

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра військової підготовки

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

на тему: «Просторово-часова структура параметрів конвекції при формуванні
смерчів»

Студента групи В-41

Спеціальність 103 Науки про Землю

Косміна Юрія Юрійовича

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Керівник капітан Яна Панова

Національна шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS_____

Члени комісії: полковник

Олег Грушевський

підполковник

Сергій Романенко

підполковник

Валерій Мансарлійський

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра військової підготовки

Рівень вищої освіти бакалавр

Спеціальність 103 Науки про Землю
(шифр і назва)

Спеціалізація Метеорологія

Освітня програма «Організація метеорологічного та геофізичного забезпечення
Збройних Сил України»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник кафедри військової підготовки

полковник

Олег ГРУШЕВСЬКИЙ

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту КОСМІНУ Юрію Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Просторово-часова структура параметрів конвекції при
формуванні смерчів.

керівник роботи Панова Яна Леонідівна

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ректора ОДЕКУ від 17 квітня 2020 року № 40 «С»

2. Строк подання студентом роботи 16 червня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи:

– дані температурно-вітрового зондування програми RAOB(RAwinsonde
OBservationprogram програма спостереження за радіозондом);

– випадки смерчів з зазначенням часу виникнення та їхніх координат з
європейської бази даних небезпечних явищ погоди – European Severe Weather
Database

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити)

1) сформувати базу даних температурно-вітрового зондування атмосфери за
період з 2010 року по 2019 рік включно;

2) проаналізувати часовий хід параметрів конвекції у дні зі смерчами;

3) скорегувати критеріальних значень параметрів конвекції на предмет можливості використання у якості сигналізування можливості виникнення смерчу.

6. Консультант розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Грушевський О.М., к.геогр. н., доц.		
2	Грушевський О.М., к.геогр. н., доц.		
3	Грушевський О.М., к.геогр. н., доц.		

7. Дата видачі завдання: 27 квітня 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	Пошук літературних джерел за темою магістерської роботи	27.04 – 01.05.20		
2.	Відпрацювання 1 та 2-го розділів роботи	01.05 – 22.05.20		
3.	Рубіжна атестація	23.05.20		
4.	Обробка вхідних даних та розрахункової частини	24.05 – 03.06.20		
5.	Відпрацювання 3-го розділу	04.06 – 07.06.20		
6.	Відпрацювання вступної частини, висновків, списку використаних джерел та додатків	08.06 – 09.06.20		
7.	Перевірка роботи на плагіат, підготовка презентації, доповіді	10.06.20		
8.	Подання роботи на рецензування	12.06.20		
9.	Подання роботи до навчальної частини кафедри	13.06.20		
10.	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)	14.06.20		

Студент _____
(підпис)

Юрій КОСМІН
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи капітан..... _____

Яна ПАНОВА

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 Смерч. Умови формування. Сучасні методи прогнозування смерчів. Випадки смерчів на території України та їхні наслідки.....	7
1.1 Загальні відомості про смерч.....	7
1.2 Умови формування.....	9
1.3 Сучасні методи прогнозування смерчів.....	11
1.4 Випадки смерчів на території України та їхні наслідки.....	12
2 Параметри конвекції.....	14
2.1 Індeksi стійкості (нестійкості).....	14
2.2 Індeksi енергії.....	17
2.3 Індeksi зсуву.....	19
2.4 Прості індeksi на основі температури.....	22
2.5 Змішані індeksi.....	23
3 Просторово-часова структура параметрів конвекції при формуванні смерчів.....	27
ВИСНОВКИ.....	35
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	36
ДОДАТКИ.....	38

ВСТУП

За останні роки значно збільшилась кількість випадків зі смерчами на території України. Тому *актуальність* прогнозування даного небезпечного явища погоди за умов обмежених статистичних, аерологічних та прогностичних даних постає гострим питанням, оскільки, наприклад збитки тільки на Закарпатті від небезпечних явищ погоди, які включали смерч, за 16.07.2019 року склали 54 млн гривень [1].

Мета даної роботи полягає в аналізі просторово-часового ходу параметрів конвекції у дні зі смерчами та оцінюванні використання параметрів конвекції як предикторів прогнозування виникнення смерчів.

Завданнями, які вирішувалися у ході бакалаврської роботи, є:

- формування бази даних температурно-вітрового зондування атмосфери за період з 2010 року по 2019 рік включно;
- аналіз часового ходу параметрів конвекції у дні зі смерчами;
- корегування критеріальних значень параметрів конвекції на предмет можливості використання у якості сигналізування можливості виникнення смерчу.

У якості вихідних даних використовувалися:

- дані температурно-вітрового зондування програми RAOB (RAwinsonde OBServation program програма спостереження за радіозондом);
- випадки смерчів з зазначенням часу виникнення та їхніх координат з європейської бази даних небезпечних явищ погоди - European Severe Weather Database [2].

Методи дослідження: при виконанні роботи використовувалися методи статистичного аналізу.

Вирішенню проблеми прогнозування виникнення смерчів присвячено багато публікацій які згадані у дослідженні кафедри кліматології Інституту фізичної географії та екологічного планування, м.Познань, Польща. У якому

зазначено що для виникнення торнадо необхідно декілька обов'язкових умов: позитивні значення CAPE, який сприятиме у навколишньому середовищі підняттю частинки, сильний глибокий зсув вітру (DLS), який не дасть можливості частинці опуститися при інших сприятливих умовах, сильний низький зсув вітру (LLS) який створює горизонтальну завихреність та високий вміст вологи на рівні конденсації, що сприятиме появі низької хмарності (LCL) [3].

Оскільки без зазначених вище умов неможливе виникнення торнадо, а CAPE та LCL слугують радше фоном, ніж причиною для виникнення потужних конвективних явищ, тоді зсув вітру та параметри завдяки яким його можливо відслідкувати та спрогнозувати являється основною задачею для вирішення цього дослідження.

У першому розділі бакалаврської роботи надана характеристика смерчів та умови їхнього формування, а також випадки смерчів на території України та їхні наслідки.

У другому розділі надається класифікація параметрів конвекції та їхні критеріальні значення.

У третьому розділі надається просторова-часова структура параметрів конвекції при формуванні смерчів на прикладі чотириразового температурно-вітрового зондування.

1 СМЕРЧ. УМОВИ ФОРМУВАННЯ. СУЧАСНІ МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ СМЕРЧІВ. ВИПАДКИ СМЕРЧІВ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ТА ЇХНІ НАСЛІДКИ

1.1 Загальні відомості про смерч

Смерч - атмосферне явище, що є стрімким вихором з розмірами по горизонталі до 50 км і по вертикалі до 10 км, із швидкістю вітру понад 33 м/с, який витягується від купчасто-дощової хмари до поверхні води або землі.

Смерч складається з трьох частин: горизонтальних вихорів в хмарі де він зародився, воронки та інших додаткових вихорів.

У смерчових хмарах завжди присутні сильна турбулентність та неоднорідність. Найважливіша особливість смерчу це різке падіння тиску, іноді навіть раптове.

В 2007 році була створена покращена шкала Фудзіти і використовується для оцінки інтенсивності смерчів на основі збитків, які вони наносять. Шкала складається з шести категорій: від EF0 до EF5. Створена замість шкали Фудзіти, яка була заснована професором Теодром Фудзітою в 1971 році.

Шість категорій для шкали EF перераховані нижче, в порядку зростання інтенсивності.

Таблиця 1.1 – Оновлена шкала Фудзіти для оцінки інтенсивності смерчів.

Категорія	Оцінка швидкості вітру		Потенціальні збитки
	км/год	м/с	
EF0	до 137	до 37	Зриває дахи з деяких будинків, пошкоджує водостоки, сайдинг,

			димові труби, ламає гілки дерев і неглибоко посажені дерева, зносить вивіски.
EF1	138-177	38-49	Зриває дахи, перевертає або сильно пошкоджує мобільні будинки, ламає зовнішні двері і вікна, переміщує автомобілі, деякі великі дерева вириває з коренем і зносить.
EF2	178-217	50-61	Зриває дахи добре побудованих будинків, зміщує основи каркасних будинків, повністю руйнує мобільні і дерев'яні будинки, ламає або вириває з коренем великі дерева, пошкоджує генеруються легкі об'єкти, перекидає товарні вагони, відриває від землі і перевертає легкові машини.
EF3	218-266	62-74	Зриває дах і пошкоджує стіни добре побудованих будинків, завдає серйозної шкоди великим будівлям, таким як торгові центри, перекидає поїзда, вириває або валить великі дерева відриває від землі і перевертає важкі машини, завдає серйозні пошкодження конструкцій зі слабкими

			підставами, рве конструкції зі сталевую оболонкою.
EF4	267-321	75-89	Повністю руйнує добре побудовані і цільні каркасні будинки, відриває від землі і перевертає автомобілі, поїзди та інші великі об'єкти, завдає пошкодження високим будівлям.
EF5	322 і більше	90 і більше	Міцні, добре побудовані будинки руйнує дощенту завдає серйозні пошкодження залізобетонних конструкцій, деякі автомобілі, вантажівки і вагони відкидаються смерчем приблизно на 1,5 км. Розриває дерева, може зірвати асфальт і нанести серйозні пошкодження мостів.

Незважаючи на те, що оновлені приклади швидкості вітру і фотографічних ушкоджень, наведені описи ушкоджень відносяться до шкали Фудзіта, які більш-менш точні. Однак для реальної шкали EF на практиці, індикатори ушкоджень (тип структури який був пошкоджений) використовується переважно для визначення інтенсивності смерчів [4].

1.2 Умови формування

Смерчі часто утворюються на тропосферних фронтах - границях розділу в нижньому 10-кілометровому шарі атмосфери, які відокремлюють повітряні

маси з різними швидкостями вітру, температурою та вологістю повітря. В області холодного фронту атмосфера є особливо нестійкою і формує у материнській хмарі смерчу та нижче від неї безліч турбулентних вихорів, що швидко обертаються. Сильні холодні фронти утворюються у весняно-літній та осінній періоди. Відомі випадки виникнення невеликих смерчів у ясну погоду за відсутності хмар над перегрітою поверхнею пустелі чи океану. Вони можуть бути абсолютно прозорими і лише нижня частина, запилена піском або водою, робить їх видимими.

Смерчі у своєму розвитку проходять три основні стадії:

- На початковій стадії з грозової хмари з'являється початкова воронка, що висить над землею. Холодні шари повітря, що розташовані безпосередньо під хмарою спрямовуються вниз на зміну теплим, які, в свою чергу піднімаються вгору. Така нестійка система утворюється зазвичай при взаємодії двох атмосферних фронтів - теплового і холодного. Потенційна енергія цієї системи переходить у кінетичну енергію обертального руху повітря. Швидкість цього руху зростає, і він набуває свого класичного вигляду.

