

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий  
гідрометеорологічний інститут

Кафедра метеорології та кліматології

**Кваліфікаційна робота магістра**

на тему: Процеси туманоутворення на АМСЦ Ужгород

Виконав студент 2 курсу групи МЗМ-20  
Спеціальності 103 «Науки про Землю»  
Освітня програма  
«Метеорологія і кліматологія»  
Гелетій Ірина Юріївна

Керівник к. геогр. н., доцент  
Семергей-Чумаченко Аліна Борисівна

Рецензент д.геогр.н., професор  
Ляшенко Галина Віталіївна

Одеса 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий гідрометеорологічний інститут  
Кафедра \_\_\_\_\_ метеорології та кліматології  
Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ магістр  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 103 «Науки про Землю»  
(шифр і назва)  
Освітня програма \_\_\_\_\_ Метеорологія та кліматологія  
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
метеорології та кліматології \_\_\_\_\_  
Прогоф'єв О.М.  
“28” жовтня 2021 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Гелетій Ірині Юріївні  
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи Процеси туманоутворення на АМСЦ Ужгород  
керівник роботи Семергей-Чумаченко Аліна Борисівна к. геогр. н., доц.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом закладу вищої освіти від 18 жовтня 2021 року № 216-С
- Строк подання студентом роботи 13 грудня 2021 року
- Вихідні дані до роботи 1. Електронні щоденики метеорологічних спостережень з 1991 по 2020 рр. на АМСЦ Ужгород. 2. Дані Кліматичного кадастру України. 3. Аеросиноптичні матеріали
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Систематизація наукової літератури за напрямком дослідження. 2. Формування масиву вихідної інформації щодо утворення туману у 1991-2020 рр. на АМСЦ Ужгород. 3. Визначення режимних характеристик туману: повторюваності, характеристик видимості та ходу метеовеличин при тумані. 4. Порівняння результатів дослідження з кліматичним періодом 1991-2020 рр. 5. Визначення циркуляційних умов формування сильних туманів в Ужгороді
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) - Рис. 1.1–1.3 – режим утворення туманів у 1961-1990 рр.; Рис. 1.4–1.5 – спостереження за видимістю при метеорологічному обслуговуванні авіації; Рис. 2.1–2.5 – повторюваність та температурно-вітрову умови формування туману на АМСЦ Ужгород у 1991-2020 рр.; рис. 3.1-3.32 – аеросиноптичні матеріали, супутникові карти

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	немає		

7. Дата видачі завдання 28 жовтня 2021 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	<i>Вивчення літературних джерел за темою дослідження</i>	28.10-04.11.21	90	відмінно
2.	<i>Збір та попередня обробка вихідної інформації, складання бази даних до дослідження</i>	05-15.11.21	90	відмінно
3.	<i>Визначення режиму туманів на АМСЦ Ужгород у 1991-2020 рр., порівняння з попереднім кліматичним періодом.</i>	16-21.11.21	90	відмінно
4.	<i>Рубіжна атестація</i>	22-26.11.21	90	відмінно
5.	<i>Встановлення сучасного температурно-вітрового режиму туманоутворення</i>	27-30.11.21	90	відмінно
6.	<i>Характеристика циркуляційних умов виникнення сильних туманів на АМСЦ Ужгород</i>	01-09.12.21	90	відмінно
7.	<i>Підведення підсумків та підготовка рукопису до друку</i>	10-12.12.21	90	відмінно
8.	<i>Оформлення і надання керівникові роботи для складання висновку і перевірки на антиплагіат</i>	13.12.21	90	відмінно
9.	<i>Перевірка на антиплагіат, складання протоколу</i>	14-16.12.21	90	відмінно
10.	<i>Складання висновку та підписання авторського договору</i>	17-20.12.21	90	відмінно
11.	<i>Підготовка комп'ютерної презентації та доповіді до захисту магістерської роботи</i>	21-26.12.21	90	відмінно
12.	<b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>		<b>90</b>	<b>відмінно</b>

Студент

\_\_\_\_\_ Гелетій І.Ю.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ Семергей-Чумаченко А.Б.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## Анотація

**Тема:** «Процеси туманоутворення на АМСЦ Ужгород»

**Автор:** Гелетій Ірина Юріївна

**Актуальність** визначення поточного режиму та умов утворення туману на аеродромі, а також надання рекомендацій щодо його прогнозування зумовлена значним ускладненням умов польоту повітряного судна, навіть із заборонаю зльоту та посадки в умовах сильного туману.

**Метою роботи** є визначення сучасного режиму туманів, метеорологічних та циркуляційних та умов, що сприяли їх виникненню на АМСЦ Ужгород з 1991 по 2020 рр.

Відповідно до поставленої мети були розв'язані наступні **задачі**:

- визначена повторюваність утворення туману на АМСЦ Ужгород;
- встановлені характеристики видимості і тривалості туману;
- виявлені особливості температурного і вітрового режиму при туманах;
- визначені відмінності сучасного режиму туманоутворення на АМСЦ Ужгород у порівнянні з 1961-1990 рр.;
- встановлені циркуляційні умови формування сильного туману на АМСЦ Ужгород у 2011-2020 рр.

**Об'єкт дослідження** –туман на АМСЦ Ужгород.

**Предмет дослідження** – характеристики режиму, метеорологічні та циркуляційні умови формування туману на АМСЦ Ужгород.

**Методи дослідження** – просторово-тимчасове узагальнення даних; синоптичний аналіз.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

В цій роботі *вперше* для АМСЦ Ужгород:

- встановлені повторюваність, річний та добовий хід утворення та тривалості туманів на АМСЦ Ужгород в 1991-2020 рр.
- визначений температурно-вітровий режим виникнення туманів;
- виявлені сучасні синоптичні умови формування сильних туманів.

**Практичне значення отриманих результатів** - характеристика поточних умов виникнення туману буде використана для уточнення прогностичних методик та покращення якості метеорологічного обслуговування польотів у міжнародному аеропорту Ужгород.

Кваліфікаційна робота магістра в обсязі 58 сторінок складається з 3 розділів, висновків, переліку посилань з 25 джерел, містить 43 рисунки та 4 таблиці.

**Ключові слова:** тумани, видимість, повторюваність, тривалість туманів, сильний туман, температурно-вітрові характеристики, синоптична ситуація.

## SUMMARY

**Thesis Topic:** «Fogging processes at aeronautical meteorological station Uzhgorod»

**Author:** Heletiy Iryna

**The urgency** of determining the current regime and conditions of fog formation at the aerodrome, as well as providing recommendations for its forecasting is due to the significant complication of flight conditions of aircraft, even to the prohibition of takeoff and landing in heavy fog.

**The aim of the thesis** is to determine the current regime of fogs, meteorological and circulating conditions that contributed to their emergence at the Uzhhorod aeronautical meteorological station from 1991 to 2020.

In accordance with the set goal, the following **tasks** were solved:

- determined the frequency of fog formation at aeronautical meteorological station Uzhhorod;
- established characteristics of visibility and duration of fog;
- detected features of temperature and wind mode at fogs;
- determined differences in the current regime of fog formation at the Uzhhorod in comparison with 1961-1990;
- established circulating conditions for the formation of heavy fog at the aeronautical meteorological station Uzhhorod in 2011-2020.

**The object of the study** is the fog at aeronautical civil meteorological station Uzhgorod.

**The subject of research** - the characteristics of the regime, meteorological and circulating conditions of fog formation at aeronautical meteorological station Uzhgorod.

**Research methods:**

- Spatial-temporal generalization of meteorological information data
- Synoptic analysis

**Scientific novelty of results obtained.**

In this work for the first time for the aeronautical meteorological station Uzhgorod:

- established the frequency, annual and daily course of fog formation aeronautical meteorological station Uzhgorod in the period 1991-2020;
- determined temperature and wind regime of fog occurrence;
- detected modern synoptic conditions of fog formation.

**The practical significance of the obtained results** - the characteristics of the current conditions of fog will be used to refine forecasting methods, to improve the quality of meteorological services at Uzhgorod International Airport.

The 58-page master's thesis consists of 3 sections, conclusions, a list of references from 25 sources, contains 43 figures and 4 tables.

**Keywords:** fogs, visibility, recurrence, duration of fogs, temperature-wind characteristics, synoptic situation.

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Режим формування туманів над Україною .....	8
1.1 Загальні відомості про утворення туману .....	8
1.2 Географічний розподіл туманів над Україною .....	11
1.3 Тривалість туманів різного походження у 1961-1990 рр.....	14
1.4 Визначення дальності видимості на авіаційних метеорологічних станціях .....	16
2 Характеристика режиму утворення туману на АМСЦ Ужгород.....	20
2.1 Короткий опис рельєфу та клімату Закарпатської області та Ужгорода .....	20
2.2 Повторюваність та тривалість туману на АМСЦ Ужгород.....	21
2.3 Температурно-вітровий режим при тумані на АМСЦ Ужгород у 2011-2020 рр.....	26
2.4 Режим та метеорологічні умови утворення сильного туману в Ужгороді у 2011-2020 рр.....	27
3 Синоптичні умови туманоутворення на АМСЦ Ужгород.....	30
3.1 Загальна відомості про баричне поля, що сприяє виникненню туманів .....	30
3.2 Синоптичні та метеорологічні умови формування туману в Ужгороді 4 листопада 2020 р.....	32
3.3 Аналіз синоптичних умов утворення туману в Ужгороді з 6 по 11 листопада 2018 р. ....	36
3.4 Характеристика макроциркуляції та зворотних траєкторій переносу повітряних мас за наявності сильного туману в Ужгороді у 2011-2020 рр.....	38
Висновки .....	55
Перелік посилань .....	56
Додаток А.....	58

## ВСТУП

Туман – це скупчення завислих у приземному шарі атмосфери крапель води або кристалів льоду, яке погіршує горизонтальну видимість на відстані до 1 км [4, 5, 12, 15]. Тумани належать до числа найбільш небезпечних явищ погоди. Раптовість їхнього виникнення і значна тривалість є серйозною перешкодою для роботи транспорту взагалі, а надто авіації: затримуються і відмінюються авіарейси, ускладнюється функціонування залізничного, річково-морського транспорту, зупиняється рух на автострадах та ін.

Актуальність визначення сучасного режиму та умов утворення туману на аеродромі, а також надання рекомендацій щодо його прогнозування обумовлена суттєвим ускладненням польотних умов повітряних суден, навіть до заборони злету та посадці при сильному тумані. Незважаючи на широке використання посадкових систем [5], посадка літака наосліп є складною операцією, тому безпечний зліт і, особливо, посадка можливі лише при певних високих значеннях видимості.

Тумани різного походження спостерігаються повсюди, однак вірогідність попадання в сильний туман в польоті суттєво залежить від широти місцевості, особливостей орографії, сезону і характеру атмосферних процесів. Найбільш небезпечні для авіації адвективні тумани через значну тривалість та вертикальну потужність, а також відсутність добового ходу.

