

НОВІ МОЖЛИВОСТІ КОСМІЧНОГО ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ВИВАЛІВ ЛІСУ СМЕРЧАМИ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

В. М. Ващенко, Є. А. Лоза, І. Б. Кордуба, Ж. І. Патлашенко, О. О. Банніков

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління

вул. В. Липківського, 35, корп. 2, м. Київ 03035, Україна. E-mail: danileo@ukr.net, lozae@ukr.net.

На основі аналізу космічних знімків проведено пошук вивалів лісу на території України, які могли бути спричинені потужними смерчами класу EF1 і більше за шкалою Фудзіті-Пірсона. Виявлено 20 випадків таких вивалів лісу, що могли бути спричинені смерчами та вибухами смерчів на півночі Київської і на заході Чернігівської областей. Зокрема, 9 випадків таких вивалів лісу, які виникли у 2010-2011 рр., виявлено на території Чорнобильської зони відчуження, загальна площа яких становила 584 га. Сформульовано головні структурні ознаки вивалів лісу смерчами для формалізації критеріїв їх відбору та ідентифікації на космічних знімках, а також їх головні кількісні характеристики – площу вивалу лісу, кількість повалених дерев і на їх основі оцінено потужності та параметри траєкторій смерчів. Підтверджено перспективність методів космічного дистанційного зондування Землі для вивчення смерчонебезпеки на важкодоступних та малонаселених територіях. Оцінено коефіцієнт ймовірності нереєстрації смерчів на території України, значення якого складає 90%-95%.

Ключові слова: смерчі, вивали лісу, космічне дистанційне зондування.

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОСМИЧЕСКОГО ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ВИВАЛОВ ЛЕСА СМЕРЧАМИ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ

В. Н. Ващенко, Є. А. Лоза, И. Б. Кордуба, Ж. И. Патлашенко, А. А. Банников

Государственная экологическая академия последипломного образования и управления

ул. В. Липковского, 35, корп. 2, г. Киев, 03035, Украина. E-mail: danileo@ukr.net, lozae@ukr.net

На основе анализа космических снимков проведён поиск вывалов леса на территории Украины, которые могли быть вызваны мощными смерчами класса EF1 и больше по шкале Фудзиты-Пирсона. Выявлено 20 случаев таких вывалов леса в результате прохождения смерча или взрыва смерчей на севере Киевской и на западе Черниговской областей, из них 9 случаев, произошедших в 2010-2011 гг., были идентифицированы на территории Чернобыльской зоны отчуждения, общая площадь которых составила 584 га. Сформулированы основные структурные признаки вывала леса смерчами для формализации критериев их отбора и идентификации на космических снимках, а также их главные количественные характеристики – площадь вывала леса, количество поваленных деревьев и на их основе оценены мощности и траектории смерчей. Подтверждена перспективность методов космического дистанционного зондирования Земли для изучения смерчопасности на труднодоступных и малонаселённых территориях. Оценён коэффициент вероятности нерегистрации смерчей на территории Украины, значение которого составляет 90%-95%.

Ключевые слова: смерчи, вывал леса, космическое дистанционное зондирование.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. У роботі [1] було проаналізовано особливості спостережень, реєстрації та статистики смерчів на території України і було показано, що на малонаселених і важкодоступних територіях 90-95% смерчів потужністю EF1 і вище залишаються неповідомленими і незареєстрованими у офіційних каталогах різних екстремальних погодних явищ. Це вказує на те, що в Європі [2], а значить і в Україні, смерчонебезпека є недооціненою, і кількість реальних небезпечних потужних смерчів у рази більше, аніж їх зареєстровано в офіційних статистиках та каталогах.

При цьому, як у Європі, так і на території України смерчі здатні спричиняти катастрофічні наслідки. Наприклад, 23 червня 1997 р. катастрофічним смерчем, а скоріше групою потужних смерчів, у Волинській області біля с. Раків Ліс було спричинено загибель 4-х і поранення 17-и осіб, а також зруйновано близько 200 будівель і знищено 60 тис. га. посівів. Для ліквідації наслідків стихії було мобілізовано близько 1700 людей та понад 100 одиниць спец. техніки [3].