- На другій стадії існування смерчу відбувається формування вихору максимальної потужності. Обертальна швидкість зростає з плином часу, при цьому в центрі торнадо повітря починає інтенсивно підійматися. Смерч повністю формується і рухається постійно змінюючи напрями свого руху.

- Завершальна стадія - руйнування вихору. Потужність торнадо слабшає, воронка звужується і відривається від поверхні землі, поступово піднімаючись назад у материнську хмару.

Час існування кожної стадії різний і коливається від декількох хвилин до декількох годин (у виняткових випадках). Швидкість смерчів також різна, у середньому – 40 - 60 км/год (в дуже рідкісних випадках може досягати 210 км/год) [3].

1.3 Сучасні методи прогнозування смерчів

Як свідчить багаторічна синоптична практика, прогнозування смерчів є актуальною задачею, для вирішення якої поки не існує загальноприйнятих методів. Як правило, виділяють комплекси аеросиноптичних умов, при формуванні яких очікується виникнення смерчів.

У будь-якій з розглянутих повітряних мас може утворитися смерч. Найчастіше смерч слід чекати, якщо спостерігається перетин ліній нестійкості або мезомасштабна зона значної конвекції співпадає з осередком конвекції. Якщо конвективних хмар ще немає, то про наявність осередку судять по хмарності з великим значенням показника конвективної нестійкості.

Прогноз смерчів складається таким чином:

1) Встановлюється тип повітряної маси і оцінюється синоптична ситуація. Обчислюються критерії нестійкості і складаються великомасштабні карти розподілу полів нестійкості і зон конвергенції в районі прогнозу.

2) Фіксується наявність супутніх смерчам погодних умов.

3) Здійснюється виявлення конвективних осередків найбільшої потужності і ліній нестійкості, а також стеження за їх переміщенням і розвитком.

4) Передбачається місце можливої появи смерчу за допомогою поєднання зон конвергенції і полів нестійкості.

5) Складається прогноз траєкторії смерчу.

Завчасність попередження про смерч не перевищує декількох десятків хвилин [5].

1.4 Випадки смерчів на території України та їхні наслідки

Для України стане частим таке явище як смерчі, що особливо є характерним для південних регіонів. За будь-якого перепаду температур - від тепла до холода і навпаки обов'язково утворюватимуться штормові явища, що характерно для південних регіонів.

В 2019 році були зафіксовані наступні випадки утворення смерчів:

Смерч на Житомирщині "Олевський район" 27 квітня 2019 рік. За лічені хвилини смерч повалив теплиці і дерева в селищі Городниця Житомирської області. Площа лісу, пошкоджена стихією, знижено близько 100га.

В Сумській області в районі міста Буринь спостерігався смерч, 25 травня 2019 рік. Смерч досяг такої сили, що частково зривав дах будинків і гаражів.

На Житомирщині випав великий град і сформувався смерч 16 травня 2019 рік. Смерч пройшов через територію Житомирської області, поблизу міста Новоград-Волинський з інтенсивністю F2. Листяні і хвойні насадження, а також теплиці були знищені в лічені хвилини. За оцінкою лісгоспу, загибель такої кількості дерев можна кваліфікувати як надзвичайну ситуацію місцевого масштабу.

Смерч на Закарпатті поблизу села Сюрте, 7 липня 2019 рік. Смерч з сотень будинків зірвав дахи, а іноді в небо піднявалися й огорожі.

Біля Кам'янки Чернівецької області місцеві жителі спостерігали воронку над лісом з торканням земної поверхні, 20 травня 2019 рік. Потужний смерч, який за лічені хвилини зірвав із землі дерева із коріннями.

Смерч над Кременчуцьким водосховищем, стався в кілька кілометрів від с. Нагірне, 20 вересня 2019 рік.

Біля Мелітополя в селі Костянтинівка спостерігався смерч 25 травня 2019 рік. Смерч зафіксували на полях за містом, він супроводжувався рясними опадами

В Донецькій області в селі Седове спостерігався смерч, 22 травня 2109 рік. Природне явище пройшло далеко від житлових будинків, смерч знищив 10 га посівів соняшнику.

Ще один випадок був зафіксований 23 травня цього року. Тоді біля аеропорту Одесса пронісся потужний смерч висотою 100 м [1].

2 ПАРАМЕТРИ КОНВЕКЦІЇ

2.1 Індекси стійкості (нестійкості)

Lifted Index - (Galway, 1956), це різниця температур частинки, яка піднімається з поверхні землі до рівня LCL сухоадіабатично і далі псевдоадіабатично до 500 гПа. *LI* є мірою стабільності атмосфери між рівнями 1000 гПа і 500 гПа. Від'ємні значення *LI* виражають нестабільність. Чим вище абсолютне значення від'ємного *LI*, тим більш нестабільною є атмосфера. *LI* не залежить від висоти *EL*, яке зазвичай погано оцінюється в вихідних даних моделі.

Застосовуються наступні граничні значення:

$LI \geq 0$: стабільна атмосфера - грози неможливі

$0 > LI \geq -2$: можливі грози

$-2 > LI \geq -6$: вірогідні грози

$-6 > LI$: можливі сильні грози

Showalter Index - (Showalter, 1947), цей параметр такий же як *LI*, але для повітряної частинки, знятої з рівня 850 гПа, а не поверхні землі.

Застосовують наступні пороги:

$-3 < SI \leq 3$: можливі грози

$SI \leq -3$: можливі сильні грози

Total Totals - (Miller, 1972), індекс підсумкових сум, представляє собою суму *VT* і *CT*. Тому збільшується зі збільшенням вологості в нижніх шарах атмосфери і збільшенням вертикальних градієнтів температури.

$$TT = VT + CT = T_{850} - T_{500} + Td_{850} - T_{500} = T_{850} + Td_{850} - 2T_{500} \quad (2.1.1)$$

Зазвичай застосовуються такі три порога:

≥ 44 : можливі грози

≥ 50 : можливі помірні грози

≥ 55 : можливі сильні грози

K Index - (George, 1960), як і *VT*, він заснований на вертикальному градієнті температури від рівня 850 гПа до 500 гПа. Більш висока вологість на 850 гПа, виражена більш високим значенням температури точки роси на рівні 850 гПа, що збільшує *K*.

$$K = T_{850} - T_{500} + Td_{850} - (T_{700} - Td_{700}) \quad (2.1.2)$$

Коли всі температури наведені в °C, застосовуються наступні граничні значення:

0 - 20 - ймовірність грози < 20%

21 - 25 - ймовірність грози 20% - 40%

26 - 30 - ймовірність грози 40% - 60%

31 - 35 - ймовірність грози 60 - 80%

36 - 40 - ймовірність грози 80 - 90%

> 40 - ймовірність грози > 90%

Tompson Index - заснований на індексі *K* для випадку, коли використовується не наземна повітряна частинка, а середнє значення на рівнях.

$$TI = K - LI \quad (2.1.3)$$

де *K* - це число Вайтінга

Використовуються такі пороги:

TI < 25 - без гроз

TI 25 - 34 - можливі грози

TI 35 - 39 - грози, місцями сильні

$TI \geq 40$ - сильні грози

KO Index - (Andersson, 1989), описує потенційну нестабільність між вищими рівнями атмосфери. Таким чином, він заснований на еквівалентних потенційних температурах (Θ_e) як:

$$KO = 0.5(\Theta_{e500} + \Theta_{e700}) - 0.5(\Theta_{e850} + \Theta_{e1000}) \quad (2.1.4)$$

Він найменший, якщо сухе і холодне повітря лежить над теплим і вологим повітрям. Звичайні пороги є:

$KO > 5$ - грози не буває

$5 \geq KO > 3$ - можливі грози

$2 \geq KO$ - можливі сильні грози

Boyd Index - (Boyd, 1963), спочатку був розроблений для оцінки грозового ризику при фронтальному проходженні. Товщина шару 1000 гПа і 700 гПа пропорційна його середній температурі. Індекс визначається як:

$$BI = 0.1(z_{700} - z_{1000}) - T_{700} \quad (2.1.5)$$

Він не повинен використовуватися без врахування фронтальних проходжень, наприклад для повітряних масових гроз.

700-500 mb lapse rate - швидкість проходження надає інформацію про стійкість атмосферного шару. Висхідний повітряний потік з більш низькою швидкістю охолодження ніж γ в кінцевому підсумку стає тепліше, ніж його оточення і прискорюється. Чим швидше температура зменшується з висотою, тим більш нестабільною є атмосфера.

Застосовуються наступні критерії стабільності:

$\gamma \geq 9.8^\circ\text{C}/\text{км}$: абсолютно нестабільна атмосфера

$\gamma = 9.8^\circ\text{C}/\text{км}$: суха адіабатична швидкість

$9.8^\circ\text{C}/\text{км} > \gamma \geq 6^\circ\text{C}/\text{км}$: умовно нестійка

$6^\circ\text{C}/\text{км} \geq \gamma \geq 5.5^\circ\text{C}/\text{км}$: волога адіабатична

$5.5^{\circ}\text{C}/\text{км} > \gamma$: стабільна

У разі умовної нестабільності значення $CAPE$ можуть стати додатними, а значення LI може стати від'ємним, що означає, що можуть розвиватися грози. Нестійкі умови не можуть тривати довго.

Jefferson Index - (Jefferson, 1963), цей параметр використовує стандартні висоти, він менш чутливий до температури. Цей індекс зазвичай застосовується для повітряної маси грози без будь-якого динамічного імпульсу. Звичайний поріг для цього індексу 29°C . У полярних повітряних масах застосовується дещо менший поріг в 27°C [6].

2.2 Індeksi енергії

$CAPE$ - конвективна доступна потенційна енергія. Позитивний $CAPE$ визве підйом повітряного потоку, в той час як негативний $CAPE$ визве падіння повітряного потоку. $CAPE$ є показником атмосферної нестабільності при будь-якому заданому зондуванні атмосфери, необхідною умовою розвитку купчастих і купчасто-дощових хмар. $CAPE$ існує в умовно нестійкому шарі тропосфери, вільному конвективному шарі, де висхідний повітряний потік тепліше навколишнього повітря. Застосовують наступні пороги:

$0 < CAPE \leq 1000$: слабка нестабільність

$1000 < CAPE \leq 2500$: помірна нестабільність

$2500 < CAPE \leq 4000$: сильна нестабільність

$4000 < CAPE$: надзвичайна нестабільність

$CAPE_{0-3\text{ км}}$ - характеризує $CAPE$ найнижчого рівня від 3 км до поверхні землі. Визначається як:

$$CAPE_{0-3\text{ км}} = \begin{cases} g \int_{LFC}^{\min(EL, 3\text{ км})} \frac{\theta_{v,p} - \theta_{v,e}}{\theta_{v,e}} dz : \text{якщо } LFC \leq 3\text{ км} \\ 0 : \text{якщо } LFC > 3\text{ км або не має } LFC \end{cases} \quad (2.2.1)$$

Високі значення $CAPE$ 0-3km вказують на високі прискорення в нижніх шарах. В цьому випадку конвекція може швидко розвиватися.