На заході України важливу роль у виникненні туману відіграє орографічний фактор. В Українських Карпатах спостерігається найбільше число днів з туманом [7-10], при цьому на підвітряній стороні гір та височин повторюваність туману значно зменшується.

Згідно [13] туман є стихійним метеорологічним явищем при видимості  $<100$  м за інтервал часу  $\geq 12$  год, і небезпечним явищем при видимості  $\leq 500$  м і тривалості  $>3$  год.

Метою роботи є визначення сучасного режиму туманів, метеорологічних та циркуляційних та умов, що сприяли їх виникненню на АМСЦ Ужгород з 1991 по 2020 рр.

Кваліфікаційна магістерська робота складається з вступу, трьох розділів, висновків та переліку посилань та додатку.

Перший розділ містить у собі загальну інформацію про утворення туманів, їх просторово-часовий розподіл над Україною та сприятливі метеорологічні умови.

Другий розділ складається з характеристики пункту дослідження, повторюваності туманів та метеорологічних умов їх формування.

У третьому розділі визначаються циркуляційні умови утворення сильного туману (50-100 м) на АМСЦ Ужгород.

У висновках представлені результати виконаної роботи.

Перелік посилань складається з 25 літературних джерел.

Кваліфікаційна магістерська робота виконана на кафедрі метеорології та кліматології ОДЕКУ під керівництвом к.геогр.н., доц. Семергей-Чумаченко А.Б. у рамках науково-дослідної роботи «Розробка та вдосконалення методів прогнозу небезпечних та стихійних метеорологічних явищ над Україною» (2020-2024 рр.) ДР № 0120U100487.



# 1 РЕЖИМ ФОРМУВАННЯ ТУМАНІВ НАД УКРАЇНОЮ

## 1.1 Загальні відомості про утворення туману

Повітря часто буває змутнілим внаслідок наявності в ньому різних домішок і дрібних продуктів конденсації. Домішки розсіюють світло яке проходить і призводять до погіршення видимості. Якщо помутніння повітря невелике (дальність видимості 1-10 км), воно називається серпанком.

Помутніння викликають мікроскопічні частинки — краплі (або кристали) і порошинки. Помутніння на високих рівнях надає небу білувате забарвлення. Зазвичай серпанок спостерігається біля земної поверхні. Звідси він поширюється на більш або менш значну висоту вгору. Серпанок послаблює фарби ландшафту і зменшує дальність видимості, тобто відстань, на якому відрізнити обриси предметів. Якщо діаметр розсіюючих частинок менше довжини світлових хвиль (радіус — десятки частки мікрометра), то серпанок забарвлює віддалені предмети в синій колір, якби огортає їх блакитною вуаллю. Білим або тим які світяться віддаленим предметам (диск сонця, хмари, снігові гори) вона надає жовтувате забарвлення. Таке помутніння називається опалесцюючим. При більш значних розмірах розсіюючих частинок серпанок приймає білястий або сіруватий відтінок.

При більш великих продуктах конденсації і при більшій їх концентрації біля земної поверхні дальність видимості може стати менше 1 км. В таких випадках говорять вже не про серпанок, а про туман.

Туман - атмосферне явище, що полягає в скупченні продуктів конденсації, завислих в повітрі безпосередньо над земною поверхнею. Виникає внаслідок охолодження повітря від земної поверхні чи випаровування з теплої води.

При додатних температурах туман складається з крапель. При не дуже низьких негативних температурах він також складається з переохолоджених крапель. Тільки при температурах близько  $-10^{\circ}\text{C}$  і нижче в тумані разом з краплями з'являються кристали, і він стає змішаним [15]. При дуже низьких температурах туман може бути цілком кристалічним; однак спостерігалися випадки крапельно-рідкого туману навіть при температурах нижче  $-30^{\circ}\text{C}$ .

Залежно від дальності видимості розрізняють такі види туманів і серпанку (за інтенсивністю):

- сильний туман < 100 м;
- помірний туман 100–400 м;
- слабкий туман 500–900 м;
- сильний серпанок 1–2 км;
- помірний серпанок 2–4 км;
- слабкий серпанок 4–9 км.

Тумани в населених пунктах бувають частіше, ніж удалині від них. Цьому сприяє підвищений вміст гігроскопічних ядер конденсації (пилу, сажі тощо) у міському повітрі. Тумани перешкоджають нормальній роботі всіх видів транспорту, тому прогноз туманів має велике народногосподарське значення. Штучне створення туманів використовується при наукових дослідженнях, у хімічній промисловості, теплотехніці й інших областях.

За способом утворення тумани поділяються на два види:

- тумани охолодження — утворюються через конденсацію водяної пари при охолодженні повітря нижче точки роси;
- тумани випаровування — є випарами з теплішої поверхні, що випаровує, у холодне повітря над водоймами й вологими ділянками суші.

Крім того тумани розрізняють за синоптичними умовами утворення:

- внутрішньомасові — що формуються в однорідних повітряних масах.
- фронтальні — що утворюються на границях атмосферних фронтів.

Внутрішньомасові тумани переважають у природі, як правило вони є туманами охолодження. Їх так само прийнято розділяти на кілька типів:

Радіаційні тумани — тумани, що з'являються в результаті радіаційного охолодження земної поверхні й маси вологого приземного повітря до точки роси [5]. Звичайно радіаційний туман виникає вночі в умовах антициклону при безхмарній погоді й легкому бризі. Часто радіаційний туман виникає в умовах температурної інверсії, що перешкоджає підйому повітряної маси. Після сходу сонця радіаційні тумани звичайно швидко розсіюються. Однак у холодну пору року в стійких антициклонах вони можуть зберігатися й удень, іноді багато діб поспіль. У промислових районах може виникнути крайня форма радіаційного туману - смог.

Адвективні тумани — утворюються внаслідок охолодження теплого вологого повітря при його русі над холоднішою поверхнею суші або води.

Їхня інтенсивність залежить від різниці температур між повітрям і поверхнею, що підстилає, і від вологовмісту повітря. Ці тумани можуть розвиватися як над морем, так і над сушею й охоплювати величезні простори, в окремих випадках до сотень тисяч км<sup>2</sup>. Адвективні тумани звичайно бувають при похмурій погоді й найчастіше в теплих секторах циклонів. Адвективні тумани стійкіші, ніж радіаційні, і часто не розсіюються вдень.

Морський туман — адвективний туман, що виник над морем у ході переносу холодного повітря на теплу воду. Цей туман є туманом випаровування. Тумани такого типу часті, наприклад, в Арктиці, коли повітря попадає з льодового покриву на відкриту поверхню моря.

Фронтальні тумани утворюються поблизу атмосферних фронтів і переміщуються разом з ними. Насичення повітря водяною парою відбувається внаслідок випару опадів, що випадають у зоні фронту. Деяку роль у посиленні туманів перед фронтами грає падіння атмосферного тиску, що спостерігається тут і створює невелике адіабатичне зниження температури повітря. До туманів також відносяться так називані сухі тумани (помоха, імла), у цих туманах частками є не вода, а дим, кіптява, пил і так далі.

Найчастішою причиною сухих туманів є дим лісових, торф'яних або степових пожеж, степовий лесовий або піщаний пил, що піднімають і стерпні вітром іноді на значні відстані, а також викиди промислових підприємств.

Нерідкий й перехідний щабель між сухими й вологими туманами — такі тумани складаються з водяних часток разом з досить більшими масами пилу, диму й кіптяви. Це — так звані брудні, міські тумани, що є наслідком присутності в повітрі великих міст маси твердих часток, що викидають при топленні димовими, а ще більшою мірою — фабричними трубами.

Показник водність туману використовується для характеристики туманів, він позначає загальну масу водяних крапельок в одиниці об'єму туману. Водність туманів звичайно не перевищує 0,05-0,1 г/м<sup>3</sup>, але в окремих щільних туманах може досягати 1-1,5 г/м<sup>3</sup> [15]. Відносна вологість повітря при туманах зазвичай близька до 100 % (принаймні, перевищує 85-90 %).

Крім водності на прозорість туману впливає розмір часток, що його утворюють. Радіус крапель туману звичайно коливається від 1 до 60 мкм. Більшість же крапель має радіус 5-15 мкм при позитивній температурі повітря й 2-5 мкм при негативній температурі.

При прогнозі всіх видів туману необхідно визначити наявність таких факторів їх утворення:

- а) синоптичні умови, напрямок і швидкість потоків біля поверхні землі;
- б) кількість хмарності, що очікується наступної ночі - ясно чи хмарно;
- в) характер стратифікації, наявність приземних або піднесених інверсій за даними радіозондування і прогностичною кривою стратифікації;
- г) наявність і знак адвекції температури;
- д) орографічні особливості пункту прогнозу;
- ж) стан підстильної поверхні, як джерела вологи.

## 1.2 Географічний розподіл туманів над Україною

В Україні туман відмічається досить часто і повсюди. З року в рік їх повторюваність змінюється. Влітку спостерігаються переважно радіаційні тумани, які найгустіше о 4-6-й годині, розсіюються між 6.00-ю і 10-ю годинами, поновлюються о 18-20-й годині. Взимку частіше бувають адвективні, їх добовий хід більш вирівняний. В Українських Карпатах, Кримських горах, на Донецькій і Приазовській височинах середньорічне число днів з туманами становить 80-100.

Велика повторюваність туманів притаманна Передкарпатській, Волинській, Подільській, Придніпровській височинам, де протягом року фіксується 60-90 днів з туманом. Найменше туманів буває на Поліській, Придніпровській, Закарпатській, Причорноморській низовинах: від 30-50 до 60-80 днів щорічно (рис. 1.1).

Число днів з туманом в окремі роки може різко відхилитися від середнього значення. У переважній більшості випадків (50-70 %) відхилення від середнього значення становить 9 днів, а в 2-3% — понад 30 днів. На території України у середньому буває 240 днів за рік, коли спостерігається туман принаймні на одній станції.

Повторюваність туману має чіткий річний хід. На більшій частині території максимум туману (80-85 %) припадає на зимові місяці (грудень - січень), а в окремих районах — другий максимум у квітні-травні.

У високогірних районах Українських Карпат найчастіше туман спостерігається у грудні - січні, на Донецькій і Приазовській височинах —

листопаді - березні, Волинській, Подільській і Придніпровській височинах — листопаді-січні. Плавний річний хід туману відмічається у північних та західних районах, де частота його збільшується з жовтня - листопада і досягає максимуму у грудні — січні. Влітку повторюваність туману на всіх станціях України мінімальна [7, 8, 11].