У роботах [1; 2; 4] були отримані висновки про

те, що кількість зареєстрованих у Європі смерчів на одиницю площі корелює із густиною населення. Таким чином, на малонаселених територіях смерчі залишаються неповідомленими, що спотворює їх статистику і ускладнює дослідження їх кліматичних особливостей.

Але, у останні роки було розроблено підхід для виявлення таких неповідомлених смерчів на основі даних космічного дистанційного зондування Землі на лісових територіях [5; 6]. У даній роботі було застосовано аналогічний підхід для пошуку незареєстрованих смерчів у північній частині України.

Мета роботи. Провести пошук та ідентифікацію вивалів лісу спричинених смерчами на території України за допомогою даних космічного дистанційного зондування.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. На основі аналізу космічних знімків можна виявити не лише вивали лісу потужними смерчами у важкодоступних та малонаселених регіонах, а також визначити і кількісні параметри самих смерчів – приблизну дату проходження, форму та траєкторію руху, площу вивалу лісу і навіть оцінити конкретну

Розробка та експлуатація систем екологічного моніторингу

кількість пошкоджених та повалених дерев.

Так у роботах [5; 6] було застосовано підхід, що полягав у виявленні на картах змін лісового покриву Землі Global Forest Watch характерних продовгуватих вивалів лісу смерчами потужністю EF1 і більше. Наступним кроком була верифікація виявлених вивалів лісу за допомогою космічних знімків із високою роздільною здатністю, взятих із відкритих картографічних сервісів. При цьому враховувалися й інші наявні джерела даних, зокрема метеозведення. За період 2000-2015 рр. для Європейській території Росії у довготно-широтному діапазоні 52°–67° північної широти та 27°–60° східної довготи було виявлено 135 характерних вивалів лісу, з яких 110 було ідентифіковано, як такі, що були спричинені потужними смерчами. При чому 105 з них не були зареєстровані у каталозі European Severe Weather Database [6]. Це означає, що з усіх реальних потужних смерчів на малонаселених територіях реєструється лише 4-5%, а решта 95-96% залишаються незареєстровані та неповідомлені.

У даній роботі термін "вивал лісу" визначає велику локалізовану площу повалених дерев (більше 2 га), що формується траєкторією та діаметром смерчу за проміжок часу від декількох хвилин до декількох годин. У середньому смерчі мають діаметри воронки порядку 200 м та рухаються над земною поверхнею зі швидкостями 4-33 м/с. Довжина траєкторій переміщення смерчів рідко перевищує 10 км від місця їх утворення. Окремі потужні смерчі здатні спричинити руйнування на площах шириною до 1.5 км та довжиною до 100 км. Саме тому, головною ознакою вивалу лісу смерчем є компактна локалізація площі вивалу із відносно регулярною формою, на відміну від шквалових вивалів, для яких характерна аморфна, неконтрастна і нерегулярна форма вивалу лісу із єдиним вектором розташування повалених дерев. Лісові площі з вирубками неушкоджених природними явищами масивів лісу можна відрізнити від вивалів лісу смерчами за рахунок їх відносно строгої геометрії, найчастіше прямокутної, та за відсутністю хаотично чи квазі-хаотично повалених дерев.

Лісові пожежі супроводжуються вигоранням рослинності середнього та нижнього ярусів і тому вони на супутникових знімках мають характерний темний колір згарища. Зокрема, лісові пожежі можуть призводити до виникнення потужних вогняних смерчів.

На космічних знімках спричинені смерчем вивали лісу завжди характеризуються високим контрастом границь між площами повалених дерев і неушкодженими ділянками лісу впоперек траєкторії руху смерчу. Часто цей вивал лісу має два окремих епіцентри, розділених ділянкою неушкоджених дерев. Таке явище, відоме у зарубіжній літературі, як *skipping tornadoes*.