CAP - це стабільна область в нижній тропосфері, яка перешкоджає конвекції від граничного шару. Тобто максимальна різниця температур піднятої частинки і її оточення. Він існує в основному під час ранкових зондувань в літній період. CAP можна використовувати тільки для того, щоб побачити опір проти конвекції низькорівневих повітряних потоків.

Після чого застосовуються пороги:

$CAP \leq 0$: немає опору

$0 < CAP \leq 2$: слабкий опір

$2 < CAP \leq 4$: помірний опір

$4 < CAP$: сильний опір

Якщо є невеликі значення CAP і достатня кількість $CAPE$, можливе утворення смерча.

$DCAPE$ 6,0 km - характеризує доступну потенційну енергію низхідного потоку. Інтеграл знаходиться від поверхні до рівня LFS .

$$DCAPE = g \int_0^{LFS} \frac{\theta_{v.p} - \theta_{v.e}}{\theta_{v.e}} dz \quad (2.2.2)$$

$\theta_{v.p}$ – потенційна температура частинки що опускається, тобто температура, якої вона досягається, якщо випаровується водяна пара.

LFS - висота, на якій температура вологої частинки дорівнює нулю.

$NCAPE$ - щільність енергії вертикального стовпа, $NCAPE$ є мірою прискорення і визначається як:

$$NCAPE = \frac{SBCAPE}{EL-LFC} \quad (2.2.3)$$

Високі значення $NCAPE$ являє собою швидкий розвиток [6].

2.3 Індекси зсуву

Bulk Richardson No - (Weisman і Klemp, 1982), масове число Річардсона, визначається як відношення *CAPE* до квадрату зсуву вітру.

$$BRN = \frac{CAPE}{0.5(\vartheta_1 - \vartheta_2)^2} \quad (2.3.1)$$

ϑ_1 і ϑ_2 - це швидкості вітру на різних рівнях, зазвичай 500м і 6км.

BRN зазвичай використовується для розрізнення різних видів гроз:

$BRN < 10$: грози малої ймовірності

$10 \leq BRN < 45$: можливе утворення супер чарунки

$45 \leq BRN$: можливе утворення декілька супер чарунків

Оскільки цей індекс являє собою відношення двох енергій, його завжди слід інтерпретувати разом з абсолютними значеннями енергій. *CAPE* характеризує вертикальну нестабільність в той час як зрушення вітру розповідає більше про характер смерчів. Супер чарунки найбільш ймовірні, коли *BRN* становить десятки.

Storm-relative Helicity - забезпечує міру для зміни вітру з висотою, включаючи його величину і напрямок щодо штормового руху. Представлено Девідом-Джонсом в 1990 році. Зазвичай використовується найнижча атмосфера - 3 км. Визначається як:

$$SRH = - \int_0^h \vec{k} * (\vec{\vartheta}(z) - \vec{c}) * \frac{\partial \vec{\vartheta}(z)}{\partial z} dz \quad (2.3.2)$$

$\vec{k}$ - вертикальний одиничний вектор

$\vec{c}$ - швидкість руху частинки

$\vec{\theta}(z)$ - вектор вітру

SRH розраховується неоднозначно, оскільки існують різні можливості для оцінки спостережень. Один із способів розрахунку (Markowski і Richardson, 2010):

$$SRH = \sum_{n=1}^{N-1} [(u_{n+1} - c_x) * (v_n - c_y) - (u_n - c_x) * (v_{n+1} - c_y)] \quad (2.3.3)$$

Зазвичай можна сказати, що:

$SRH < 150 \text{ м}^2/\text{с}^2$: незначне обертання

$150 \text{ м}^2/\text{с}^2 \leq SRH < 300 \text{ м}^2/\text{с}^2$: грози з обертанням

$300 \text{ м}^2/\text{с}^2 \leq SRH < 450 \text{ м}^2/\text{с}^2$: осередок з можливістю обертання

$450 \text{ м}^2/\text{с}^2 \leq SRH$: можливий супер чарунок з смерчем.

SRH не містить ніякої інформації про енергію конвекції. Ось чому визначається індекс енергетичної спіральності EHI , який об'єднує SRH і $CAPE$.

Levels of Free Convection - це висота, на якій частинка яка підіймається з поверхні стає легше ніж навколишнє повітря і починає вільне сходження. Щоб розрахувати його, частинка повинна бути піднята сухоадіабатичним способом із землі до рівня LCL і псевдоадіабатичним вгору з LCL , поки її щільність не стане менше щільності навколишнього повітря. Чим нижче LFC , тим більша ймовірність конвекції. Досвід показує, що смерчі більш вірогідні для супер чарунків з LFC на висоті менше 2000 м. І грози, швидше за все, будуть розвиватися і підтримуватися, якщо LFC нижче 3000 м.

$LFC-LCL \text{ height}$ - різниця між LFC і LCL містить інформацію про ймовірність глибокої конвекції. Якщо LFC набагато вище, ніж LCL , то конвекція залишиться не значною. Якщо навпаки, різниця між LFC і LCL невелика то раптова глибока конвекція може статися.

Energy Helicity Index - (Hart і Korotky, 1991), визначають як нормалізований результат штормової відносної спіральності і $CAPE$.

$$EHI = \frac{CAPE * SRH}{160000} \quad (2.3.4)$$

Тому він поєднує міру статистичної нестабільності з динамікою. Оцінка ризику смерчу представлена наступними порогами:

$EHI > 1$: можливе утворення осередку

$5 \geq EHI > 1$: можливі смерчі до F3

$EHI > 5$: можливі смерчі до F5

Смерчі також можливі, коли значення EHI невелике до тих пір, поки SRH матиме велике значення.

Significant Tornado Parameter - одним з визначень є:

$$STP = \frac{DLS}{20^{M/c}} \frac{SRH_{0-1}}{100^{M^2/c^2}} \frac{SBCAPE}{1500^{Дж/кг}} \frac{2000-LCL_{SB}}{1500m} \frac{100+SBCIN}{150^{Дж/кг}} \quad (2.3.5)$$

LCL_{SB} дорівнює 1, якщо LCL_{SB} менше 1000 м

$SBCIN$ дорівнює 1, якщо $SBCIN > -50$ Дж/кг

DLS дорівнює 0, якщо $DLS < 12,5$ м/с.

Більшість значних смерчів були зафіксовані коли $STP > 1$, в той час як більшість інших супер чарунків були коли $STP < 1$

Індекс $LOSHR$ - векторна різниця між вітром на рівнях 1 км і вітром на поверхні землі. Критеріальне значення індексу 10 м/с (смерч). Одиниці вимірювання: м/с

$$LOSHR = V_{1km} - V_{sfc} \quad (2.3.6)$$

Глибокий шар зсуву (DLS) або зсув вітру в шарі 0-6 км Визначається як величина векторної відмінності між вектором швидкості вітру на висоті 450 гПа і вектором вітру біля поверхні землі. В якості альтернативи можна використовувати довжину годографа в шарі від 0 до 6 км. Зсуви в цьому шарі використовується для визначення потенціалу супеосередка. Однак це не дуже

хороший показник для визначення обертального потенціалу в нижньому шарі. При $DLS > 40$ kt розвиток супеосередку найбільш ймовірний, а при DLS від 35 до 39 kt - малий потенціал для розвитку супеосередку. [6].

2.4 Прості індекси на основі температури

Vertical Totals - (Miller, 1972), вертикальний підсумковий індекс, представляє собою різницю температур між рівнями 850 гПа і рівнем 500 гПа.

$$VT = T_{850} - T_{500} \quad (2.4.1)$$

Тому він є мірою середнього вертикального градієнта температурного шару атмосфери, який починається приблизно в верхній межі атмосфери і поширюється через половину повітряної маси. Чим сильніше вертикальний градієнт температури, тим імовірніші грози. Зазвичай поріг 26. Передбачається, що він краще відокремлює грозову погоду від погоди, з якої не можуть утворюватися грози.

Cross Totals - (Miller, 1972), індекс перехресних підсумків, долає недолік VT , без урахування вологості. Грози не можуть розвиватися, якщо немає достатньої вологості навіть в разі сильних вертикальних градієнтів температури. Таким чином, індекс перехресних підсумків визначається як різниця температури точки роси на 850 гПа і температури на 500 гПа.

$$CT = Td_{850} - T_{500} \quad (2.4.2)$$

Тому воно збільшується зі збільшенням вологості в нижніх шарах атмосфери. Передбачається, що смерчі ймовірні, якщо CT вище 29.

Humidity Index - (Litynska, 1976), близько до індексу K як:

$$HI = (T_{850} - Td_{850}) + (T_{700} - Td_{700}) + (T_{500} - Td_{500}) \quad (2.4.3)$$

Значення 30 пропонується в якості порогу для гроз, грози більш вірогідні для менших значень.

S Index - ввели німецьким військовим геофізичним управлінням в 1998 році. *SI* використовує ті ж змінні, що і *K*. Визначається як:

$$SI = TT - (T_{700} - Td_{700}) - \begin{cases} 0 & \text{якщо } VT > 25 \\ 2 & \text{якщо } 25 \geq VT \geq 22 \\ 6 & \text{якщо } 22 > VT \end{cases} \quad (2.4.4)$$

WetBulb Zero Hgt - це висота, на якій температура частинки дорівнює нулю. Іноді використовується назва рівня заморожування *FRZ*. *WBZ* є важливий параметр щодо граду і низхідних потоків, так як град починає танути на тій висоті і це танення охолоджує повітря. Чим вище *WBZ*, тим менше ймовірність того, що град досягне землі, але більш ймовірні низхідні потоки. Саме охолодження знижує *WBZ* [6].

2.5 Змішані індекси

Vorticity Generation Parameter - (Rasmussen, 1998), параметр, що генерує завихренність. Він призначений для нахилу горизонтальної завихренності. Він визначається як добуток квадратного кореня *CAPE* на трьох кілометровий зсув вітру, таким чином:

$$VGP = \sqrt{CAPE} VS_3 \quad (2.5.1)$$

Смерчі мало ймовірні якщо $VGP < 0,3$ і вірогідні, якщо воно становить $\leq 0,6$.

SWEAT Index - (Miller, 1972), він складається з чотирьох членів:

$$SWEAT = a + b + c + d \quad (2.5.2)$$

з терміном вологості

$$a = 12 Td_{850} \quad (2.5.3)$$

з терміном нестабільності

$$b = 20 \begin{cases} (TT - 49) \text{ якщо } TT > 49^\circ\text{C} \\ 0 \text{ якщо } TT < 49^\circ\text{C} \end{cases} \quad (2.5.4)$$

з терміном зсуву вітру де швидкості вітру повинні бути вказані в вузлах.

$$c = 2\vartheta_{850} - \vartheta_{500} \quad (2.5.5)$$

з терміном відхилення в разі, якщо є відхилення

$$d = \begin{cases} 125(\sin(dd_{500} - dd_{850}) + 0.2) \text{ якщо } dd_{500} - dd_{850} > 0 \\ 0 \text{ якщо } dd_{500} - dd_{850} < 0 \end{cases} \quad (2.5.6)$$

dd - напрямок вітру на рівні висоти

$dd_{500} - dd_{850}$ - це перехід між 500 гПа і 850 гПа.