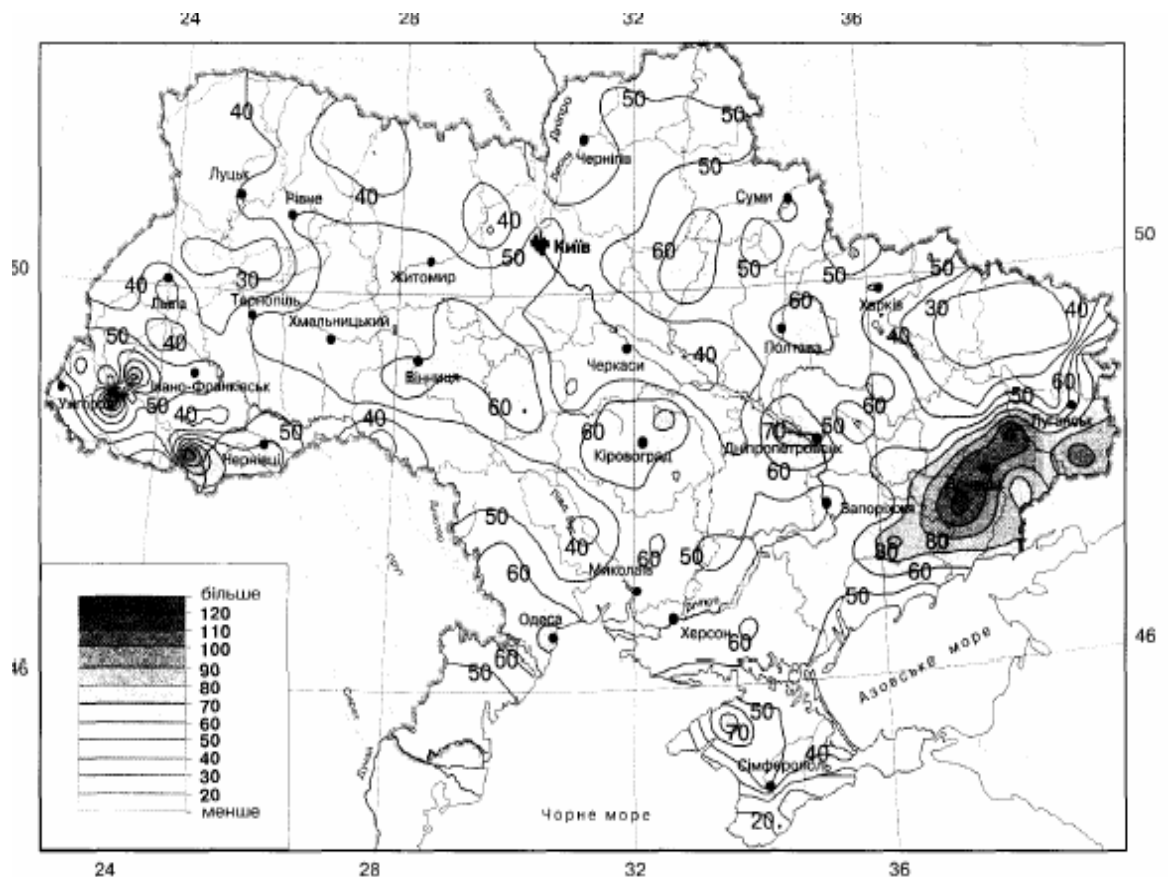


Рисунок 1.1 - Середнє число днів з туманами за рік [7]

Полісся, прибережні території великих водойм та підвітряні схили гір і височин мають аналогічний річний хід. На Південному березі Криму найчастіше туман буває у квітні - травні, листопаді - грудні, найрідше — у серпні, січні та лютому.

Існує залежність між числом днів з туманом та висотою місцевості. Вертикальний градієнт числа днів з туманом до висоти 500 м становить 30 днів на кожні 100 м висоти, до 1500 м — 10-15 днів, а вище — він істотно зменшується.

Число днів з туманом в окремі роки може різко відхилитися від середнього значення. У переважній більшості випадків (50-70%) відхилення від середнього значення становить 9 днів, а в 2-3% — понад 30 днів.

За 30-річний період спостережень (1961-1990 рр.) в Українських Карпатах (Плай) середнє число днів з туманом становить 237, найбільше (270) було зареєстровано у 1980 р., а найменше (189) – у 1969 р.

Туман утворюється у будь-яку годину доби, але найчастіше виникає у нічні та ранкові години, коли посилюється вплив радіаційного фактору (рис. 1.2). На рівнині добовий хід туману чітко виражений у теплу пору року та більш згладжений зимою. Особливо це простежується за радіаційного туману. Туман виникає вночі, досягаючи найбільшої інтенсивності вранці під час зниження температури повітря до мінімальних значень й підвищення відносної вологості повітря до максимальних значень та розсіюється після сходу Сонця.

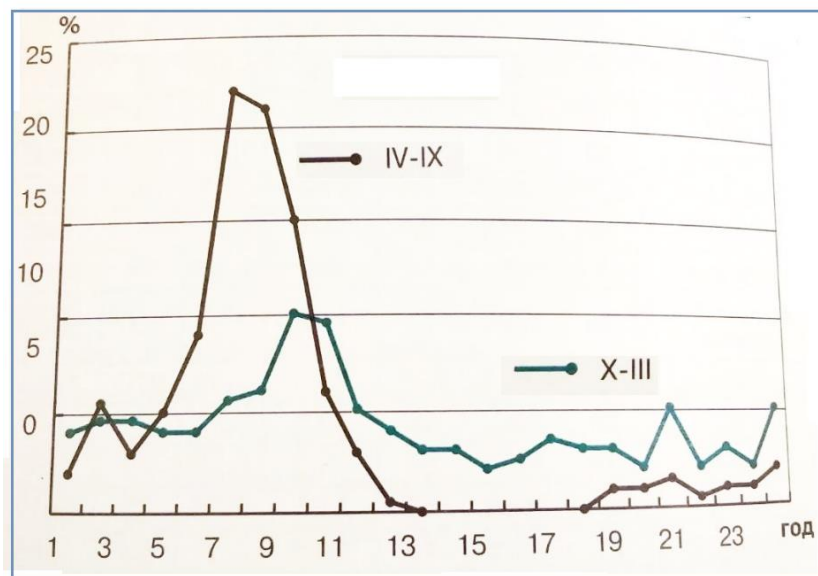


Рисунок 1.2 - Добовий хід повторюваності (%) туману у холодне та тепле півріччя 1961-1990 [7]

Адвективний туман, характерний для холодного періоду року, може формуватися протягом доби у будь-яку годину, а тому має більш згладжений добовий хід. За наявності снігового покриву добовий хід туману виражений не чітко. Найбільша сумарна тривалість туману за рік відмічається у тих районах, де туман виникає найчастіше. У Кримських горах та Українських Карпатах середня тривалість туману становить 2000-3000 год, на височинах – 500-600, на рівнинах – 300-400 год. Менше 200 год тривалість туману буває на північному сході та Закарпатській низовині, а на Південному березі Криму –

менше 70 год за рік. Максимальна повторюваність туману на значній території спостерігається тоді, коли видимість менша або дорівнює 200 м.

На виникнення туману істотно впливає напрям та швидкість вітру. На рівнинній частині максимум повторюваності туману відмічається під час південно-східного вітру (26 %), а мінімум припадає на північно-західний (3%).

### 1.3 Тривалість туманів різного походження у 1961-1990 рр.

Найбільша сумарна тривалість туману за рік відмічається у тих районах, де туман виникає найчастіше. У Кримських горах та Українських Карпатах середня тривалість туману становить 2000-3000 год., на височинах — 500-600, на рівнинах — 300-400 год. Менше 200 год. тривалість туману буває на північному сході та Закарпатській низовині, а на Південному березі Криму — менше 70 год за рік.

Найтриваліші тумани спостерігаються в Українських Карпатах у листопаді - грудні (375-438 год.), Криму у грудні - січні (281-300 год.), на Придніпровській височині у листопаді - грудні (107-133 год.), Придніпровській низовині у грудні - січні (97-93 год.). Кожний район має свої особливості (циркуляційні, орографічні, територіальні тощо) як у розподілі числа днів з туманом, так і в їх тривалості.

Туман з видимістю 50 м та менше відмічається рідко (1-2 випадки за рік), але у приморських районах, наприклад в Одесі, туман з такою видимістю повторюється у 18 % внаслідок впливу Чорного моря. У районі Донецька та Дніпропетровська такі тумани спостерігаються у 7-8 %, що пояснюється підніманням по схилу теплого вологого повітря з півдня та опусканням нижньої межі низької хмарності.

Видимість під час туману змінюється протягом всього періоду його наявності. Із збільшенням інтенсивності туману збільшується його тривалість (рис. 1.3), з видимістю у тумані менше 100 м середня тривалість дорівнює 10 год і максимальна повторюваність припадає на той же інтервал, причому загальна тривалість такого туману може бути понад 24 год. Туман з мінімальною видимістю 100-200 м продовжується до 4 год., а його максимальна тривалість не перевищує 20 год., тоді як при видимості понад 500 м туман триває у середньому 1-2 год.

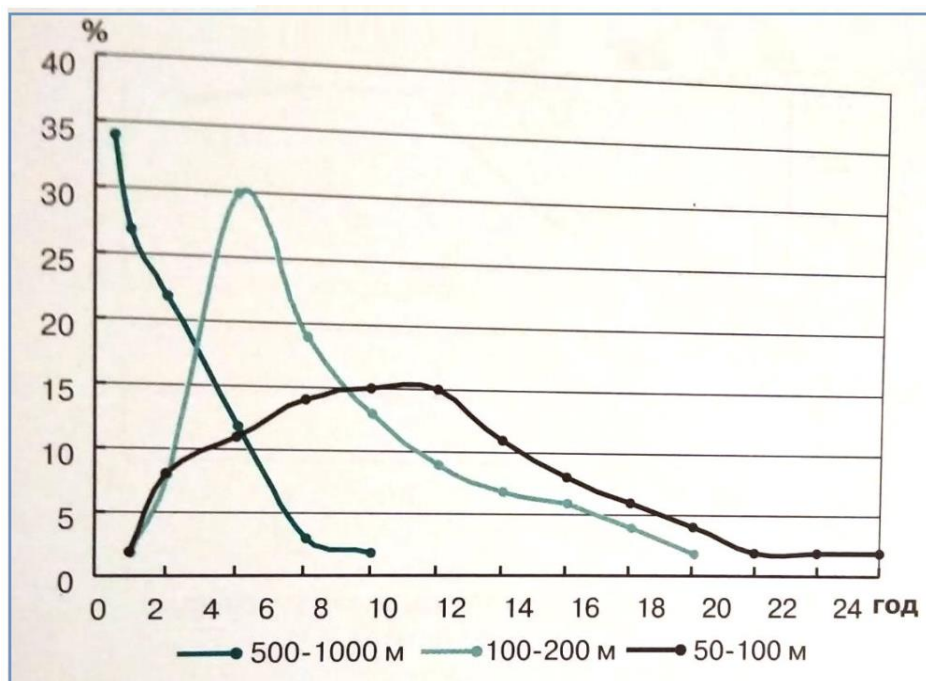


Рисунок 1.3 - Повторюваність (%) тривалості (год.) туману за різної видимості [7]

Середня тривалість туману в день з туманом на всій території становить близько 7 год і, як і число днів з туманом, характеризується значною мінливістю – від 5 до 15 год.