Розташування повалених стовбурів дерев в основному зумовлюється обертальною та підйомною динамікою смерчу у комбінації з його поступальним рухом вздовж траєкторії. Однак, при малій потужності смерчу структура вивалу лісу є більш хаотичною, а границі зони вивалу лісу – менш

контрастними.

У випадку явища "вибуху смерчів" (*tornado outbreak*), або великої кількості послідовних смерчів, структура площі вивалу лісу формується накладанням траєкторій багатьох смерчів.

Наявність свідчень очевидців, фото і відео матеріалів та результатів польових досліджень суттєво спрощують ідентифікацію вивалів лісу спричинених смерчами і їх датування, а також можуть дати іншу додаткову інформацію, наприклад, характер пошкодження дерев.

Потужність смерчів, що спричинили конкретний вивал лісу, можна наближено визначити, співставляючи відповідні описання руйнівних характеристик для смерчів різної потужності за удосконаленою шкалою Фудзіті-Пірсона з руйнівними характеристиками вивалу дерев, геометричною формою, характером їх пошкодження. Картина вивалів представлена зламаними, або викорчуваними з корінням деревами, відповідає смерчу потужністю EF2. Якщо на зламаних та на викорчуваних з корінням деревах обідрана кора, то це відповідає класу потужності смерчу EF3 і вище. Абсолютна похибка визначення класу потужності смерчу за характером форми вивалу лісу може становити 1 і навіть більше (зазвичай у більшу сторону) [6].

Слід відзначити, що за останні 100 років смерчі з потужністю EF3 вже неодноразово спостерігалися на території України. А смерчі із потужністю EF4-EF5 спостерігались на території Польщі біля Українсько-Польського кордону – 20 липня 1931 р. поблизу м. Люблін та 20 травня 1960 р. поблизу с. Ніборз [7].

У даній роботі апробаційний аналіз космічних знімків, представлених у Google Earth Pro, проводився з метою виявлення вивалів лісу смерчами на лісових територіях Чернігівської та Київської областей України. У результаті було ідентифіковано 20 випадків вивалів лісових масивів потужними смерчами (табл. 1, рис. 1-6). З них 5 були підтверджені свідченнями та дослідженнями: м. Березань (1988) та с. Красне (2016).

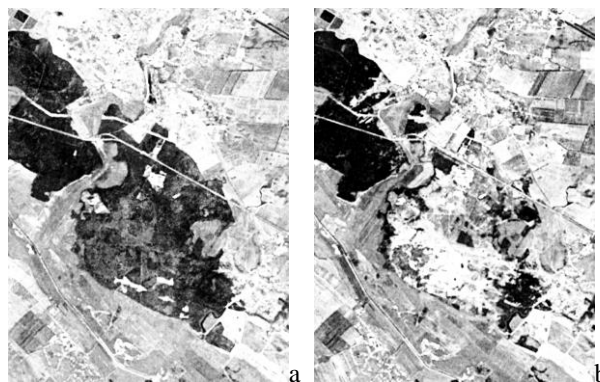


Рисунок 1 – Смерч потужністю EF3-EF4 біля м. Березань у 1988 році. Повністю знищено до 2 тис. га лісу, знято кору з дерев. Зображення супутника Landsat: а) 1987 року, б) 1988 року. Images from Google Earth, Image Landsat / Copernicus.

Розробка та експлуатація систем екологічного моніторингу

Смерч поблизу м. Березань у 1988 році за площею суцільних руйнувань лісового покриву був втричі масштабнішим, аніж відомий смерч Daulatpur-Saturia у Бангладеші, який у 1989 році призвів до 1300 смертельних випадків та інших катастрофічних наслідків [8]. На щастя, Березанський смерч оминув населені пункти і спричинив вивали лісу на 1.7-7.4 км південніше м. Березань.

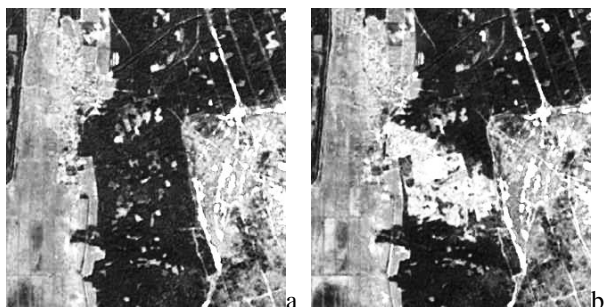


Рисунок 2 – Смерч потужністю EF2-EF3 біля с. Косачівка Чернігівської обл. у 2009 році.