Якщо напрямок вітру на 500 гПа становить 200° , а на рівні 850 гПа 220° різниця становить 20° , вітер не відхиляється.

$$210^\circ \leq dd_{500} \leq 310^\circ$$

$$130^\circ \leq dd_{850} \leq 250^\circ$$

$$dd_{500} > dd_{850}$$

$$v_{500} > 15 \text{ вузлів} \approx 28 \text{ км/год}$$

$$v_{850} > 15 \text{ вузлів} \approx 28 \text{ км/год}$$

Застосовуються наступні граничні значення:

$$150 < SWEAT \leq 300: \text{ мало ймовірно}$$

$$300 < SWEAT \leq 400: \text{ ймовірно}$$

$$400 < SWEAT: \text{ можливий смерч}$$

Supercell Composite Parameter - об'єднує *CAPE*, *SRH* і *VS* як:

$$SCP = \frac{MUCAPE}{1000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} \frac{SRH_{0-3}}{100 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} \frac{DLS^2}{40 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} \quad (2.5.7)$$

Значення більше 1 сильно сприяють супер чарунці, в той час як шторми, пов'язані зі значеннями *SCP* менше 1.

Graven SigSvr Parameter - добуток *MLCAPE* на 100 мб і величини різниці векторів від поверхні землі до 6 км, часто зване «глибоким зрушенням шару».

Основні значні явища такі як:

- град $d > 5 \text{ см}$
- вітер $V > 120 \text{ км/год}$
- смерчі $\geq F2$

відбуваються, коли параметр перевищує $20000 \text{ м}^3/\text{с}^3$. Також небезпечні явища ймовірні, якщо він перевищує $10000 \text{ м}^3/\text{с}^3$. Індекс формулюється так:

$$C = MLCAP E \left[\frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right] \cdot DLS \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right] \quad (2.5.8)$$

Hail - цей параметр призначений для розрізнення граду з діаметром $\geq 2 \text{ см}$ і незначним градом. Заснований на 5 параметрах і представлено як:

$$HAIL = \frac{-MUCAPE_{q_{MU}} \gamma_{500-700} T_{500} DLS}{44 \cdot 10^{-6}} \quad (2.5.9)$$

q_{mi} - відношення змішування водяної пари в г/кг

$\gamma_{500-700}$ - швидкість перепаду температури 700-500 гПа, в °С/км

DLS - сильне зрушення шару в м/с.

Значення $HAIL$, що перевищують 1, вказують на сприятливе середовище для значного граду. Значення більше 4 вважаються дуже високими. Значення більше 1,5 зазвичай пов'язане зі спостережуваним значним градом [6].

З ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА СТРУКТУРА ПАРАМЕТРІВ КОНВЕКЦІЇ ПРИ ФОРМУВАННІ СМЕРЧІВ

Оскільки в Україні сітка температурно-вітрового зондування не дозволяє проводити детальний аналізу просторово-часової еволюції небезпечних явищ погоди, зокрема смерчів, тому для початку дослідження можливого виявлення закономірностей, які сприятимуть покращенню якості прогнозування зазначеного явища на території нашої держави, аналізувалася територія Німеччини, де успішно проводиться чотирьох разове зондування атмосфери на добу (за 00, 06, 12, 18 UTC відповідно).

В даній роботі проаналізовані такі станції температурно-вітрового зондування у Німеччині: Шлезвіг (Schlewig 10035), Грайфсвальд (Greifswald 10184), Лінденберг (Lindenberg 10393), Ессен (Essen 10410), Майнінген (Meiningen 10548), Ідар-Оберштайн (Idar-Oberstein 10618), Штутгарт (Shtutgart 10739), Кюмммерсбрукк (Kummersbruck 10771), Мюнхен (Munich 10868), Хоенпайсенберг (Hohenpreissenberg 10962), Берген (Bergen 10238).

Одним з параметрів конвекції, які характеризують зсув вітру є *Storm Relative Helicity*, який характеризує відносну спіральність шторму та розраховується у шарі 0-1 км ($>100 \text{ м}^2/\text{с}^2$) та 0-3 км ($>250 \text{ м}^2/\text{с}^2$).

Зібрали випадки, за допомогою доступних електронних ресурсів на території Німеччини за період з 1 січня 2010 року до нашого часу, де вказані час, місце і координати та отримали офіційно зареєстрованих 189 смерчів. Далі за місцезнаходженням смерчів вивчалися найближчі станції, де проводиться температурно-вітрове зондування атмосфери, у результаті отримали 164 випадки радіусом менше 200 км, оскільки для штормового оповіщення залучаються гідрометеорологічні станції та пости, розташовані у радіусі 150-200 км [7]. Для детального вивчення відібрані випадки на станціях де проводиться температурновітрове зондування за 00, 06, 12, 18 UTC – 53 випадки.

Найбільша кількість з 53 смерчів (за 47 днів, оскільки за одну дату траплялись декілька смерчів) спостерігалася у червні місяці - 17 (22.06.2011 та 16.06.2019 по 2 випадки) тому для виявлення критеріальних значень наведемо приклади розподілу значень *SRH*, *LOSHR* – швидкості вітру у шарі 0-1 км (при значеннях більше 10 м/с існує імовірність утворення смерчу), *DLS* – індексу глибокого зсуву вітру у шарі 0-6 км (значення не менше 12 м/с спряють ініціалізації мульти- або суперчарункової конвекції) за часом температурно-вітрового зондування за 00, 06, 12, 18 UTC.

Наведемо декілька прикладів, з відповідно побудованими графіками 4-х разового температурно-вітрового зондування, найбільш показових параметрів конвекції та їхнім часовим ходом зі смерчами за 12 та 18 UTC (± 3 год.)

Кожному кольору відповідає значення параметра за такі дати: 06.06.2011, 09.06.2010, 16.06.2011, 18.06.2011, 22.06.2011, 07.06.2012, 24.06.2012, 19.06.2013, 03.06.2014, 12.06.2015, 27.06.2015, 22.06.2017, 12.06.2018, 12.06.2019, 16.06.2019.

Смерчам які спостерігалися близько 12:00 UTC відповідають дати: 07.06.2012, 03.06.2014, 12.06.2018, 09.06.2010, 06.06.2011, 18.06.2012, 27.06.2015, 22.06.2017, 16.06.2019, 12.06.2019.

Смерчам які спостерігалися близько 18:00 UTC відповідають дати: 19.06.2013, 22.06.2011, 16.06.2011, 24.06.2012, 12.06.2012.

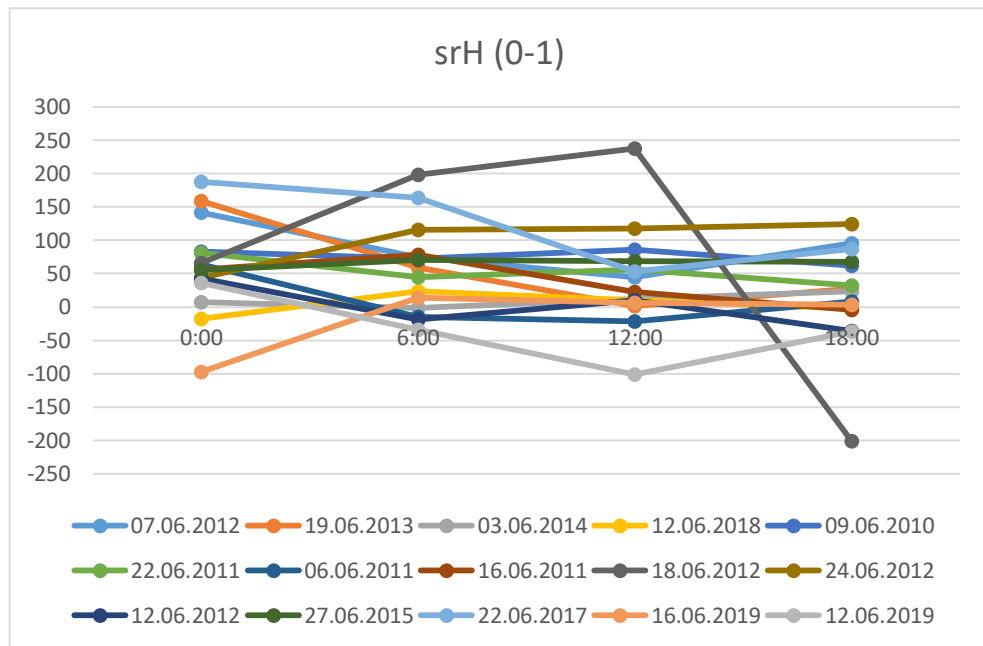


Рис. 1 – Часова еволюція параметра конвекції $srH (0-1)$ у дні зі смерчами.

На момент розвитку смерча, близько 12:00, значення $srH (0-1)$ збільшується, що відповідає вказаній класифікації. Максимальне значення індексу 238, а мінімальне -101, близько 18:00, значення $srH (0-1)$ збільшується, що відповідає вказаній класифікації. Максимальне значення індексу 124, а мінімальне -34.

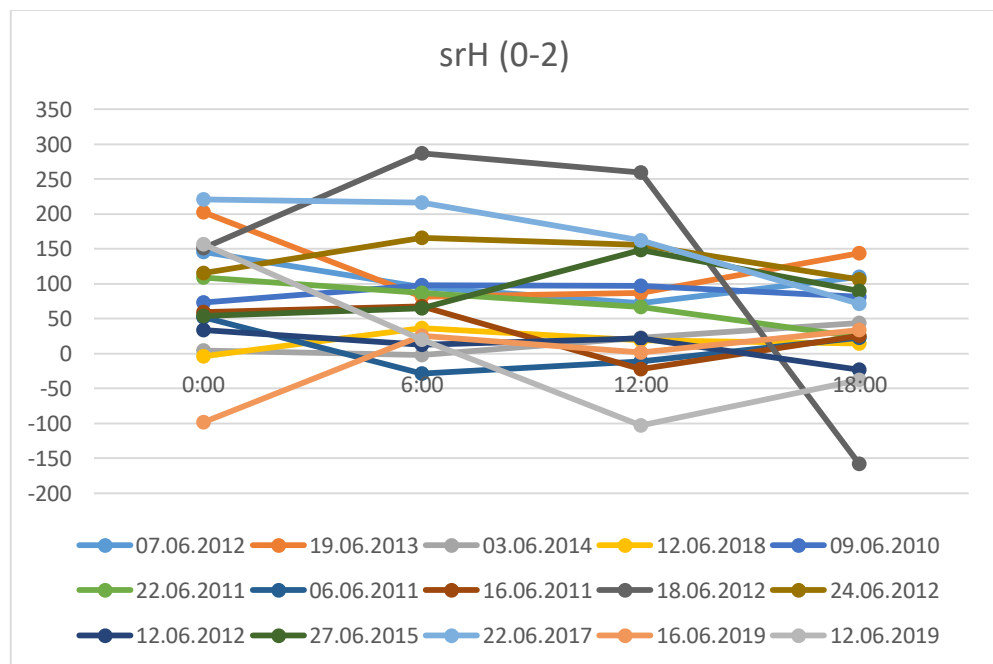


Рис. 2 – Часова еволюція параметра конвекції $srH (0-2)$ у дні зі смерчами.