Найтриваліші тумани бувають в горах, у середньому за день – від 9 до 15 год. У теплий період року, крім високогірних районів, переважають короточасні тумани тривалістю до 5 год, а в холодний – від 5 до 9 год.

Тривалість радіаційного туману в день з туманом коливається у межах від 1 год і менше до 6 год, адвективного – від 4 до 12 год, в окремих випадках – понад добу. Тривалість туману залежить у першу чергу від його інтенсивності (дальність видимості). Туман, за якого мінімальна видимість 100 м і менше, тривалістю 12 год. вважається стихійним явищем, а з видимістю менше 500 м та тривалістю понад 3 год – небезпечним.

Під впливом орографії у Сімферополі найчастіше туман спостерігається під час північно-східного (близько 50 %) і південно-західного (20 %) вітру, а у Львові – західного (30 %). В Українських Карпатах та Кримських горах напрям вітру визначається положенням станцій відносно гірських долин та хребтів. Незалежно від напрямку вітру незначне турбулентне



перемішування сприяє утворенню туману, а посилений турбулентний обмін призводить до його розсіювання. Для виникнення туману найсприятливіший вітер, швидкість якого менше 3-4 м/с.

Отже, за повторюваністю та тривалістю туману на території України можна виділити такі райони:

- Українські Карпати і Кримські гори, що характеризуються найбільшою частотою туману: середнє число днів з туманом за рік становить 121-230 (Українські Карпати), та – 185 (Кримські гори), середня тривалість у день з туманом – 9-15 год, а сумарна тривалість туману за рік – 1000-3000 год;

- Донецька, Приазовська, Волинська, Подільська, Придніпровська та відроги Середньоросійської височини, де середнє число днів з туманом за рік коливається від 60-70 до 100 днів, середня тривалість у день з туманом – 7-8 год, а сумарна тривалість – 500-600 год;

- низовини, де середнє число днів з туманом за рік дорівнює 40-50, середня тривалість у день з туманом – 5-7 год, а сумарна тривалість туману – близько 200 год;

- узбережжя Чорного та Азовського морів, підвітряні схили гір та височин, де середнє число днів з туманом – 10-20, середня тривалість у день з туманом – 4-5 год, а сумарна тривалість туману за рік – 70 год.

Туман триває до того часу, доки туманоутворювальні чинники переважають над одночасно діючими туманорозсіювальними або перебувають з ними у рівновазі.

#### 1.4 Визначення дальності видимості на авіаційних метеорологічних станціях

Атмосферна видимість - горизонтальна видимість, яка визначається метеорологічною службою за допомогою технічних засобів або візуально за орієнтирами видимості [2]. Видимість з авіаційною метою – це найбільша з наступних величин [1]:

- а) найбільша відстань, на якій можна відрізнити й розпізнати чорний об'єкт прийнятних розмірів, розташований поблизу землі, при його спостереженні на світлому фоні;

б) найбільша відстань, на якій можна відрізнити й розпізнати вогні силою світла приблизно 1000 кандел на неосвітленому фоні.

Ці дві відстані мають різні значення в повітрі із заданим коефіцієнтом поглинання, причому:

а) характеризується метеорологічною оптичною дальністю видимості (MOR);

б) залежить від освітленості фону.

MOR (meteorological optical range) – довжина шляху світового потоку в атмосфері, необхідна для зменшення цього потоку в паралельному пучку променів від лампи розжарювання з колірною температурою 2700К до 0,05 його початкового значення.

Видимість вертикальна – максимальна відстань від поверхні землі до рівня, із якого вертикально униз видно об'єкти на земній поверхні.

Переважаюча видимість – найбільше значення видимості, що спостерігається відповідно до визначення «видимість», та яке досягається в межах принаймні половини лінії горизонту або в межах принаймні половини поверхні аеродрому.

Ці зони можуть включати суміжні або не суміжні сектори. Значення переважаючої видимості визначається за допомогою інструментальних систем

Зведення SPECI складаються у випадках, коли зміни метеорологічних елементів або умов погоди відповідають таким критеріям:

- видимість поліпшується, і досягає або перевищує одне або декілька з таких значень або видимість погіршується й стає меншою одного або декількох із таких значень: 800, 1500 або 3000 метрів; 5000 метрів – у разі виконання польотів за ПВП;

- дальність видимості на злітно-посадкової смузі (ЗПС) у зоні приземлення (робоча ЗПС) поліпшується й досягає або перевищує одне або декілька з таких значень,

- дальність видимості на ЗПС погіршується й стає меншою одного або декількох із таких значень: 50, 175, 300, 550 або 800 метрів;

- на аеродромах зі ЗПС, не обладнаних системами точного заходження на посадку й посадок за приладами, значення 50, 175 та 300 метрів можуть не використовуватись;

Видимість вимірюється або спостерігається, а дані про неї повідомляються в метрах (м) або кілометрах (км).

При використанні інструментальних систем вимірювання видимість визначається на висоті приблизно 2,5 м від рівня відповідного порогу ЗПС. Репрезентативність спостережень за видимістю забезпечується шляхом використання датчиків, що розташовані на аеродромі відповідно до нормативних вимог. Датчики для спостережень за видимістю, дані вимірювань яких використовуються для складання місцевих зведень погоди, розташовуються таким чином (рис. 1.4), щоб отримати найбільш достовірну інформацію про видимість уздовж ЗПС та в зоні приземлення.



Рисунок 1.4 – Приклад інструментальних системах для вимірювання видимості з трансмісометрами [20]

Візуальні спостереження за видимістю на аеродромі проводяться за встановленими або підібраними денними та нічними орієнтирами видимості, до яких відома відстань від місця спостереження. Нічними (світловими) 40 орієнтирами видимості вважаються одиночні вогні помірної інтенсивності, за виключенням вогнів червоного кольору. При візуальних спостереженнях рівень очей спостерігача розміщується на висоті 1,5-6,0 метрів від поверхні землі. Фахівці, які здійснюють візуальні спостереження за видимістю, повинні мати гостроту зору 1,0 на кожне око (з корекцією) та щорічно проходити медичну перевірку зору.

Перехід від інструментальних до візуальних спостережень (рис. 1.5) здійснюється фахівцем, який проводить метеорологічні спостереження, у випадку відмови (виходу з ладу) основного та резервного приладів, системи обробки даних, а також, коли показання приладів викликають сумніви внаслідок великих розбіжностей. Запис про перехід від інструментальних спостережень до візуальних і навпаки здійснюється у відповідному журналі.

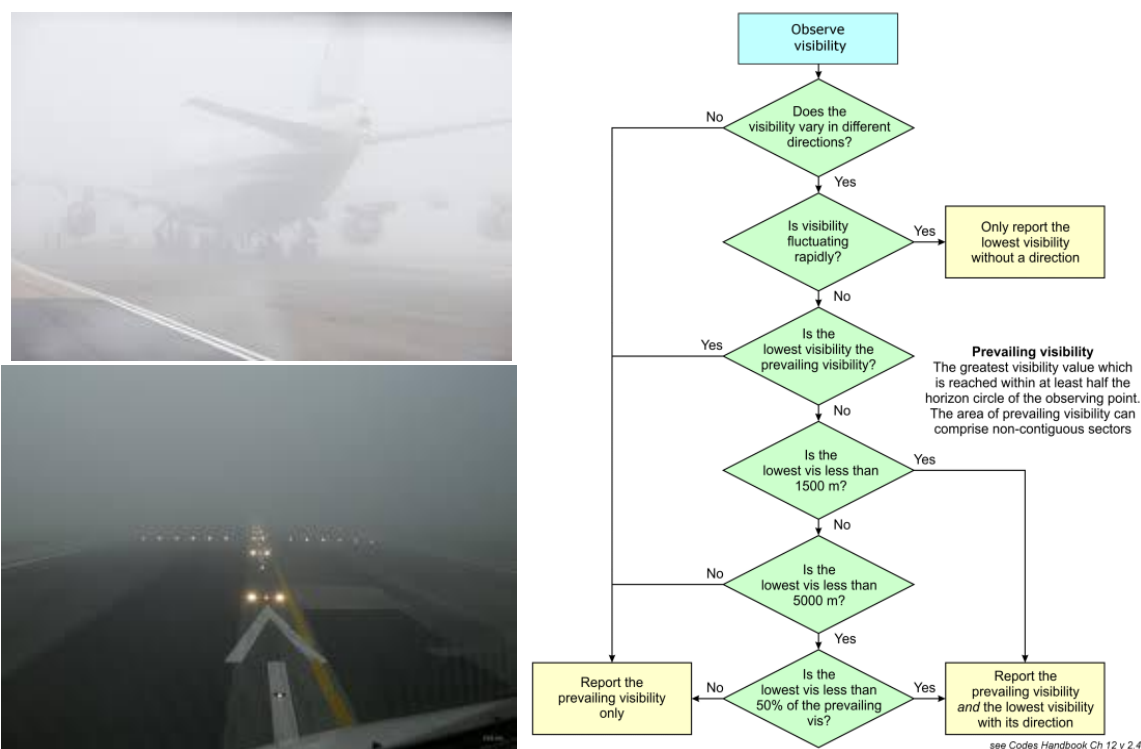


Рисунок 1.5 – Схема візуальних спостереженнях за видимістю [20]

Згідно [4] з липня 2021 р. авіаційна метеорологічна станція інформує орган організації повітряного руху (ОПР) та експлуатанта аеродрому про зміни технічного стану автоматизованої системи метеорологічних спостережень або їх компонентів: датчиків для вимірювання напрямку та швидкості вітру, висоти нижньої межі хмар, видимості або відповідних автономних метеорологічних приладів. Розрахунки дальності видимості на ЗПС проводяться окремо для кожної наявної ЗПС. Для розрахунків, що використовуються у зведеннях MET REPORT, SPECIAL, використовується така сила вогнів. На аеродромах, ЗПС яких не обладнані світлосигнальними системами вогнів високої інтенсивності дальність видимості на ЗПС не розраховується, не вноситься до зведень погоди та не відображається на показниках ОПР.

## 2 ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЖИМУ УТВОРЕННЯ ТУМАНУ НА АМСЦ УЖГОРОД

### 2.1 Короткий опис рельєфу та клімату Закарпатської області та Ужгорода

Закарпатська область розташована на південному заході України, займає південно-західну частину Українських Карпат та північно-східну частину Середньодунайської низовини по річці Тиса і її притоках. 80% території гори, 20% - низини і тераси річок.

Область знаходиться в межах двох великих фізико-географічних одиниць – Карпатської гірської та Закарпатської низовинної. Поверхня плоска, східчаста слабо нахилена на південний захід. Щодо Українських Карпат, то вони займають 4/5 території області. Гори простягаються з північного заходу на південний схід, в цьому ж напрямі збільшується їх висота, змінюється вигляд. Карпати простягаються у вигляді поздовжніх ланцюгів хребтів та міжгірних долин. Хребти асиметричні: північно-східні круті, а південно-західні – пологі. Середня висота хребтів 700 до 1500 м. Жодна з вершин не досягає снігової лінії.