Повністю знищено більше 600 га лісу, знято кору з дерев (інформація за свідченням очевидців).
Зображення супутника Landsat: а) 2008 року, б) 2009 року. Images from Google Earth, Image Landsat / Copernicus.

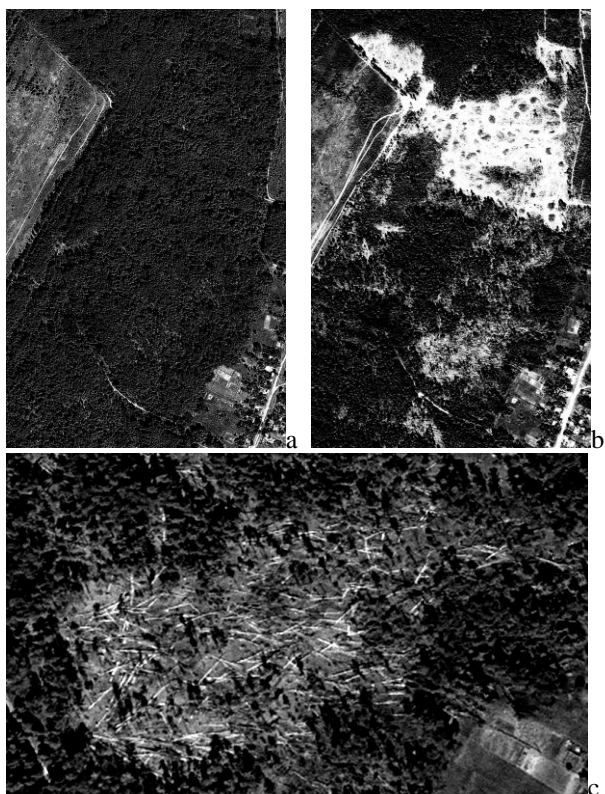


Рисунок 3 – Смерч потужністю EF1-EF2 поблизу с. Савин Чернігівської обл. улітку 2012 р.

Супутникові зображення високої роздільної здатності: а) 08.08.2011 року Image from Google Earth, Image © 2018 Digital Globe, б) 07.08.2012 року Images from Google Earth, Image © 2018 CNES / Airbus. На фрагменті супутникового знімку високої роздільної здатності с) видно характерний вивал лісу.

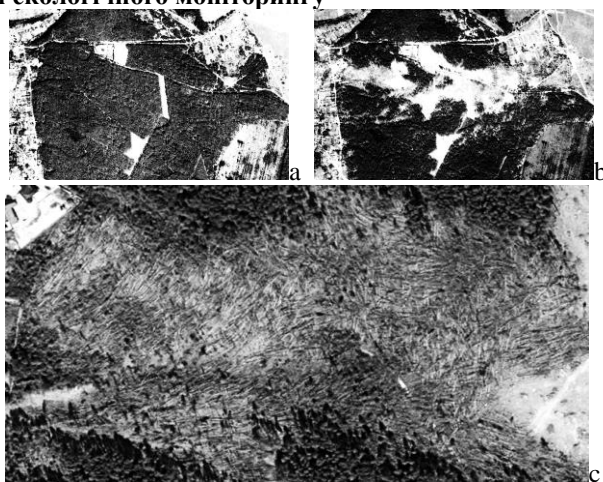


Рисунок 4 – Смерч потужністю EF2-EF3 поблизу с. Євминка Чернігівської обл. улітку 2012 р.

Супутникові зображення високої роздільної здатності: а) 08.08.2011 року Image from Google Earth, Image © 2018 Digital Globe, б) 07.08.2012 року Images from Google Earth, Image © 2018 CNES / Airbus. На фрагменті супутникового знімку с) видно характерний вивал лісу.