На момент розвитку смерча, близько 12:00, значення srH (0-2) збільшується, що відповідає вказаній класифікації. Максимальне значення індексу 259, а мінімальне -103, близько 18:00, значення srH (0-2) збільшується, що відповідає вказаній класифікації. Максимальне значення індексу 144, а мінімальне -23.

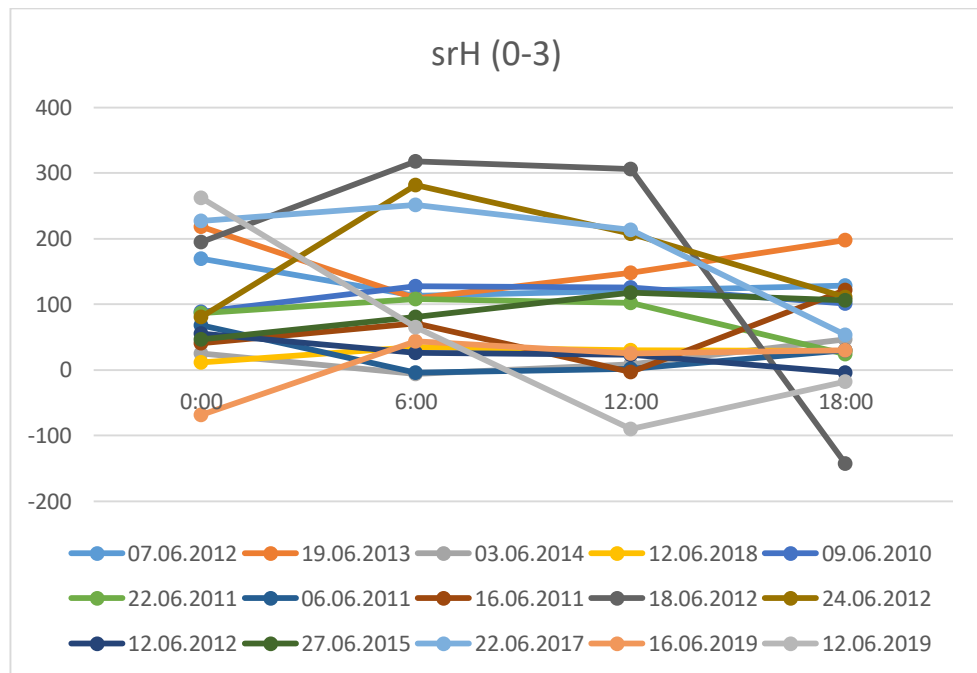


Рис. 3 – Часова еволюція параметра конвекції srH (0-3) у дні зі смерчами.

На момент розвитку смерча, близько 12:00, значення srH (0-3) збільшується, що відповідає вказаній класифікації. Максимальне значення індексу 306, а мінімальне -90, близько 18:00, значення srH (0-3) збільшується, що відповідає вказаній класифікації. Максимальне значення індексу 198, а мінімальне -4.

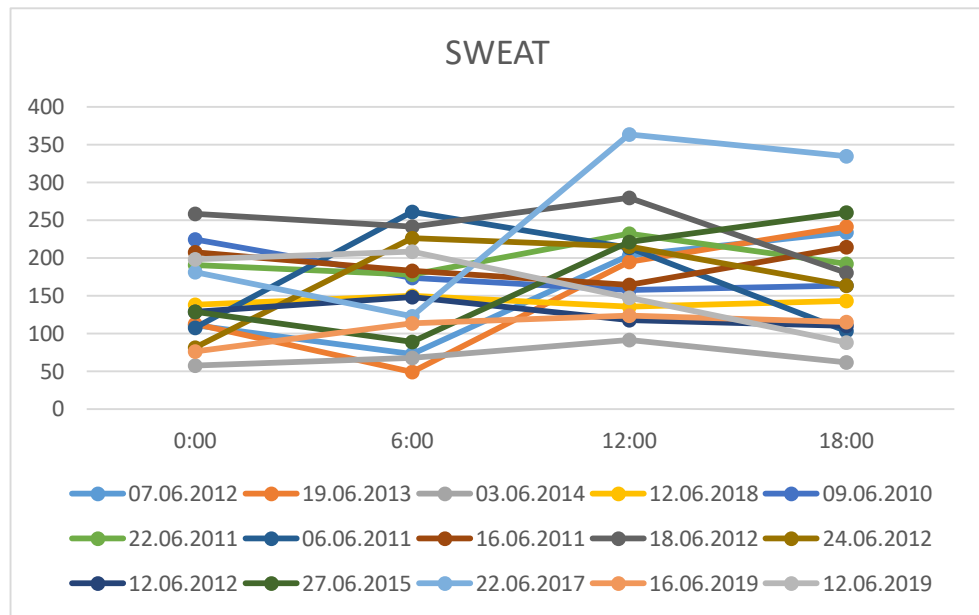


Рис. 4 – Часова еволюція параметра конвекції SWEAT у дні зі смерчами.

На момент розвитку смерча, близько 12:00, значення *SWEAT* збільшується, що відповідає вказаній класифікації. Максимальне значення індексу 363,4, а мінімальне 91,6, близько 18:00, значення *SWEAT* збільшується, що відповідає вказаній класифікації. Максимальне значення індексу 241,8, а мінімальне 110.

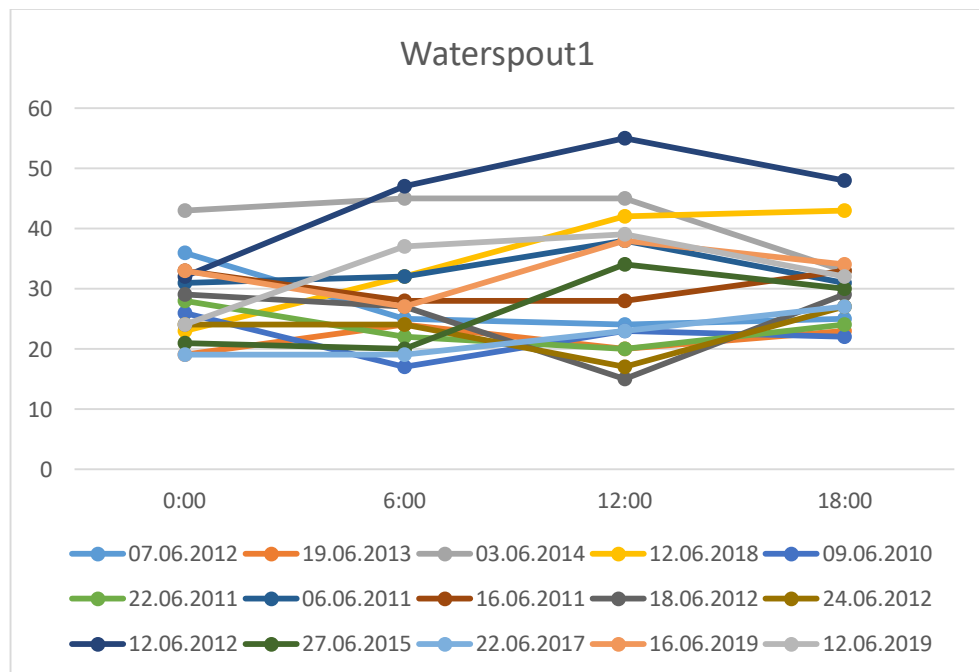


Рис. 5 – Часова еволюція параметра Waterspout1 у дні зі смерчами.

На момент розвитку смерча, близько 12:00, значення *Waterspout1* збільшується, що відповідає вказаній класифікації. Максимальне значення індексу 45, а мінімальне 15, близько 18:00, значення *Waterspout1* збільшується, що відповідає вказаній класифікації. Максимальне значення індексу 48, а мінімальне 24.

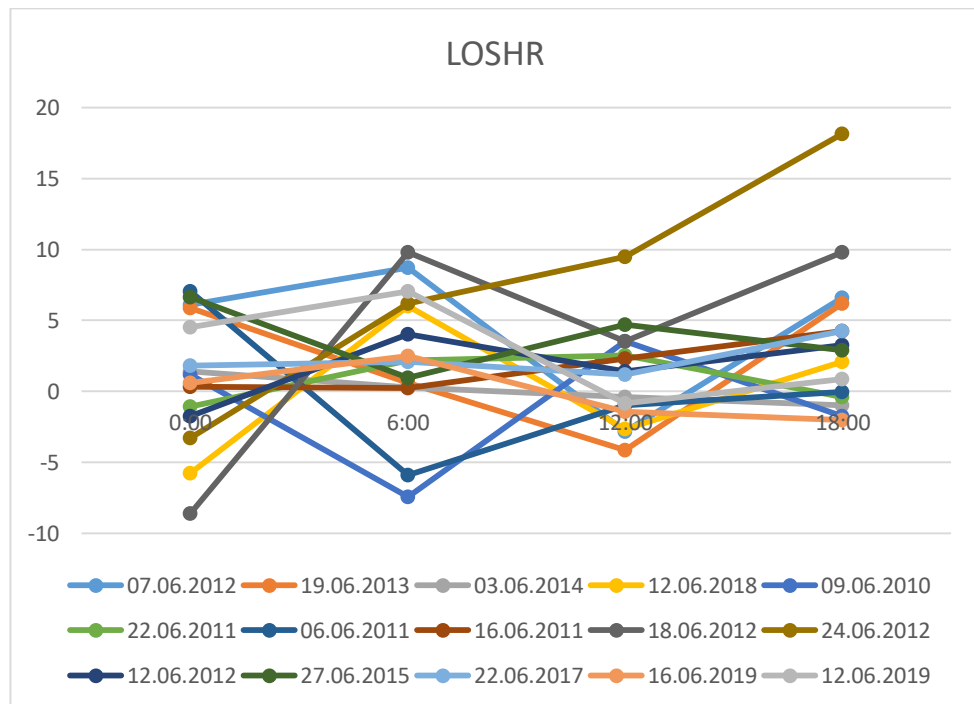


Рис. 6 – Часова еволюція параметра конвекції LOSHR у дні зі смерчами.

На момент розвитку смерча, близько 12:00, значення *LOSHR* зменшується. Максимальне значення індексу 4,7 , а мінімальне -2,7 , близько 18:00, значення *LOSHR* зменшується. Максимальне значення індексу 18,1 , а мінімальне -0,4.