Закарпаття, як і всі Карпати, відзначається великою кількістю атмосферних опадів, отже, і значним поверхневим стоком атмосферних вод, з яких формуються ріки. Ріки розробляють долини, розмивають гірські породи, відкладаючи їх у долинах, утворюють заплави та тераси, на яких росте пристосована до таких умов рослинність, утворюються специфічні ґрунти.

Територія Ужгородського району переважно низовинна. Саме в цьому районі найнижча точка регіону – 101 м. над рівнем моря (с. Руські Геївці). Значну роль у формуванні рельєфу місцевості відіграють великі річки – Тиса, Уж, Латориця. Ужгород розташований в долині річки Уж, на півночі Закарпатської низовини (з висотами 112-115 м над рів. м), з півночі і сходу на відстані 1-2 км оточений відрогами Вигорлат-Гутинського (вулканічного) хребта. Велика частина правобережжя і частково лівобережжя міста знаходиться в передгірній зоні, з максимальними відмітками в північній частині 260 м над рівнем моря.

Річка Уж широкою долиною перетинає Вигорлат-Гутинський хребет, розділяючи його на окремі низько-горні масиви, протікає через місто зі сходу на захід на рівні 113 м, виходить на Закарпатську низовину. Річка помірно звивиста, русло не розгалужене. Ширина річки в межах міста 30-60 м, в період паводків 100-110 м. Територія міста становить 41,56 км<sup>2</sup>. Найвища точка Ужгорода — гора Велика Дайбовецька — 224 м.

Клімат Ужгорода – помірно-континентальний [8]. Улітку середня температура повітря становить +21°C, а взимку –4°C. У середньому за рік в Ужгороді випадає 748 мм атмосферних опадів. Погодні умови Закарпаття обумовлюються в основному чергуванням впливу відрогів азорського і сибірського антициклонів і переміщенням циклонів з Атлантики і Середземномор'я.

Клімат Закарпатської області формується в результаті складної взаємодії радіаційних умов, циркуляції атмосфери та рельєфу. Незважаючи на значну повторюваність антициклонів і пов'язана з нею континентальність, клімат Закарпаття м'якше, ніж в цілому по Україні, що пояснюється пом'якшуючою дією гір, які захищають територію області від холодних північно-східних потоків взимку. В цілому кліматичні умови Закарпаття характеризуються теплим тривалим літом та м'якою, з частими відлигами зимою.

## 2.2 Повторюваність та тривалість туману на АМСЦ Ужгород

Тумани відіграють важливу роль в роботі авіації через обмеження зльоту та посадки літаків внаслідок зменшення видимості та відносно високої повторюваності. На повторюваність туманів великий вплив мають місцеві особливості: висота станції, орієнтування території щодо туманоутворюючих потоків, форми рельєфу та ін.

Для дослідження туманоутворення на АМСЦ Ужгород використані дані ресурсів [14, 17] за 1991-2020 рр. Тумани в Ужгороді спостерігаються рідше [7], ніж на сусідніх гірських станціях через її географічне положення. В середньому на АМСЦ Ужгород у вказані роки спостерігалось 26 днів з туманом (табл. 2.1), що менше, ніж у 1961-1990 рр. – 40 днів (табл. 2.2). Число днів з туманом із року в рік коливається. В окремі роки число днів з туманом може сильно відрізнятись від середнього багаторічного.

Таблиця 2.1 – Повторюваність днів з туманами (к.в. та %) на АМСЦ Ужгород з 1991 по 2020 рр.

Рік	Місяці												Всього
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1991	12	3	2	0	3	0	4	0	0	1	5	10	40
1992	13	5	1	0	0	0	0	0	1	2	4	4	30
1993	8	4	6	0	0	0	0	0	1	1	7	5	32
1994	4	3	0	0	1	0	0	0	1	7	6	9	31
1995	7	2	0	1	0	0	0	0	1	6	2	3	22
1996	6	0	0	0	0	0	1	0	1	2	0	4	14
1997	8	7	0	0	0	0	1	0	1	0	1	6	24
1998	3	2	1	0	0	0	0	0	0	1	4	5	16
1999	12	3	1	0	1	0	1	2	2	1	1	3	27
2000	5	2	0	0	0	0	0	0	1	3	2	9	22
2001	3	1	1	0	0	0	0	0	3	8	0	1	17
2002	9	7	0	0	1	0	0	0	0	1	3	1	22
2003	4	2	2	0	0	0	0	0	1	4	6	8	27
2004	2	5	1	0	1	0	0	0	0	0	4	3	16
2005	11	2	0	0	0	0	0	0	0	6	4	4	27
2006	2	1	3	2	0	0	0	1	0	8	4	6	27
2007	5	2	1	0	0	0	0	1	2	3	1	4	19
2008	4	2	1	0	0	0	1	0	0	7	5	1	21
2009	6	1	3	1	0	0	0	0	0	0	10	3	24
2010	4	12	0	0	0	1	0	0	3	2	1	4	27
2011	9	6	0	1	0	0	0	0	2	0	9	9	36
2012	6	1	1	0	1	0	0	0	1	5	8	6	29
2013	7	1	2	0	0	0	0	0	1	1	5	3	20
2014	10	2	0	1	1	0	0	0	2	10	9	5	40
2015	8	2	1	1	1	0	1	0	0	4	10	12	40
2016	11	1	1	1	0	0	0	0	4	2	3	8	31
2017	6	10	4	0	1	0	1	0	1	6	3	6	38
2018	1	1	3	0	0	0	1	0	1	0	8	7	22
2019	4	3	0	0	0	0	0	0	3	5	3	4	22
2020	13	1	1	0	1	1	0	0	1	2	4	4	28
Середнє	6,8	3,1	1,2	0,3	0,4	0,1	0,4	0,1	1,1	3,3	4,4	5,2	26,4
Р, %	25,8	11,7	4,5	1,1	1,5	0,4	1,5	0,4	4,2	12,5	16,7	19,7	100
Мах	13	12	6	1	3	1	4	2	4	10	10	12	40

Таблиця 2.2 – Число днів з туманом середнє та максимальнє на АМСЦ Ужгород у 1961-1990 рр.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	X-III	IV-IX	Рік
8,3	6,0	2,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,7	2,3	4,5	5,6	7,6	34,6	5,1	39,7
20,9	15,1	6,5	1,5	1,3	1,3	1,3	1,8	5,8	11,3	13,3	19,1	87,2	12,8	100
18	16	8	2	3	3	2	3	8	12	17	17	48	17	61

Якщо за нову кліматичну норму періоду 1991-2020 рр. вважати 26 днів з туманом на рік, то з рис. 2.1 видно, що найбільш активно тумани на АМСЦ Ужгород утворюються в першу половину 1990-х років (1991-1994 рр.) та з 2011 по 2017 рр. за винятком 2013 р. (20 туманів на рік). Мінімальна кількість туману на рік спостерігається у 1996 р., а максимальна у 1991, 2014-2015 рр. – 14 проти 44 випадки.

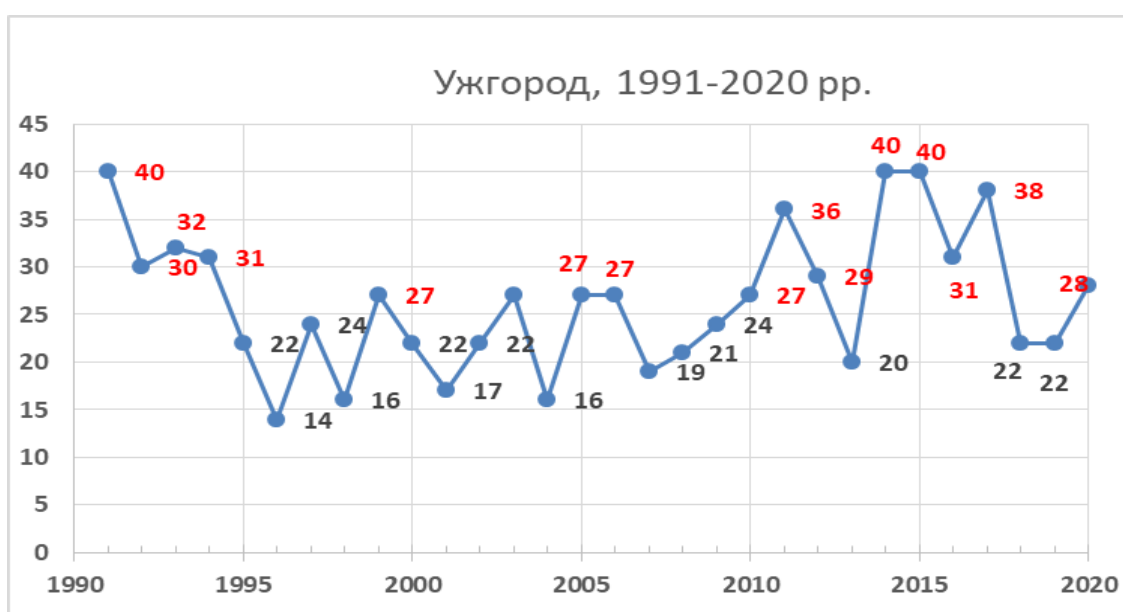


Рисунок 2.1 – Міжрічна мінливість кількості днів з туманом на рік на АМСЦ Ужгород з 1991 по 2020 р

Сезон туманів у Ужгороді починається восени [7, 8], у вересні-жовтні. Найчастіше тумани спостерігаються взимку, в грудні-січні, в середньому по 7-8 днів з туманами, в окремі роки 19-21. За даними з табл. 2.1 і табл. 2.2



побудовані графіки річного ходу (рис. 2.2-2.4) середньої кількості днів з туманами для кожного місяця за періоди 1961-1990 та 1991-2020 рр.