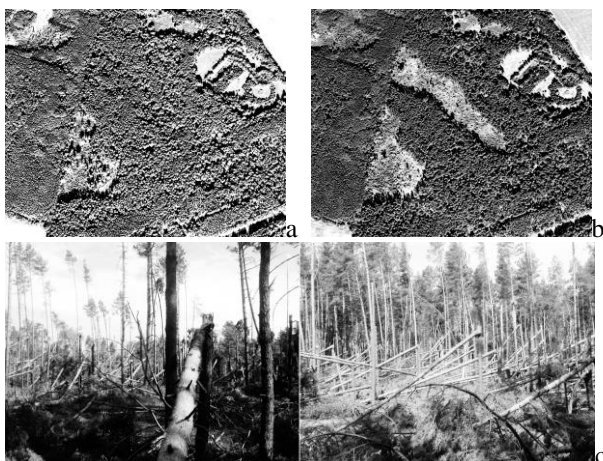


Рисунок 5 – Смерч потужністю EF1-EF2 біля с. Красне у 2013 році. Супутникові зображення високої роздільної здатності: а) 29.09.2012 року Image from Google Earth, Image © 2018 Digital Globe, б) 09.05.2014 року Image from Google Earth, Image © 2018 CNES / Airbus. с) фотографії вивалу лісу, спричиненого цим смерчем, © Ващенко В.М.

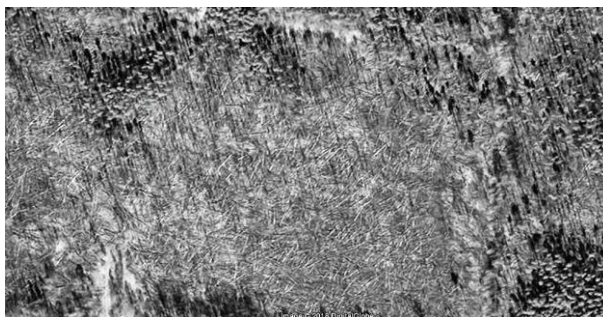


Рисунок 6 – Вивал лісу, що потенційно міг бути спричинений смерчем у Чорнобильській зоні відчуження (N 51.339160, E 30.033644) у 2010-2011 рр. Image from Google Earth, Image © 2018 Digital Globe.

Розробка та експлуатація систем екологічного моніторингу

Таблиця 1 – Ідентифіковані на космічних знімках вивали лісу, спричинені смерчами

№	Найближчий населений пункт	Орієнтовна дата вивалу лісу смерчем ¹	Широта ²	Довгота ²	Оцінка площі ³ , га	Оцінка потужності ⁴
1	м. Березань ⁵ Київська обл.	1988	50.261334	31.456385	1832	EF3-EF4
2	м. Славутич ⁶ Київська обл.	2006	51.495922	30.719222	61	EF2-EF3
3	с. Косачівка ⁵ Козелецький р-н. Чернігівська обл.	2009	51.078957	30.671475	607	EF2-EF3
4	сmt. Гончарівськ ⁵ Чернігівська обл.	3.04.2009– 10.09.2010	51.227042	30.748837	18	EF1-EF2
5	с. Віта-Поштова ⁷ Кієво-Святошинський р-н. Київська обл.	7.04.2009– 08.06.2010	50.291425	30.367021	< 2	EF0-EF1
6	Віта-Литовська ⁸ м. Київ	2009–2010	50.317181	30.562504	< 2	EF0-EF1
7	ЧЗВ ⁹	до 04.2011	51.458018	29.954481	2	EF1
8	ЧЗВ ⁹	до 04.2011	51.397819	30.000501	39	EF1-EF2
9	ЧЗВ ⁹	до 04.2011	51.368938	30.013350	8	EF1
10	ЧЗВ ⁹	до 04.2011	51.235208	30.111239	4	EF1
11	ЧЗВ ⁹	до 04.2011	51.313661	30.138164	102	EF2
12	ЧЗВ ⁹	до 04.2011	51.360903	29.960665	94	EF2
13	ЧЗВ ⁹	до 04.2011	51.359982	29.985806	14	EF1-EF2
14	ЧЗВ ⁹	до 04.2011	51.318873	30.021393	238	EF2-EF3
15	ЧЗВ ⁹	до 04.2011	51.338648	30.032899	83	EF2
16	м. Вишгород ⁷ Київська обл.	08.06.2010– 09.05.2011	50.577709	30.414392	< 2	EF0-EF1
17	м. Славутич ⁷ Київська обл.	1.04.2011– 20.09.2011	51.535674	30.869491	2	EF1
18	с. Євминка ^{5, 7, 10, 11} Козелецький р-н. Чернігівська обл.	1.04.2012– 8.07.2012	50.841017	30.848117	56	EF2-EF3
19	с. Савин ^{5, 7, 10} Козелецький р-н. Чернігівська обл.	1.04.2012– 8.07.2012	50.843309	30.931283	23	EF1-EF2
20	м. Носівка ⁷ Чернігівська обл.	1.04.2012– 29.09.2012	50.855511	31.451388	2	EF1