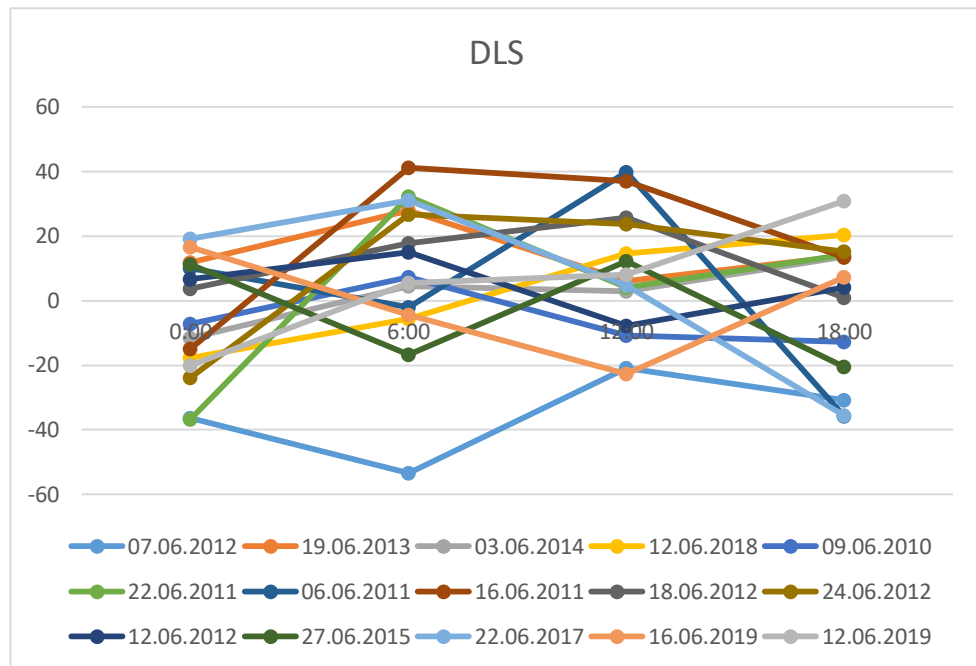


Рис. 7 – Часова еволюція параметра конвекції DLS у дні зі смерчами.

На момент розвитку смерча, близько 12:00, значення *DLS* збільшується. Максимальне значення індексу 39,9 , а мінімальне -22,7 , близько 18:00, значення *DLS* збільшується. Максимальне значення індексу 15,2 , а мінімальне 4,1.

У проаналізовані дні на станціях, де проводилося температурно-вітрове зондування на віддаленні до 200 км спостерігався смерч, за даними про фактичну погоду з метеорологічної інформаційної служби яка використовує дані в мережі від National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) – Національного управління океанічних і атмосферних досліджень, спостерігалися купчасто-дощова хмарність, грози, зливи, град, шквал (пориви вітру досягали 20 м/с), кількість опадів за 12 годин перевищувало позначку у 22 мм та погіршувалася видимість до 1 км [8].

У Додатку 1 наведений приклад однієї з дат проаналізованих 52 параметрів конвекції коли біля станції Ідар-Оберштайн спостерігалися декілька смерчів в один день, на віддаленні 38, 41, 51 та 64 кілометрів у кільці радіусом 75 км. Такий радіус був взятий оскільки ближня зона - повітряного простору навколо аеродрому в радіусі 75 км від контрольної точки аеродрому

(КТА) (крім повітряного простору зони візуального контролю і зони посадки) [7].

У Додатку 2 наведені порогові критичні значення параметрів конвекції які найбільше впливають на умови утворення смерчів.

У Додатку 3 наведені випадки смерчів за кожен рік починаючи з 2010 до теперішнього часу та відстань до найближчих станцій з температурно-вітровими зондуваннями.

ВИСНОВКИ

1. У багатьох випадках, особливо на території України, через рідку сітку температурно-вітрового зондування (лише 7 станцій), забезпечити виправданість штормового попередження на смерч для даної території майже не можливо. Тому при прогнозуванні небезпечних явищ погоди, поруч з купчасто-дощовою хмарністю, зливами, грозами, шквалами та градом, особливу увагу потрібно приділяти прогнозуванню параметрів зсуву вітру, які й сприяють появі смерчів у радіусі штормового оповіщення до 150-200 км.

2. Єдині параметри конвекції, які сигналізують про можливість виникнення суперчарунок так званої «суворої погоди» («severe weather»), на кшталт, *Violent Tornado Parameter (VTP)*, *Significant Tornado Parameter (STP)*, які початково розраховані для території Америки або *Universal Tornado Index (UTI)*, який розрахований для території Польщі, найчастіше не дають уявлення про можливість виникнення смерчу на станції для інших територій. Тому отримані середні значення параметрів для *SRH 0-1* км від 10 до 60 м²/с² (з максимальним значенням 238 м²/с²), *SRH 0-3* км від 30 до 130 м²/с² (318 м²/с²), для *LOSHR* - 5 м/с (18 м/с) та *DLS* - 10 м/с (41 м/с), для червня місяця сигналізують про можливість виникнення зазначеного небезпечного явища погоди.

3. У подальшому планується детальний аналіз дат зі смерчами, коли спостерігалися 2 та більше випадків цих небезпечних явища погоди у радіусі штормового оповіщення для виявлення параметрів конвекції, які найкраще сигналізують про появу смерчів та виявлення можливих тригерів, які посилюють конвективну діяльність на визначеній території до значень «severe weather».

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Восстановление Закарпатья после урагана обойдется в 54 миллиона гривен. [Електронний ресурс] – Спосіб доступу: https://aif.ua/society/vosstanovlenie_zakarpatty_posle_uragana_obydetsya_v_54_millions_griven.
2. European Severe Weather Database. [Електронний ресурс] – Спосіб доступу: <https://eswd.eu/cgi-bin/eswd.cgi>.
3. Смерч. [Електронний ресурс] – Спосіб доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Смерч>.
4. Шкала Фудзіти або F-шкала. [Електронний ресурс] – Спосіб доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Покращена_шкала_Фудзіти
5. Прогноз смерчів. [Електронний ресурс] – Спосіб доступу: <https://studopedia.info/1-45015.html>
6. Grieser Jü. Convection Parameters. 2012. [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: <http://www.juergen-grieser.de/ConvectionParameters/ConvectionParameters.pdf>
7. Наказ Міністра оборони України від 05.01.2015 № 2 “Про затвердження Правил виконання польотів державної авіації України”.– 123 с.
8. Дані про фактичну погоду з метеорологічної інформаційної служби яка використовує дані в мережі від National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) – Національного управління океанічних і атмосферних досліджень. [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: <https://www.ogimet.com/gsynres.phtml.en>.
9. University of Wyoming. Upperair Air Data [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
10. RAOB. The Complete RAwinsonde OBservation Program. A product of Environmental Research Services, LLC. User Guide Technical Manual. Version 6.6/ed. By J.Shewchuk. – Matamoras (PA): Environmental Research Services, 2016/ – 196 p.

11. Наказ начальника Генерального штабу – Головнокомандувача Збройних Сил України від 27.12.2016 № 493 “Про затвердження Настанови з гідрометеорологічного забезпечення Збройних Сил України”. – 15 с.

12. Sounding-derived parameters associated with tornado occurrence in Poland and Universal Tornadic Index /M. Taszarek , L. Kolendowicz// [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/260727430_Sounding_derived_parameters_associated_with_tornado_occurrence_in_Poland_and_Universal_Tornadic_Index.

ДОДАТКИ

Дані параметрів конвекції з RAOB.

07.2014				
Параметри	06.07.2014 (10618) Ідар-Оберштейн			
	00:00	06:00	12:00	18:00
200 mb Wind Speed Dir: 175	43	47	52	41
500 mb Wind Speed Dir: 145	21	31	37	39
700 mb Wind Speed Dir: 115	23	31	29	37
700 mb Dewpoint Depression	1,7	4,9	3,7	2,1
850 mb Wind Speed Dir: 130	31	23	16	17
850 mb Dewpoint	9,1	10,2	9,3	9
700-500 mb lapse rate	-6,5	-6,4	-5,7	-6,1
Boyden Index	95,9	94,7	98,2	100
BRN - Bulk Richardson No	14	0	1	3
BRN Shear	7,8	24,8	30,6	28,5
CAP Strenght	1,3	2,6	0,9	1,1
CAPE 0-3 km	1	0	0	2
CAPE Total	56	-152	1	44
Graven SigSvr Parameter	1	0	0	1
CT - Cross Totals	22,6	22,7	21,4	21,3
DCAPE 6,0 km	335	511	131	999
Delta Theta-t	12,2	10,8	8,4	14,6
EHI - Energy Helicity Index	0,1	0	0	0
GOES HMI	7	1	5	13
Hail	0,97	0,28	0,48	0,43
Heat Burst Index	143			76
HI - Humidity Index	11,2	22,9	7,6	31,1
JI - Jefferson Index	31	29	30	32
K Index	32,5	29	30,5	35,2
KO Index	0	0	0	0

LFC-LCL height	504	3507	1235	772
LFC - Levels of Free Convection	841	577	704	698
LI - Lifted Index	-1	2	1	0
MDPI - Microburst Day Potential Index	0,4	0,2	0,3	0,5
NCAPE	0,02	0,01	0,01	0,02
S Index	46	39,5	40,6	47,5
SCP - Supercell Composite Parameter	0	0	0	0,2
Severity - Thunderstorm Saverity Index	3,8	3,5	3,6	3,2
SHIP - Significant Hail Parameter	0,1	0	0	0,1
SI - Showalter Index	1	1,3	1,5	-0,3
srH - storm-relative Helicity (0 - 1)	130	98	42	61
srH - storm-relative Helicity (0 - 2)	69	149	72	95
srH - storm-relative Helicity (0 - 3)	76	148	101	137
STP - Significant Tornado Parameter	0	0	0	0
Surface Dewpoint	15,5	14,6	12,4	12,2
SWEAT Index	192,2	235,3	180,6	193
T2 Gust				
TI - Tompson Index	34	27	30	35
TQ Index	15	14	17	19
TT - Total Totals	47,7	46,4	46,3	49,6
VGP - Vorticity Generation Parameter	0,102	0,024	0,033	0,085
VT - Vertical Totals	25,1	23,7	24,9	28,3
VTP - Violent Tornado Parameter				
Waterspout1 Index NWS	29	24	11	18
WBZ - WetBulb Zero Hgt				
Windex			34	47
WMSI - Wet Microburst Saverity Index	1	0	0	1

Стандартні порогові значення параметрів конвекції за допомогою яких відбувався аналіз дат коли спостерігався смерч.