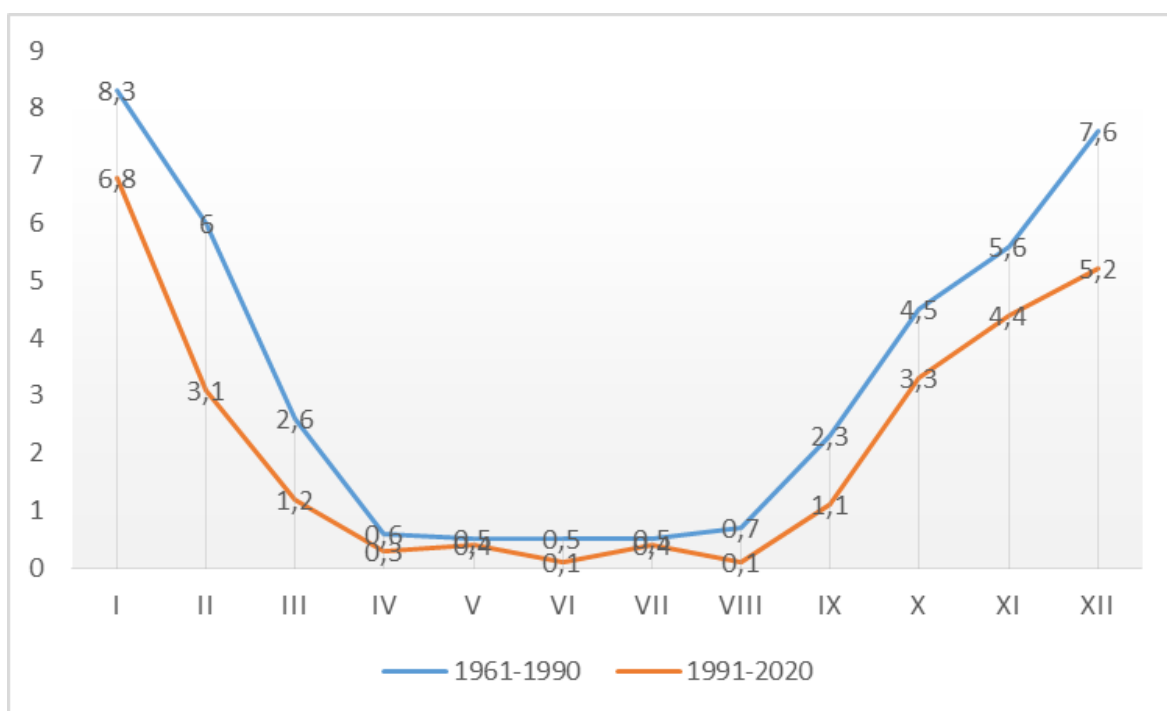


Рисунок 2.2 - Середня кількість днів з туманом АМСЦ Ужгород у 1961-1990 та 1991-2020 рр.

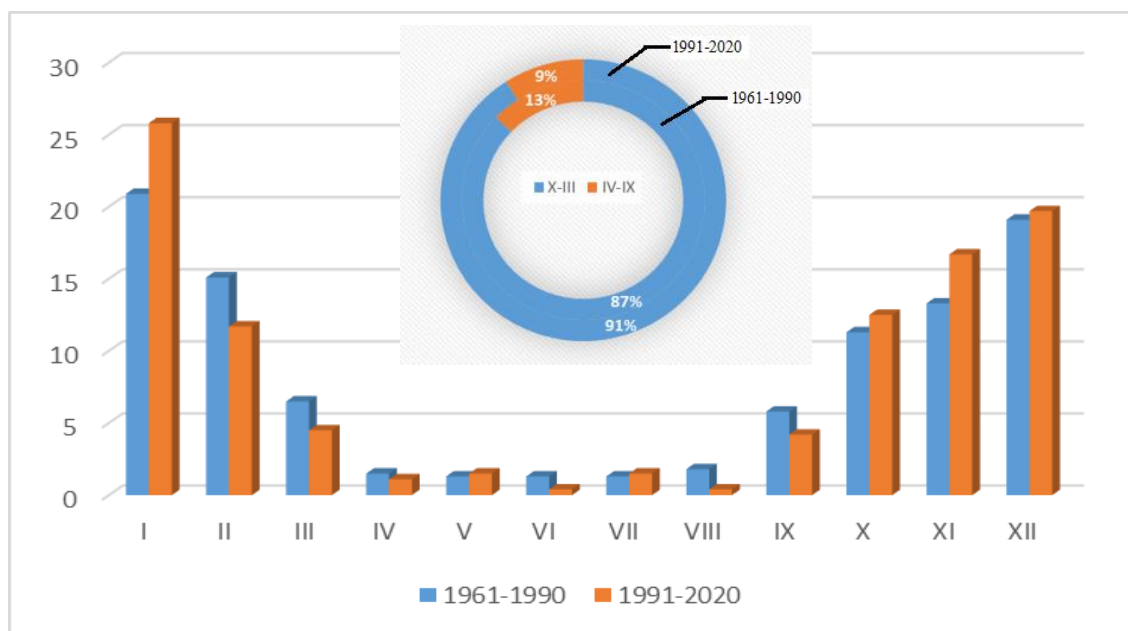


Рисунок 2.3 – Річний хід (%) утворення туману на АМСЦ Ужгород у 1961-1990 та 1991-2020 рр.

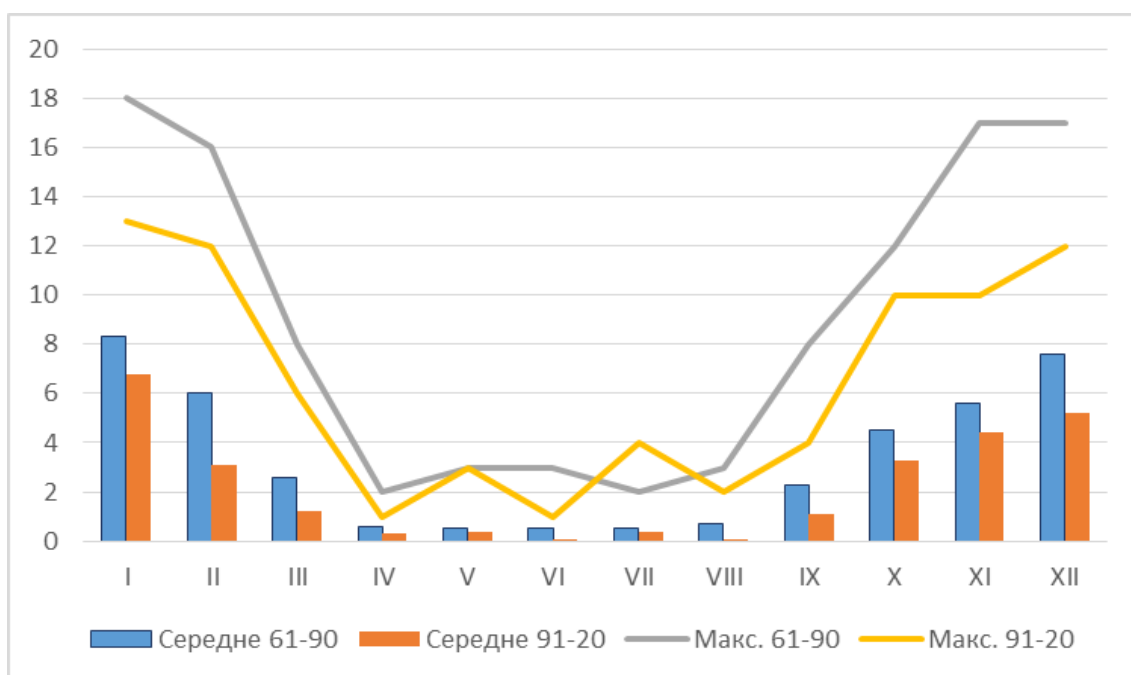


Рисунок 2.4 - Комбінована діаграма середньої та максимальної повторюваності туманів (к.в.) на АМСЦ Ужгород у 1961-1990 та 1991-2020 рр.

Як слід з рис. 2.1, найбільше днів з туманом в 1991-2020 рр. припадає на грудень та січень - 25,8 та 19,7%, а найменше на червень та серпень – 0,4%. Порівняння графіків (рис. 2.4) виявляє збереження основної тенденції – переважання туманів у холодне півріччя, але виявлена тенденція зменшення кількості днів з туманом протягом всього року порівняно з 1961-1990 рр.

Виключенням з загальної тенденції є серпень 2016 року, коли спостерігалось 4 дні з туманом. У 1991-2020 рр. спостерігається мінімум у червні та серпні, якого не було в 1961-1990 рр. Але у відсотковому співвідношенні кількість туманів збільшилася в січні та жовтні-листопаді-грудні, тобто виявилось збільшення активності туманоутворення саме в осінньо-зимовий період 1991-2020 рр.

Тривалість туманів коливається в широких межах. В середньому за рік вона дорівнює 165 годин, найбільша тривалість (до 347 годин) спостерігається в зимові місяці, в грудні-січні вона становить 50 годин, в окремі роки може досягати 178 годин. У літні місяці сумарна тривалість туманів дорівнює всього 3-4 години. Середня тривалість одного дня з туманом 5,3 години. Більше

половини туманів тривають 4 години і менш. У теплу пору кількість таких туманів становить 95-100%. У листопаді-грудні окремі тумани можуть тривати більш 36 годин, так в січні 1962 року туман тривав 62 години.

За даними кліматичного опису АМСЦ Ужгород за 2011-2015 рр. частіше всього тумани (табл. 2.2) виникають у ранкові години (04:00-06:00), та ввечері (16:00-18:00), найрідше вдень (10:00-12:00). Тривалість дуже різноманітна, від 110 до 244 годин за рік. Найчастіше тумани тривають 1-3 години.

Таблиця 2.2 – Тривалість (год.) туманів в Ужгороді у 2011-2015 рр.

Рік	Місяць												Разом	Середня дня
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
2011	78 <sup>45</sup>	59 <sup>45</sup>	0 <sup>30</sup>	1 <sup>10</sup>	0	0	0	0	3 <sup>03</sup>	1 <sup>30</sup>	45 <sup>25</sup>	53 <sup>55</sup>	244 <sup>03</sup>	20 <sup>20</sup>
2012	24 <sup>05</sup>	12 <sup>30</sup>	3 <sup>10</sup>	0	0 <sup>12</sup>	3 <sup>05</sup>	0	0	1 <sup>50</sup>	12 <sup>00</sup>	27 <sup>35</sup>	32 <sup>00</sup>	116 <sup>27</sup>	9 <sup>42</sup>
2013	34 <sup>25</sup>	5 <sup>47</sup>	6 <sup>15</sup>	0	1 <sup>07</sup>	0	0	0	0 <sup>45</sup>	2 <sup>10</sup>	37 <sup>42</sup>	22 <sup>10</sup>	110 <sup>21</sup>	9 <sup>12</sup>
2014	36 <sup>38</sup>	5 <sup>05</sup>	0	1 <sup>05</sup>	0 <sup>30</sup>	0	0	0	3 <sup>00</sup>	14 <sup>05</sup>	54 <sup>20</sup>	8 <sup>40</sup>	123 <sup>23</sup>	10 <sup>17</sup>
2015	45 <sup>39</sup>	6 <sup>55</sup>	1 <sup>40</sup>	0 <sup>30</sup>	0 <sup>55</sup>	0	2 <sup>30</sup>	0	0 <sup>50</sup>	16 <sup>30</sup>	80 <sup>40</sup>	71 <sup>55</sup>	227 <sup>44</sup>	18 <sup>59</sup>
Разом	219 <sup>32</sup>	89 <sup>42</sup>	11 <sup>35</sup>	2 <sup>45</sup>	2 <sup>44</sup>	3 <sup>05</sup>	2 <sup>30</sup>	0	9 <sup>27</sup>	46 <sup>15</sup>	245 <sup>42</sup>	188 <sup>40</sup>	821 <sup>57</sup>	68 <sup>30</sup>
Середня	43 <sup>54</sup>	17 <sup>56</sup>	2 <sup>19</sup>	0 <sup>33</sup>	0 <sup>33</sup>	0 <sup>37</sup>	0 <sup>30</sup>	0	1 <sup>54</sup>	9 <sup>15</sup>	49 <sup>08</sup>	37 <sup>44</sup>	164 <sup>23</sup>	13 <sup>42</sup>

Отже, чіткий річний хід туманоутворення в Ужгороді є характерним для всієї України, коли більшість випадків спостерігається з жовтня по березень. Влітку тумани відмічаються не щорічно, в середньому, один день на місяць.