Примітки:

¹Дата визначена на основі космічних знімків.

²Координати центральної частини вивалу лісу.

³Враховувалася сумарна площа видимих вивалених дерев та розробки деревини, що розпочалася на місці проходження смерчу. Через відсутність суцільних лісових покривів на території Київської та Чернігівської областей визначення ширини, довжини та інших параметрів траєкторії стає неможливим і тому не було проведено у даній роботі.

⁴Для випадків відсутності достовірної інформації про товщину зламаних дерев, а лише за наявної інформації щодо оцінки площі вивалу лісу, консервативно приймається, що при малих

масштабах вивалів лісу (до 10 га), клас потужності смерчів становить EF1. Для вивалів лісу з площею менше 2 га (10-30 зламаних дерев), клас потужності смерчу консервативно оцінюється EF0-EF1.

⁵Факт смерчу підтверджений очевидцями

⁶Для даного випадку відсутні космічні знімки високої роздільної здатності та свідчення очевидців і тому ідентифікація проведена за характерною формою площі вивалу лісу.

⁷Характерний вивал лісу добре спостерігається на космічних знімках високої роздільної здатності.

⁸Польове обстеження, проведене 12 травня 2018 р. не виявило однозначних ознак вивалу лісу смерчем через розробку деревини на місці вивалу лісу.

Розробка та експлуатація систем екологічного моніторингу

⁹За відсутністю очевидців у Чорнобильській зоні відчуження, неможливо однозначно стверджувати, що ці вивали лісу були спричинені смерчами. Характерні особливості взаємного розташування областей вивалів лісу у ЧЗВ могли бути спричинені "вибухом смерчів".

¹⁰За характерним взаємним розташуванням вивалів лісу смерчами і датуванням їх виникнення, а також за даними ЗМІ та свідчень очевидців, можна зробити висновок про те, що обидва вивали лісу були спричинені одним і тим же смерчем, або одним і тим же вибухом смерчів.

¹¹На космічному знімку у с. Євминка видно повністю зруйновану смерчем будівлю.

9 випадків вивалу лісу загальною площею 584 га було виявлено на території Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ) у 2010-2011 рр.

У Чорнобильській зоні відчуження (ЧЗВ) характер та більшість структурних особливостей вивалів лісу подібні до аналогічних характеристик вивалів лісу смерчами біля с. Савин Козелецького району, Чернігівської області. Якщо ці вивали лісу були спричинені смерчами, то виявлені їхні структурні та інші особливості свідчать про те, що на цих територіях за короткий проміжок часу відбулася велика кількість смерчів, що могло бути проявом явища, відомого під назвою "вибух смерчів", який включав мінімум 9, а можливо – навіть кілька десятків смерчів із потужністю EF1-EF3. Найбільш ймовірна дата виникнення відповідних вивалів лісу: літо-осінь 2010 р. Один із цих вивалів лісу, що потенційно міг бути спричинений смерчем, виявлено на 1.5 км західніше від водойми-охолоджувача Чорнобильської АЕС.