SWEAT Index		Waterspout1 Index	
Стандартні	Intensity	Стандартні	Intensity
< 299	Weak	59-86	Hight Risk
300-399	Moderate	37-58	Mod Risk
400-599	Strong	15-36	Low Risk
> 600	High	0-14	None
DLS		srH	
Стандартні	Intensity	Стандартні	Intensity
< 35	Weak Moderate Strong	< 150	Weak
35-39		150-450	Moderate
> 40		> 450	Strong
LOSHR			
Стандартні	Intensity		
< 10	Rarely		
> 10	Tornado		

Випадки смерчів за 2010 рік та відстань до найближчих станцій з температурно-вітровими зондуваннями.

01.01.2010 – 31.12.2010 (00:00 – 24:00) час по Грінвічу

- 1) Nordholz-Sud, Wanhoden 17.08.2010 (12:10) Ванхеден – Шлезвіг 133 км
- 2) Wilhelmshaven 23.08.2010 (17:30) Вильгельмсхафен – Нордернай 85 км
- 3) Hilgenriedersiel 12.07.2010 (12:40) Хильгенрідерзіль – Нордернай 24 км
- 4) Bedekaspel 03.09.2010 (11:20) Бедекаспель – Нордернай 41 км
- 5) Elisabethfehn 12.07.2010 (16:00) Елізабетфен – Нордернай 84 км
- 6) Hille 09.06.2010 (14:12) Хілле – Берген 134 км
- 7) Erkelenz 12.07.2010 (9:50) Єркеленц – Ессен 83 км
- 8) Warendorf 09.06.2010 (13:40) Варендорф – Ессен 124 км
- 9) Holzminden 14.07.2010 (20:30) Хольцмінден – Берген 109 км
- 10) Ehrsen 26.08.2010 (17:55) Ерзен-Бреден – Берген 145 км
- 11) Reinhardshain, Lumda 23.08.2010 (16:19) Лумда – Майнінген 119 км
- 12) Hunfeld 22.08.2010 (16:32) Хюнфельд – Майнінген 62 км
- 13) Herges-Hallenberg 23.08.2010 (18:50) Штайнбах-Халленберг – Майнінген 23 км
- 14) Freigericht 14.07.2010 (18:30) Фрайгеріхт – Майнінген 119 км
- 15) Griesheim 29.07.2010 (15:10) Грісхайм – Лінденберг 73 км
- 16) Weiler 30.08.2010 (15:45) Вайлер – Штутгарт 63 км
- 17) Ettenbeuren, Schonenberg 17.08.2010 (17:55) Еттенбойрен – Хоэнпайсенберг 93 км
- 18) Wolnzach 05.08.2010 (11:13) Вольнцах – Мюнхен 59 км
- 19) Kucknitz 29.06.2010 (14:40) Кюкніц – Шлезвіг 124 км
- 20) Grussow 11.06.2010 (8:00) Грюссо – Грайфсвальд 111 км
- 21) Lichtenhagen 02.09.2010 (10:15) Ліхтенхаген – Грайфсвальд 101 км
- 22) Wustrow auf Fischland 04.08.2010 (7:00) Вустров – Грайфсвальд 89 км
- 23) Born am Dars 23.08.2010 (15:00) Борн-на-Дарсе – Грайфсвальд 87 км
- 24) Kreutzmannshagen 11.06.2010 (14:52) Кройтцмансхаген – Грайфсвальд 13 км
- 25) Neppermin 23.08.2010 (14:05) Неппермін – Грайфсвальд 59 км

Випадки смерчів за 2011 рік та відстань до найближчих станцій з температурно-вітровими зондуваннями.

01.01.2011 – 31.12.2011 (00:00 – 24:00) час по Грінвічу

- 1) Ganzlin 06.08.2011 (10:00) Ганцлін – Грайфсвальд 126 км
- 2) Boltenhof 08.09.2011 (15:39) Больтенхоф – Грайфсвальд 120 км
- 3) Grosbeeren 08.08.2011 (10:45) Гросберен – Грайфсвальд 213 км
- 4) Kerksiek 06.07.2011 (14:30) Керкзік – Берген 129 км
- 5) Kirchberg 28.04.2011 (11:50) Зесен – Берген 116 км
- 6) Rosefeld 11.09.2011 (16:05) Розефельд – Майнінген 210 км
- 7) Mosigkau 11.09.2011 (16:08) Мозігкау – Берген 208 км
- 8) Einsdorf 01.07.2011 (11:21) Айнсдорф – Майнінген 142 км
- 9) Grobers 22.06.2011 (15:47) Гребес – Майнінген 174 км
- 10) Dolzig 22.06.2011 (15:44) Дельціг – Майнінген 175 км
- 11) Rodigsdorf 12.05.2011 (12:38) Редігсдорф – Майнінген 98 км
- 12) Losnitz 14.08.2011 (17:00) Лесніц – Майнінген 191 км
- 13) Kurort Seiffen, -Heidelberg 21.06.2011 (13:35) Зайфен – Майнінген 250 км
- 14) Sautorn 13.07.2011 (16:00) Зауторн – Кюммерсбрук 113 км
- 15) Gerolsbach 16.06.2011 (10:55) Герольсбах – Мюнхен 51 км
- 16) Schmittenu 13.07.2011 (14:42) Шміттенау – Штутгарт 174 км
- 17) Osburg 06.08.2011 (11:45) Осбург – Ідар-Оберштайн 45 км
- 18) Bad Nauheim 06.06.2011 (11:02) Бад Наухайм – Майнінген 139 км
- 19) Bergheim 06.06.2011 (15:34) Бергхайм – Ессен 74 км
- 20) Heinsberg 18.08.2011 (17:05) Хайнсберг – Ессен 85 км
- 21) Xanten 26.08.2011 (10:45) Ксантен – Ессен 51 км
- 22) Liesen 26.07.2011 (18:17) Лізен – Ессен 142 км
- 23) Altenlotheim 22.06.2011 (13:09) Альтенлотхайм – Майнінген 145 км
- 24) Bad Arolsen 16.06.2011 (19:35) Бад-Арользен – Майнінген 155 км

Випадки смерчів за 2012 рік та відстань до найближчих станцій з температурно-вітровими зондуваннями.

01.01.2012 – 31.12.2012 (00:00 – 24:00) час по Грінвічу

- 1) Nordhastedt 08.07.2012 (17:30) Нордхаштедт – Шлезвіг 54 км
- 2) Burgtiefe 11.07.2012 (00:20) Бургтіфе – Шлезвіг 140 км
- 3) Tessin 13.07.2012 (17:14) Тессін – Грайфсвальд 69 км
- 4) Molln 30.07.2012 (11:53) Мельн – Берген 118 км
- 5) Vielist 08.07.2012 (17:15) Філіст – Грайфсвальд 88 км
- 6) Neu Premslin 18.06.2012 (14:50) Ной Премслін – Берген 145 км
- 7) Wesendahl 29.06.2012 (21:50) Везендаль – Грайфсвальд 191 км
- 8) Ochtmannien 24.06.2012 (18:12) Охтманіен – Берген 77 км
- 9) Loningen 24.09.2012 (15:50) Лёнінген – Ессен 168 км
- 10) Damme, -Sudfelde 24.09.2012 (15:03) Дамме – Берген 142 км
- 11) Mensinghausen 31.05.2012 (16:42) Мензінгхаузен – Берген 88 км
- 12) Heidhausen 31.05.2012 (17:02) Хайдхаузен – Берген 74 км
- 13) Ovenhausen 12.06.2012 (17:22) Овенхаузен – Берген 146 км
- 14) Witten 12.06.2012 (17:05) Віттен – Ессен 27 км
- 15) Grefrath 07.06.2012 (19:15) Грефрат – Ессен 55 км
- 16) Remscheid 13.07.2012 (14:33) Ремшейд – Ессен 40 км
- 17) Heuchelheim 07.07.2012 (09:20) Хойхельхайм - Ідар-Оберштайн 158 км
- 18) Bad Nauheim 31.08.2012 (16:40) Бад Наухайм – Лінденберг 135 км
- 19) Hafenlohr 11.06.2012 (14:20) Хафенлор – Майнінген 116 км
- 20) Hornbach 07.06.2012 (16:45) Хорнбахштрассе – Лінденберг 24 км
- 21) Waldenbuch 06.05.2012 (12:58) Вальденбух – Штутгарт 18 км

Випадки смерчів за 2013 рік та відстань до найближчих станцій з температурно-вітровими зондуваннями.

01.01.2013 – 31.12.2013 (00:00 – 24:00) час по Грінвічу

- 1) Minsener Oog 12.05.2013 (08:30) Мінсенер Огг – Нордернай 86 км
- 2) Waddewarden 29.05.2013 (17:48) Ваддеварден – Нордернай 79 км
- 3) Reddingen 19.06.2013 (21:00) Реддінген – Берген 13 км
- 4) Frille 07.08.2013 (19:15) Фрілле – Берген 127 км
- 5) Paplitz 09.05.2013 (15:03) Папліц – Берген 207 км
- 6) Grabko 30.05.2013 (15:30) Грабко – Грайфсвальд 346 км
- 7) Ampen 11.09.2013 (18:15) Ампен – Ессен 79 км
- 8) Rodern 27.06.2013 (12:31) Редерн – Майнінген 338 км
- 9) Lockwitz 29.05.2013 (09:45) Локвіц – Майнінген 302 км
- 10) Uedorf 28.07.2013 (14:31) Юдорф – Ессен 94 км
- 11) Hangelar 20.05.2013 (15:00) Хангелар – Ессен 92 км
- 12) Burgkunstadt 13.09.2013 (16:03) Бургунштадт – Майнінген 102 км
- 13) Finthen 23.05.2013 (18:38) Фінтен - Ідар-Оберштайн 89 км
- 14) Flonheim 04.05.2013 (16:30) Флонхайм - Лінденберг 77 км
- 15) Hasloch 26.08.2013 (15:32) Хаслох – Лінденберг 16 км
- 16) Pommertsweiler 19.08.2013 (12:00) Поммертсвайлер – Штутгарт 82 км

Випадки смерчів за 2014 рік та відстань до найближчих станцій з температурно-вітровими зондуваннями.

