** Results of the research increase accuracy of tornado hazard estimate for Kyiv oblast for determination of ecological safety level of hazardous objects and water bodies.

References 23, tables 2, figure 1.

**Keywords:** tornado, earthquake, water body, ecological hazard, Kyiv oblast.

## REFERENCES

1. Dotzek, N., Groenemeijer, P., Feuerstein, B., Holzer, A. (2009), "Overview of ESSL's severe con-

vective storms research using the European Severe Weather Database ESWD", *Atmos. Res.*, 93, pp. 575–586.

Розробка та експлуатація систем екологічного моніторингу

2. "European Severe Weather Database", available at: <https://www.eswd.eu/> (accessed December 9, 2018).
3. Vashchenko, V.M., Korduba, I.B., Loza, Ye.A., Patlashenko, Zh.I., Bannikov, O.O., Kryzyska, Yu.M. (2018), "Tornado statistics in Ukraine based on new data", *Geofizicheskii Zhurnal*, 40(3), pp. 199-213.
4. Vashchenko, V.M., Loza, Ye.A., Korduba, I.B., Patlashenko, Zh.I., Bannikov, O.O. (2018), "New possibilities of satellite remote sensing of forest destruction by tornadoes in Ukraine". *Ekologichna bezpeka*. No. 1. pp. 20-25.
5. Bondar, O.I., Vashchenko, V.M., Shpyg, V.M., Loza, Ye.A., Korduba, I.B., Patlashenko, Zh.I., Bannikov, O.O., Kryzyska, Yu.M. (2018), "Tornadoes in Ukraine and ecological hazard". *Ekologichni Nauky*. No. 2(21). pp. 107-113.
6. Antonescu, B., Schultz, D., Holzer, A., Groenemeijer, P. (2017), "Tornadoes in Europe: An Underestimated Threat", American Meteorological Society, available at: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0171.1> (accessed December 10, 2018).
7. "State registry of hazardous objects", State Labor Service of Ukraine, available at: <http://dsp.gov.ua/derzhavnyi-reiestr-objektiv-pidvyshchenoi/> (accessed December 9, 2018).
8. Skalozubov, V.I., Oborskiy, G.A., Vashchenko, V.N., Kozlov, I.L., Gablaya, T.V., Dragan, G.S., Kocheneva, V.Yu., Mazurenko, A.S., Leshchetnaia, Ye.S., Piontkovskiy, A.I. (2013), *Komplikatsii metodov pieriotsenki bezopasnosti atomnoy energietiki Ukrainy s uchiem urovnei ekologicheskikh katastrof v Chiernobyle i Fukusimie* [Method complex for re-estimate of Ukraine nuclear power safety considering lessons of Chernobyl and Fukushima nuclear disasters], Ukraine, Odessa.
9. Skalozubov, V.I., Gablaya, T.V., Gudyma, A.A., Gerasimenko, T.V., Kozlov, I.L. (2013), *Povysheniye ekologicheskoy bezopasnosti atomnoy energietiki Ukrainy v postfukusimskiy period* [Increase of environmental safety of Ukraine nuclear power in post-Fukushima period]. Ukraine, Kyiv.
10. Vashchenko, V.M., Korduba, I.B. (2016), "Analysis of tornado hazard to improve environmental safety of Chornobyl NPP coolant pool decommissioning technology". *Ecological Safety*, 22(2), pp. 128-136.
11. Lynch, R.A., Margaret, L.P., Paige, J. (2000), "Adverse Impact on Ponds of Organic Debris Deposited by Tornadoes". *Journal of Environmental Health*, Vol. 63, No. 5, pp. 9-15.
12. Grebin, V.V., Khilchevskyy, V.K., Stashuk, V.A., Chunarov, O.V., Yaroshevych, O.Ye. (2014), *Vodnyy fond Ukrainy* [Water fund of Ukraine] Ukraine, Kyiv.
13. "Regional report on Kyiv Oblast environment state in 2016", Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine, available at: <https://menr.gov.ua/files/docs/Reg.report/%D0%94%D0%9E%D0%9F%D0%9E%D0%92%D0%86%D0%94%D0%AC%20%D0%9A%D0%B8%D1%97%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0%202016.pdf> (accessed December 9, 2018).
14. Panasiuk, I.V., Tomiltseva, A.I., Skidan, V.V., Skidan, O.V., Zub, L.M., Barshchevska, N.M., Samchyshyna, L.V., Pogorielova, Yu.V., Prokopuk, M.S., Mykhaylyk, O.V. (2016), *Uporiadkuvannya vodookhronnykh zon miskykh vodoym na osnovi ekologichnoi otsinky yakosti vod* [Arrangement of water-protective areas of town water bodies based on ecological estimate of water quality], Ukraine, Kyiv.
15. Afanasieva, O.A., Bagatska, T.S., Olianytska, L.G., Nebogatkin, I.V., Khrokalo, L.A., Petrenko, A.A., Nazarenko, V.Yu., Liashenko, A.V., Zorina-Sakharova, K.Ye., Sanzhak, Yu.O., Shcherbak, V.I., Kundiiev, V.A., Golub, O.O., Klochenko, P.D., Klenus, V.G., Kaglian, O.Ye., Arsan, O.M., Sytnyk, Yu.M., Bieliaiev, V.V. (2010), *Ekologichnyy stan kyivskykh vodoym* [Ecological state of Kyiv water bodies], Kyiv, Ukraine.
16. Shikhov, A., Chernokulsky, A. (2018), "A satellite-derived climatology of unreported tornadoes in forested regions of northeast Europe", *Remote Sensing of Environment*, Vol. 204, pp. 553-567.
17. "Datenbank über Tornado Fälle Weltweit", available at: <https://www.tornado-map.de/> (accessed December 10, 2018).
18. Talierko, N.N., Gargier, Ye.K., Kuzmienko, A.G. (2013). "Forecast of transboundary transport of radionuclides due to a tornado over Chernobyl NPP coolant pool". *Problems of Nuclear Powerplants safety and Chernobyl*, Iss. 20, 85-93.
19. "Earthquake Catalog", United States Geophysical Society, available at: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> (accessed December 9, 2018).
20. Pustovitenko, B.G., Kulchitskyy, V.Ye., Pustovitenko, A.A. (2006), "New maps of total seismic region zoning of Ukraine territory. Peculiarities of long-term seismic hazard model". *Geofizicheskii Zhurnal*, No. 3., Vol. 28, pp. 54-77.
21. Starostenko, V.I., Kendzera, O.V., Omelchenko, V.D., Verbytskyy, S.T., Verbytskyy, Yu.T., Amashukeli, T.A., Lisovyy, Yu.V., Rozhok, N.I. (2006), "Seismic research for Chernobyl NPP safety", National Academy of Sciences of Ukraine - to Chernobyl, scientific works, Vernadsky National Library of Ukraine, available at: <http://nbuv.gov.ua/sites/default/files/msd/0604sta.pdf> (accessed December 10, 2018).
22. Ingel, L.Kh., Theophylaktov, V.D., Yaroshevich, M.I. (2002), "Detection of Seismic Signals Related to Tornadoes". *Doklady Akademii Nauk*, Vol. 386, No. 6, pp. 813-817.
23. Brian R.E., Christopher E.P., Matthew S.B. (2018), "Detection and characterization of infrasound from a tornado", available at: [arXiv:1809.00038v1](https://arxiv.org/abs/1809.00038v1) [physics.ao-ph] (accessed December 10, 2018).