На рис. 7 представлено карту смерчів, зареєстрованих на території України у довготно-широтному діапазоні 29°42'–31°42' західної довготи та 50°12'–51°42' північної широти. На карті колами позначено дані зведеного каталогу [1], а квадратами – виявлені на космічних знімках вивали лісу, спричинені смерчами. Аналіз був виконаний у Lazarus / FreePascal, побудова зображення за допомогою CastleGameEngine.

Окрім смерчу біля с. Євминка Козелецького району, Чернігівської області усі виявлені смерчі у вказаному довготно-широтному діапазоні не були раніше зареєстровані у каталогах. А для вивалу лісу смерчем біля с. Євминка у 2012 році у даній роботі було уточнено характеристики та траєкторію, а також знайдено зв'язок цього смерчу із вивалом лісу біля с. Савин Козелецького району, Чернігівської області.

Аналізуючи досвід ідентифікації вивалів лісу смерчами на космічних знімках можна зробити висновок про те, що для удосконалення та успішного розвитку методики ідентифікації вивалів лісу смерчами необхідно створити і розвивати автоматизовані інтерактивні системи розшифрування образів на основі нейромереж.



Рисунок 7 – Карта смерчів, занесених у каталоги (кружечки) та виявлених у даній роботі (квадрати). Еквідистантна проекція

Причому, через унікальність кожного випадку, валідація дешифрованих образів має виконуватися інтерактивним чином з максимальною автоматизацією усіх процесів ідентифікації, оцінювання та інтерпретації.

ВИСНОВКИ. Аналіз архівних серій космічних знімків з високою роздільною здатністю є надзвичайно ефективним методом виявлення вивалів лісу, спричинених смерчами, а також оцінки головних структурних та кількісних характеристик таких вивалів (загальна площа вивалу лісу, оцінка кількості повалених дерев) і на їх основі визначення властивостей та параметрів смерчів, що спричинили ці вивали – їх траєкторію, клас потужності, тощо.

У лісових масивах на півночі Київської області та на заході Чернігівської області виявлено 20 вивалів лісу, які ідентифікуються як результат проходження смерчів. 17 з них були спричинені смерчами потужністю EF1 і вище, а 3 випадки – смерчами потужністю EF0. Зокрема ідентифіковано 9 просторово розділених площ вивалу лісу загальною площею 584 га на території Чорнобильської зони відчуження у 2010-2011 рр.

Показано, що на території України 90-95% потужних смерчів потужністю EF1 і вище залишаються неповідомленими і не зареєстрованими у відкритих каталогах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ващенко В. М., Кордуба І. Б., Лоза Є. А., Патлашенко Ж. І., Банніков О. О., Кризьська Ю. М. Статистика смерчів на території України на основі нових даних // Геофізичний журнал. – 2018. – Vol 40, No 3. – С. 164-172.
2. Antonescu B., Schultz D., Holzer A., Groenemeijer P. Tornadoes in Europe: An Underestimated Threat // American Meteorological

Розробка та експлуатація систем екологічного моніторингу

Society. – 2017. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0171.1>. (Дата звернення 3.04.2018). – Назва з екрана.

3. Стеблюк М. І. Цивільна оборона та цивільний захист: Підручник. – Київ: Знання, 2013. – 487 с.

4. Taszarek M., Brooks H. Tornado Climatology of Poland // American Meteorological Society. – 2015. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1175/MWR-D-14-00185.1>. (Дата звернення 7.05.2018). – Назва з екрана.

5. Шихов А. Н., Тарасов А. В. Идентификация случаев возникновения смерчей в лесной зоне по многолетним рядам данных дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. –

2016. – Т. 13, № 3. – С. 84-94.

6. 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. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.10.002>. (Дата звернення 2.06.2018). – Назва з екрана.

7. 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. – Vol. 93. – P. 575–586.

8. Finch, J., Dewan, A. Tornadoes in Bangladesh and East India. – Режим доступу: <http://www.bangladeshtornadoes.org/climo/btorcli0.htm> (Дата звернення 11.06.2018). – Назва з екрана.