01.01.2014 – 31.12.2014 (00:00 – 24:00) час по Грінвічу

- 1) Tarp 05.07.2014 (14:45) Тарп – Шлезвіг 23 км
- 2) Norderney 07.10.2014 (17:00) Нордернай – Нордернай 5 км
- 3) Schillig 31.08.2014 (15:35) Шіллїг – Нордернай 76 км
- 4) Eckwarderhorne 30.08.2014 (17:56) Екквардерхерне – Нордернай 96 км
- 5) Blumenhagen 11.06.2014 (11:58) Блуменхаген – Грайфсвальд 80 км
- 6) Zwenzow 11.06.2014 (11:40) Цвенцо – Грайфсвальд 102 км
- 7) Wesenberg 11.06.2014 (11:37) Везенберг – Грайфсвальд 105 км
- 8) Beckum 31.08.2014 (10:00) Беккум – Ессен 85 км
- 9) Buttstadt 11.07.2014 (14:57) Буттштедт – Майнінген 107 км
- 10) Leipzig, -Clara-Zetkin-Park 31.08.2014 (08:47) Лейпціг – Майнінген 182 км
- 11) Radeburg 26.08.2014 (14:24) Радебург – Майнінген 274 км
- 12) Neudorf 27.05.2014 (17:52) Нойдорф – Майнінген 145 км
- 13) Halbendorf 29.06.2014 (14:05) Хальбендорф – Грайфсвальд 331 км
- 14) Reichenbach in der Oberlausitz 23.08.2014 (18:30) Райхенбах – Майнінген 352 км
- 15) Echzell 10.08.2014 (18:27) Ехцелль – Лінденберг 141 км
- 16) Oppelshausen 13.07.2014 (12:16) Оппельсхойзер – Лінденберг 131 км
- 17) Bad Schwalbach 10.08.2014 (16:55) Бад-Швальбах - Ідар-Оберштайн 89 км
- 18) Heinzerath 03.06.2014 (10:00) Хайнцерат - Ідар-Оберштайн 24 км
- 19) Morbach 10.07.2014 (19:29) Морбах - Ідар-Оберштайн 19 км
- 20) Nanzweiler 06.07.2014 (18:15) Нанцвайлер - Ідар-Оберштайн 38 км
- 21) Schonenberg-Kubelberg, -Sand 06.07.2014 (18:07) Шененберг-Кюбельберг - Ідар-Оберштайн 41 км
- 22) Homburg, -Königsbruch 06.07.2014 (18:00) Хомбург - Ідар-Оберштайн 51 км
- 23) Niederwurbach 06.07.2014 (17:50) Нідервюрцбах - Ідар-Оберштайн 64 км
- 24) Sandhausen 15.08.2014 (10:37) Зандхаузен – Лінденберг 49 км
- 25) Bobing 10.09.2014 (14:15) Бебінг – Мюнхен 69 км

Випадки смерчів за 2015 рік та відстань до найближчих станцій з температурно-вітровими зондуваннями.

01.01.2015 – 31.12.2015 (00:00 – 24:00) час по Грінвічу

- 1) Mattenham 09.06.2015 (14:55) Маттенхам – Мюнхен 146 км
- 2) Dettendorf 27.06.2015 (14:02) Деттендорф – Кюммерсбрук 100 км
- 3) Seeburg 04.07.2015 (19:18) Зеебург – Грайфсвальд 197 км
- 4) Rathenow 13.06.2015 (15:25) Ратенов – Грайфсвальд 202 км
- 5) Neustadt in Holstein 09.06.2015 (8:30) Нойштадт – Шлезвіг 111 км
- 6) Karlsminde 05.07.2015 (20:20) Карлсмінде – Шлезвіг 30 км
- 7) Kaersdorf 16.08.2015 (16:05) Керсдорф – Грайфсвальд 234 км
- 8) Zeuthen 31.08.2015 (23:28) Цойтен – Грайфсвальд 220 км
- 9) Borgloh 30.08.2015 (10:00) Боргло – Ессен 129 км
- 10) Broderstorf 26.09.2015 (8:43) Бродерсторф – Грайфсвальд 81 км
- 11) Nesmersiel 22.06.2015 (17:43) Нессмерзіль – Берген 234 км
- 12) Bedburg 30.07.2015 (17:05) Бедбург – Ессен 70 км
- 13) Labbeck 22.09.2015 (15:15) Лаббек – Ессен 55
- 14) Sulz am Neckar 21.06.2015 (19:43) Зульц-на-Неккаре – Штутгарт 71 км
- 15) Modingen 09.06.2015 (16:00) Мёдінген – Штутгарт 105 км
- 16) Langenargen 06.09.2015 (09:45) Лангенарген – Штутгарт 155 км

Випадки смерчів за 2016 рік та відстань до найближчих станцій з температурно-вітровими зондуваннями.

01.01.2016 – 31.12.2016 (00:00 – 24:00) час по Грінвічу

- 1) Busum 23.09.2016 (10:00) Бюзум – Шлезвіг 74 км
- 2) Friedebach 04.09.2016 (16:50) Фрідебах – Майнінген 92 км
- 3) Heyda 04.09.2016 (16:00) Хейда – Майнінген 51 км
- 4) Heinrichswinkel 05.08.2016 (14:40) Хайнріхсвінкель – Мюнхен 85 км
- 5) Weira 04.09.2016 (16:55) Вайра – Майнінген 107 км
- 6) Thiessow 01.08.2016 (12:43) Тіссов – Грайфсвальд 66 км
- 7) Fuhlendorf 04.09.2016 (17:15) Фулендорф – Грайфсвальд 70 км
- 8) Ostseebad Heiligendamm 09.08.2016 (08:12) Хайлігендамм – Грайфсвальд 116 км
- 9) Westermarkelsdorf 31.07.2016 (20:30) Вестермаркельсдорф – Шлезвіг 147 км
- 10) Ostseebad Wustrow 01.08.2016 (17:00) Вустров – Грайфсвальд 89 км
- 11) Seeheilbad Graal-Muritz 01.08.2016 (17:25) Грааль-Мюріц – Грайфсвальд 84 км
- 12) Sahlenburg 06.08.2016 (07:30) Заленбург – Берген 167 км
- 13) Helgoland 19.08.2016 (07:25) Хельголанд – Шлезвіг 140 км
- 14) Staberdorf 02.08.2016 (09:15) Штабердорф – Шлезвіг 144 км
- Brunsbüttel 06.08.2016 (08:12) Брунсбюттель – Шлезвіг 88 км

Випадки смерчів за 2017 рік та відстань до найближчих станцій з температурно-вітровими зондуваннями.

01.01.2017 – 31.12.2017 (00:00 – 24:00) час по Грінвічу

- 1) Garatshausen 02.09.2017 (13:56) Гаратсхаузен – Мюнхен 37 км
- 2) Dettingen am Albuch 03.09.2017 (10:58) Деттінген – Мюнхен 137 км
- 3) Oldersum 09.09.2017 (16:40) Ольдерзум – Берген 206 км
- 4) Voslapp 14.07.2017 (16:16) Фослапп – Берген 182 км
- 5) Toppel 22.06.2017 (12:45) Теппель – Берген 186 км
- 6) Korbecke 25.07.2017 (16:04) Кербекке – Ессен 85 км
- 7) Friedrichskoog-Spitze 25.08.2017 (04:00) Фрідріхског-Шпітце – Шлезвіг 89 км
- 8) Bornhoved 09.06.2017 (14:12) Борнхефед – Шлезвіг 83 км
- 9) Helgoland 20.08.2017 (07:45) Хельголанд – Шлезвіг 140 км
- 10) Waabs 20.08.2017 (12:58) Вабс – Шлезвіг 34 км
- 11) Oland 19.08.2017 (06:17) Оланд – Шлезвіг 70 км
- 12) Ostseebad Binz 23.08.2017 (09:55) Бінц – Грайфсвальд 54 км

Випадки смерчів за 2018 рік та відстань до найближчих станцій з температурно-вітровими зондуваннями.

01.01.2018 – 31.12.2018 (00:00 – 24:00) час по Грінвічу

- 1) Bad Freienwalde 25.08.2018 (12:40) Бад-Фрайенвальде – Грайфсвальд 179 км
- 2) Ostseebad Kuhlungsborn 25.08.2018 (15:40) Кюлунгсборн – Грайфсвальд 119 км
- 3) Boenheim 16.05.2018 (15:55) Бойсхайм – Ессен 60 км
- 4) Wolfen 05.04.2018 (14:55) Вольфен – Майнінген 203 км
- 5) Großen-Linden 24.05.2018 (14:05) Лінден – Майнінген 143 км
- 6) Rarin 13.08.2018 (13:50) Рэрин – Ессен 73 км
- 7) Bissingen 12.06.2018 (10:20) Бітгхайм-Биссінген – Штутгарт 23 км
- 8) Stottham 14.06.2018 (04:55) Штеттхам – Мюнхен 85 км
- 9) Ostseebad Prerow 25.08.2018 (15:47) Преров – Грайфсвальд 80 км
- 10) List auf Sylt 25.08.2018 (16:00) Ліст – Шлезвіг 134 км

Випадки смерчів за 2019 рік та відстань до найближчих станцій з температурно-вітровими зондуваннями.

01.01.2019 – 27.10.2019 (00:00 – 24:00) час по Грінвічу

- 1) Dagebull 28.09.2019 (16:00) Дагебюль – Шлезвіг 68 км
- 2) Herrenkoog 29.09.2019 (10:30) Херренког – Шлезвіг 63 км
- 3) Stolk 08.08.2019 (16:05) Штольк – Шлезвіг 11 км
- 4) Schobull bei Husum 07.09.2019 (11:30) Шобюль – Шлезвіг 40 км
- 5) Seeth 08.09.2019 (16:00) Зет – Шлезвіг 38 км
- 6) Ludingworth 02.08.2019 (09:32) Людингворв – Шлезвіг 127 км
- 7) Burhaffe 28.09.2019 (15:55) Бурхафе – Нордернай 53 км
- 8) Bulow 31.07.2019 (13:40) Бюлов – Грайфсвальд 138 км
- 9) Birkholz 31.07.2019 (18:05) Біркхольц – Грайфсвальд 185 км
- 10) Wuschewier 12.07.2019 (15:47) Вушевір – Грайфсвальд 197 км
- 11) Beesten 28.09.2019 (15:11) Бестен – Ессен 126 км
- 12) Herkensen 16.06.2019 (10:44) Херкензен – Берген 95 км
- 13) Wolfenbittel 16.06.2019 (14:10) Вольфенбюттель – Берген 88 км
- 14) Bocholt 04.06.2019 (21:10) Бохольт – Ессен 59 км
- 15) Eggeroder Brunnen 20.07.2019 (17:57) Еггередер Бруннен – Майнінген 161 км
- 16) Korner 20.06.2019 (10:32) Кернер – Майнінген 86 км
- 17) Liebstedt 16.06.2019 (10:38) Лібштедт – Майнінген 99 км
- 18) Tauscha 12.06.2019 (13:40) Тауша – Майнінген 190 км
- 19) Rennersdorf-Neudorf 01.09.2019 (16:10) Реннерсдорф – Майнінген 261 км
- 20) Mulda 11.06.2019 (19:08) Мульда – Майнінген 243 км
- 21) Much 31.07.2019 (14:40) Мух – Ессен 85 км
- 22) Troisdorf 31.07.2019 (14:30) Тройсдорф – Ессен 82 км
- 23) Naunheim 12.07.2019 (11:58) Наунхайм – Ессен 157 км
- 24) Buches 09.10.2019 (13:39) Бюхес – Майнінген 119 км
- 25) Bobenheim 12.07.2019 (14:41) Бобенхайм-ам-Берг – Лінденберг 19 км