### 2.3 Температурно-вітровий режим при тумані на АМСЦ Ужгород у 2011-2020 рр.

Великий вплив на утворення туманів надає розподіл метеорологічних величин, особливо температури, вологості, вітру. При туманах найчастіше температура повітря знаходиться в межах  $\pm 4^{\circ}\text{C}$ . Тумани на АМСЦ Ужгород можуть спостерігатися за різних температур, як від'ємних так і додатних.

Найнижча температура при якій утворювався туман становила  $-23,9^{\circ}\text{C}$  (2013 р). В осіннь-зимовий період тумани, найчастіше утворюються за від'ємних температур та температур близьких до  $0^{\circ}\text{C}$ . В інші місяці (з квітня по жовтень) температурний фон за наявності туману додатний, та найвищих значень середня температура досягала у липні 2018 року та становила  $17,2^{\circ}\text{C}$ .

Цікаві залежності отримані між інтенсивністю туману та швидкістю вітру. Вітер є важливою умовою виникнення та існування туману. Слабке турбулентне перемішування зазвичай сприяє туману, а значний турбулентний обмін спричиняє його розсіювання. Найбільш сприятливим для адвективних туманів є вітер зі швидкістю менше 3-4 м/с, для радіаційних – менш 1-2 м/с. При більш високих швидкостях відбувається розсіювання туману. При південно-східних вітрах відзначається максимум туманів, а при північно-західному – мінімум. При південно-східному вітрі погіршення видимості може спостерігатися и при більш сильному вітрі до 5-7 м/с, але зазвичай це відбувається за рахунок сильних опадів.

Отже, на АМСЦ Ужгород тумани найчастіше спостерігалися при нестійкому вітрі (штилі) і при вітрі південно-східного напрямку. Менше всього спостерігався туман при північно-східному, північному, південно-західному напрямі.

#### 2.4 Режим та метеорологічні умови утворення сильного туману в Ужгороді у 2011-2020 рр.

Згідно [13] тумани можуть створювати I та II рівні метеорологічної небезпеки. Так, туман з видимістю менше 500 м та тривалістю більше 3 год. відповідає «жовтому» рівні небезпечності, тобто це НМЯ I. А якщо видимість погіршується до 100 м (сильний туман) та менше впродовж 12 год. та більше, то утворюється СМЯ II або «помаранчевий» рівень метеорологічної небезпечності.

Число випадків сильного туману на АМСЦ Ужгород з року в рік змінюється та зустрічається не дуже часто. Найбільша кількість подібних випадків відмічалось у 2011 р. – 45 випадків, найменша – по 1 випадку в 2012 та 2020 р. Видимість менше 100 м не має чіткого добового ходу та виникає

протягом доби з жовтня по березень. Туман з видимістю 100 м та менше виникає при температурі від  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $+10^{\circ}\text{C}$ , при тому дефіцит точки роси не перевищує  $0,8^{\circ}\text{C}$ .

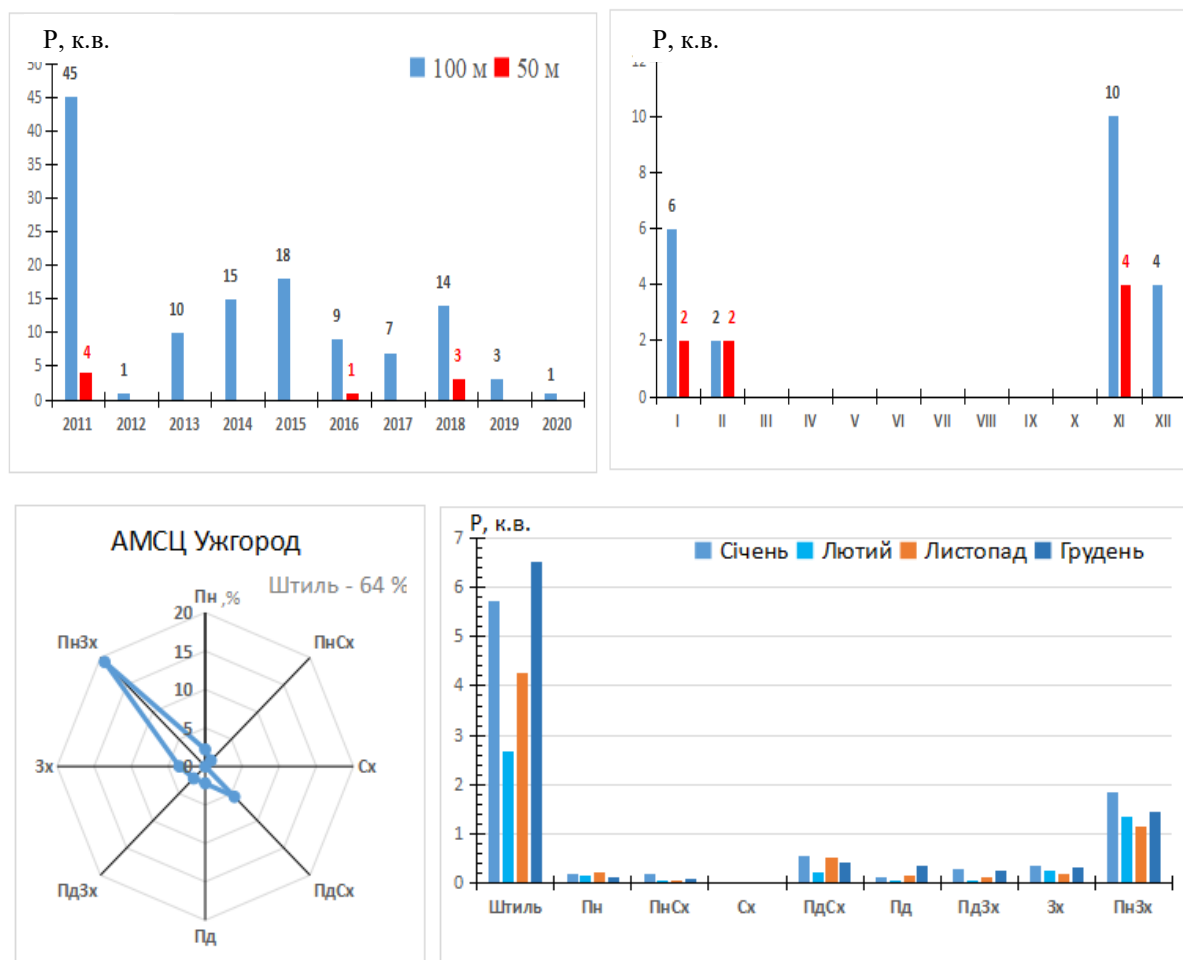


Рисунок 2.5 – Кількість днів з сильним туманом на АМЦ Ужгород у 2011-2020 рр., річний хід його утворення та залежність від швидкості та напрямку вітру

Сильний туман з дальністю видимості 50 м та менше спостерігається ще рідше, та утворюється лише з листопада по лютий. За даними вибірки за 2011-2020 рр. туман з дальністю видимості 50 м та менше спостерігався лише у 2011 та 2018 рр. – 4 випадки та 2 випадки. Сильні тумани виникали при температурі повітря близько  $0^{\circ}\text{C}$  та повному штилі (табл. 2.3 та табл. 2.4).

Таблиця 2.3 – Річна повторюваність туману з видимістю 100 м, та менше при різних напрямках вітру (%)

Напрямок вітру, румб	Січень	Лютий	Листопад	Грудень	ХІ-ІІ
Штиль	19,1	8,9	14,2	21,8	64,0
Пн	0,6	0,5	0,7	0,4	2,2
ПнСх	0,6	0,1	0,1	0,3	1,1
Сх	-	-	-	-	-
ПдСх	1,8	0,7	1,7	1,4	5,6
Пд	0,4	0,2	0,5	1,1	2,2
ПдЗх	0,9	0,1	0,4	0,8	2,2
Зх	1,1	0,8	0,6	1,0	3,5
ПнЗх	6,1	4,5	3,8	4,8	19,2
Разом	30,6	15,8	22,0	31,6	100

Таблиця 2.4 – Річна повторюваність туману з видимістю 100 м, та менше в залежності від швидкості та напрямку вітру (%)

Швидкість вітру м/с	Напрямок вітру								Разом
	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗх	Зх	ПнЗх	
Штиль	-	-	-	-	-	-	-	-	64,0
1-2	2,2	1,1	-	5,6	2,2	2,2	3,5	17,0	33,8
3-5	-	-	-	-	-	-	-	2,2	2,2
≥6-7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Разом	2,2	1,1	-	5,6	2,2	2,2	3,5	19,2	

Найчастіше тумани утворювалися при штилі (64 %) при штилі, також значна частина сильного туману виникала при швидкості вітру 1-2 м/с (34%). На градацію 3-5 м/с припадало лише 2%, при вітрах швидкістю більше 5 м/с не туман спостерігався.

Щодо залежності від напрямку вітру, то видимість погіршувалася нижче 100 м в грудні та січні при північно-західному напрямку вітру (табл. 2.4). Зрідка туман відмічався при вітрах північно-східного напрямку, жодного разу туману не було при східному вітрі.

### 3 СИНОПТИЧНІ УМОВИ ТУМАНООУТВОРЕННЯ НА АМСЦ УЖГОРОД

#### 3.1 Загальна відомості про баричне поля, що сприяє виникненню туманів

Туман триває до того часу, коли туманоутворювальні чинники переважають над одночасно діючими туманорозсіювальними або перебувають з ними у рівновазі. Найчастіше туман розсіюється внаслідок зміни синоптичного процесу і радіаційного нагрівання.

Радіаційні тумани над територією Європи найчастіше формуються в антициклонах і розмитих баричних полях. Радіаційний туман формується над сушею при безхмарній погоді, слабких вітрах в результаті нічного зниження температури повітря перед сходом Сонця, коли мінімальна температура повітря стає нижчою за точку роси у вечірній строк за рахунок радіаційного охолодження підстильної поверхні. В більшості випадків туман виникає при малохмарній погоді та швидкості вітру біля поверхні землі до 2-3 м/с.

Інверсійний розподіл температури при малому дефіциті точки роси у шарі 50-300 м від поверхні землі сприятливий для виникнення радіаційного туману. Радіаційний туман, як правило, утворюється ввечері або вночі і розсіюється через деякий час після сходу Сонця (рис. 3.1). Стан поверхні ґрунту (її вологість) грає суттєву роль у виникненні туману. Виникненню туману сприяє також увігнутий рельєф місцевості (долина, улоговина), куди вночі стікає повітря з більш високих місць, застоюється і додатково охолоджується.