NEW POSSIBILITIES OF SATELLITE REMOTE SENSING OF FOREST DESTRUCTION BY TORNADOES IN UKRAINE

V. Vashchenko, Ye. Loza, I. Korduba, Zh. Patlashenko, O. Bannikov

State Ecological Academy of Post-Graduate Education and Management

vul. V. Lypkivskogo, 35, 2, Kyiv, 03035, Ukraine. E-mail: danileo@ukr.net, lozae@ukr.net.

Purpose. To survey unreported tornadoes in Ukraine forested regions using remote sensing methods. **Methodology.** Visual analysis of high resolution satellite imagery series is an efficient method of identification of forest destruction caused by tornadoes. Moreover it provides for estimation of main structural and quantitative parameters of such forest destructions (total area, quantity of fallen trees) and estimation of main tornado parameters on their basis - trajectory, intensity, etc. **Results.** 20 cases of forest destruction by tornadoes have been identified in the north of Kyiv Oblast and in the west of Chernihiv Oblast in N 29°42'–31°42' W 50°12'–51°42'. Some of those are associated with tornadoes outbreaks. 9 spatially separated destroyed in 2010-2011 forest areas were identified in Chernobyl Alienation Zone with total area 584 ha. The probability of powerful EF1 (according to enhanced Fujita-Pearson scale) tornado non-reporting in low-populated areas of Ukraine is found to be 90%–95%. **Originality.** For the first time the search for tornadoes unreported in extreme nature phenomenon catalogues in Ukraine forested territory was performed and 20 events of forest destruction by tornadoes were identified in the north of Kyiv Oblast and in the west of Chernihiv Oblast. For the first time powerful tornado distribution map was made for Kyiv and Chernihiv Oblasts based on up-to-date tornado catalogues and results of the present paper. For the first time based on objectively verifiable data the probability of tornado non-reporting was estimated for low-populated regions of Ukraine. It was proposed to implement survey and identification of forest destruction by tornadoes based on neural network image recognition. **Practical value.** The results of the present paper may be used to study tornado hazard for natural and industrial objects in Ukraine and other countries; to estimate tornadoes ecological risks; to improve the method of unreported tornadoes survey in forested regions; to study meteorological and climate peculiarities of tornadoes formation. *References 8, tables 1, figures 7.*

Key words: tornado, forest destruction, satellite remote sounding.

REFERENCES

1. Vashchenko, V. M., Korduba, I. B., Loza, Ye. A., Patlashenko, Zh. I., Bannikov, O. O., Krzska, Yu. M. (2018), "Tornado statistics in Ukraine based on new data", *Geofizicheskiy Zhurnal*, Vol 40, No 3, pp. 164-172.

2. 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> (access date April 3, 2018).

3. Stebliuk, M. I. (2013), *Civil'na oborona ta civil'nij zahist: Pidruchnik* [Civil defence and civil protection: textbook]. Znannia, Kyiv, Ukraine.

4. Taszarek, M., Brooks, H. (2015), "Tornado Climatology of Poland", *American Meteorological Society*, available at: <https://doi.org/10.1175/MWR-D-14-00185.1> (access date May 7, 2018).

5. Shikhov, A., Tarasov, A. V. (2016), "Identification of tornado cases in a forest region using long-term series of remote sensing data" // *Sovremennye problemy*

distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa, Vol. 13, No 3, pp. 84-94.

6. Shikhov, A., Chernokulsky, A. (2018), "A satellite-derived climatology of unreported tornadoes in forested regions of northeast Europe", *Remote Sensing of Environment*, Volume 204, January 2018, pp. 553-567, available at: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.10.002> (access date June 2, 2018).

7. Dotzek, N., Groenemeijer, P., Feuerstein, B., Holzer, A. (2009), "Overview of ESSL's severe convective storms research using the European Severe Weather Database ESWD", *Atmos. Res.*, 93, pp. 575–586.

8. Finch, J., Dewan, A. "Tornadoes in Bangladesh and East India", available at: <http://www.bangladeshtornadoes.org/climo/btorcli0.htm> (access date June 11, 2018).