Адвективні тумани найчастіше спостерігаються в циклонах та улоговинах, а також на західній периферії антициклонів. Адвективні тумани виникають при адвекції теплого повітря на холодну підстильну поверхню (рис. 3.1). На території Європи адвективні тумани бувають часто в кінці осені та взимку. Адвективні тумани охоплюють величезні райони і розповсюджуються вгору на сотні метрів. Вони можуть виникати і при значній швидкості вітру. Тепле повітря вихолоджується при контакті з холодною підстильною поверхнею, а велике турбулентне переміщення розповсюджує вихолодження до значної висоти. При цих туманах також існує інверсійний

розподіл температури. При значній турбулентності відбувається коагуляція крапель туману і найбільші краплі падають на земну поверхню у вигляді мряки.



Рисунок 3.1 – Схеми формування радіаційного та адвективного туману

Формування туману за рахунок чисто адвективного фактору над сушею спостерігається рідко, як правило, адвективний фактор доповнюється радіаційним. Адвективно-радіаційний туман формується над охолодженою сушею переважно в холодний період року, вночі, при слабкій адвекції теплого повітря. Швидкість вітру в приземному шарі повітря складає 1-2, рідко 3-4 м/с. Додаткова конденсація водяної пари виникає за рахунок радіаційного охолодження теплого повітря в приземному шарі, цьому сприяє повне прояснення навіть на короткий проміжок часу або хмарність незначної густини і товщини.

Усі перелічені види туманів виникають в середині повітряних мас поза межами атмосферних фронтів. Однак існує ще один вид туманів випаровування – перед теплим фронтом. Атмосферні опади у вигляді дощу зволожують земну поверхню. Інтенсивне випаровування із земної поверхні та безпосередньо з крапель дощу насичує повітря водяною паром і утворюється туман. Це суцільна смуга туману перед фронтом.

Найчастіше тумани виникають при найбільшому охолодженні земної поверхні, тобто вранці. У горах тумани утворюються будь-якої частини доби, але усе-таки дещо частіше вони появляються у після полуденні години. Справа в тому, що в цей час виникають висхідні рухи повітря, воно адіабатично охолоджується і на схилах утворюється туман, але для спостерігача, який перебуває в долині – це звичайні хмари.



### 3.2 Синоптичні та метеорологічні умови формування туману в Ужгороді 4 листопада 2020 р.

Погодні умови у м. Ужгород та Закарпатської області 4 листопада 2020 р. визначалися малоградієнтним полем підвищеного атмосферного тиску, яке утворилося під впливом периферії масивного гребня антициклону з центром над півднем Сибіру та Казахстаном, з максимальним тиском 1038,9 гПа. Цей гребінь разом з улоговинами над Балканським півостровом та Скандинавією, а також гребенем над Великою Британією, утворює баричну сідловину над центральною частиною Європи (рис. 3.2а-в). З помірних широт Атлантичного океану через Середземне море в нижній та середній тропосфері на територію України переміщувались теплі повітряні маси, які сприяли утворенню стійких глибоких інверсій. Тому на АТ-850 (рис. 3.2г) обширну територію цієї сідловини охоплює гребінь тепла з віссю від Тунісу та Латвії, а Закарпатська область знаходилася під впливом цього гребеню.

Малорухомий арктичний холодний фронт з хвилями, пов'язаний з циклоном над Північним морем, протягнувся вздовж центральної Польщі, Словаччиною, Альпами та фронт оклюзії над Західною Україною та Балканами. Фронтальний розділ повільно (рис. 3.2а-в) пересувався на північній схід зі швидкістю 10-15 км/год.

За застосуванням ресурсу [18] були побудовані комплексні карти карта супутникового продукту MSG Night Microphysics RGB з метеорологічними спостереженнями та полем адвекції температури, що розраховувалося за моделлю Європейського центру середньострокових прогнозів погоди (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF). На рис. 3.2д наведена подібна карта за 00.00 UTC, на якій видна область туманів над Східною Європою (колір морської хвилі [19, 21]), яка охоплює Закарпаття та північно-західну частину Львівщини. Поле опадів (холодна ділянка арктичного фронту) та туману з [24] на рис. 3.2д та 3.2е добре узгоджуються.

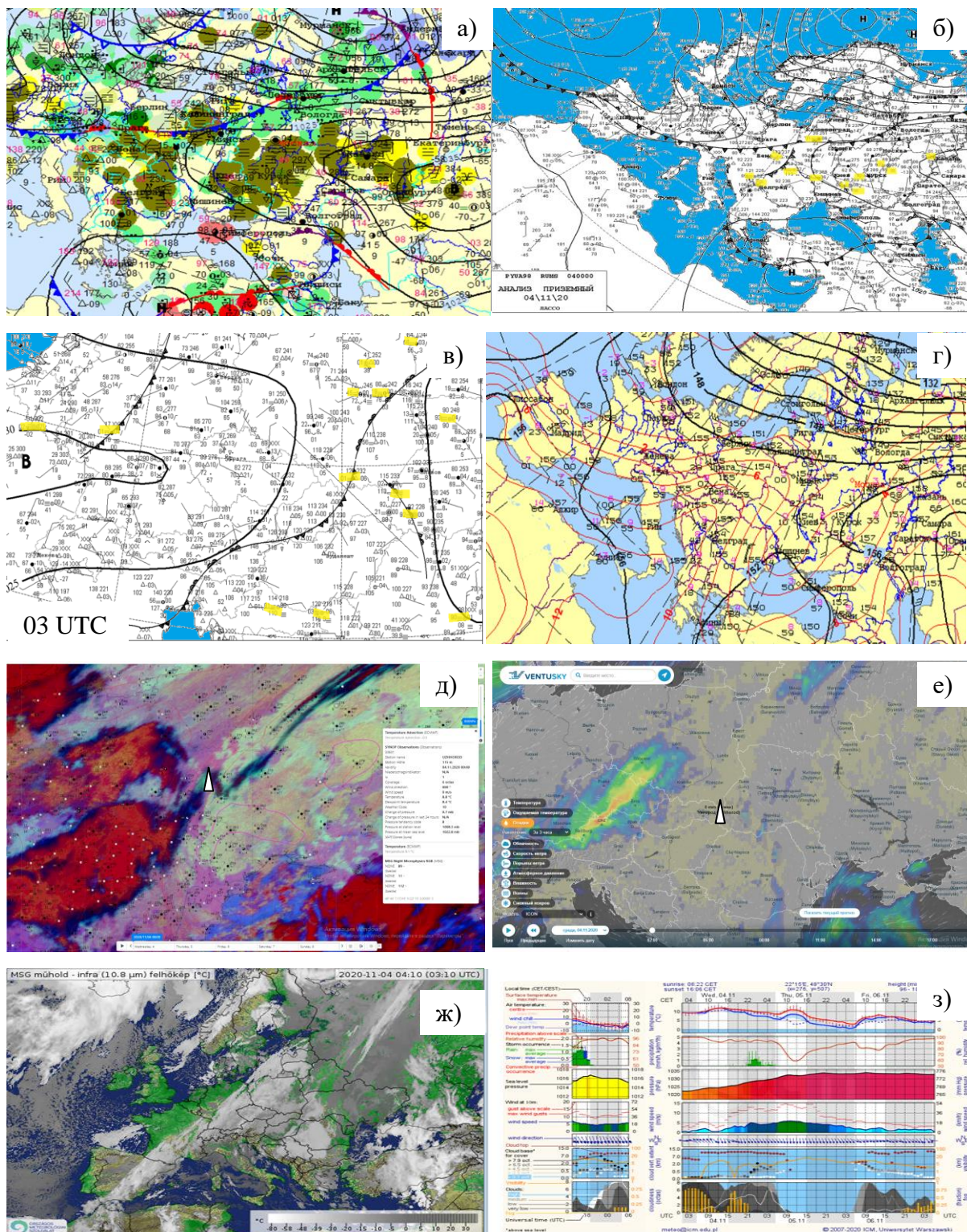


Рисунок 3.2 - Аналіз приземний 04.11.2020 за 00:00 (а, б) та 03.00 UTC (в), карта АТ-850 (г), карта супутникового продукту MSG Night Microphysics RGB з метеорологічними спостереженнями та полем адвекції температури (д) і поле опадів та туманів (е) за 00.00 UTC, супутниковий знімок за 03.10 UTC (ж) та прогноз на 4.11.20 (з).

В 03.10 UTC (рис. 3.2ж) та впродовж доби за допомогою ресурсу [20] можна було спостерігати повільне просування зони туманів та фронтальних опадів на південний схід, а також прогнозувати утворення туману (рис. 3.2з) в Ужгороді починаючи з 00 UTC.

Для дослідження стану нижньої тропосфери під час утворення туману на АМСЦ Ужгород були застосовані результати роботи моделі ECMWF у шарі 1000-850 гПа від 00 UTC 4 листопада 2020 р. до 00 UTC 5 листопада 2020 р. в точці з координатами 48°37' Пн.ш. та 22°17' Сх.д.

Туман утворившись у 00 UTC 4 листопада (рис. 3.3а) зберігався до 09 UTC з мінімальною видимістю (100 м) у 03 UTC, далі у полудень при денному прогріві спостерігалось стрімке поліпшення видимості до 10 км, хоча температура зросла лише на 1,5-2,0 °С.

Відносна вологість (рис. 3.3б) була максимальною (97-98%) біля землі у нічні години (00-06 UTC), тобто у часи утворення туману. Після сходу Сонця приземна вологість зменшувалася до 82 %, але зона максимуму пересунулася у шар 950-850 гПа ввечері.

Щодо термічного стану нижньої тропосфери, то вночі 4 листопада (00-06 UTC) спостерігалася приземна температурна інверсія, як показано на рис. 3.3в та 3.3г, а розрахунок адвекції температури виявив слабку адвекцію тепла у найнижчому шарі 1000-950 гПа (до  $0,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$ ) вночі (разом з затримуючим шаром), а далі виявляється дуже слабка від'ємна адвекція, яка Закарпаття (рис. 3.2д) вона посилювалася.

Південно-західний перенос разом зі незначною адвекцією тепла та вологи вночі, та перехід від адвекції до стабілізації вологого теплого повітря, при якому відбувається конденсація вологи і поступове зниження температури в нижньому шарі тропосфери, сприяло розвитку низької хмарності з висотою нижньої межі 200-300 м. При натіканні цієї низької хмарності створювалися малі адвективні градієнти температури, і нижня межа хмар доходила до поверхні землі, створюючи туман над обширною територією.

Щодо динамічного стану граничного шару, то спостерігався слабкий південно-східний вітер 1-2 м/с та штиль біля землі, відбувалась слабка адвекція теплого вологого повітря, яке додатково насичувалось вологою завдяки опадам, які випали напередодні.



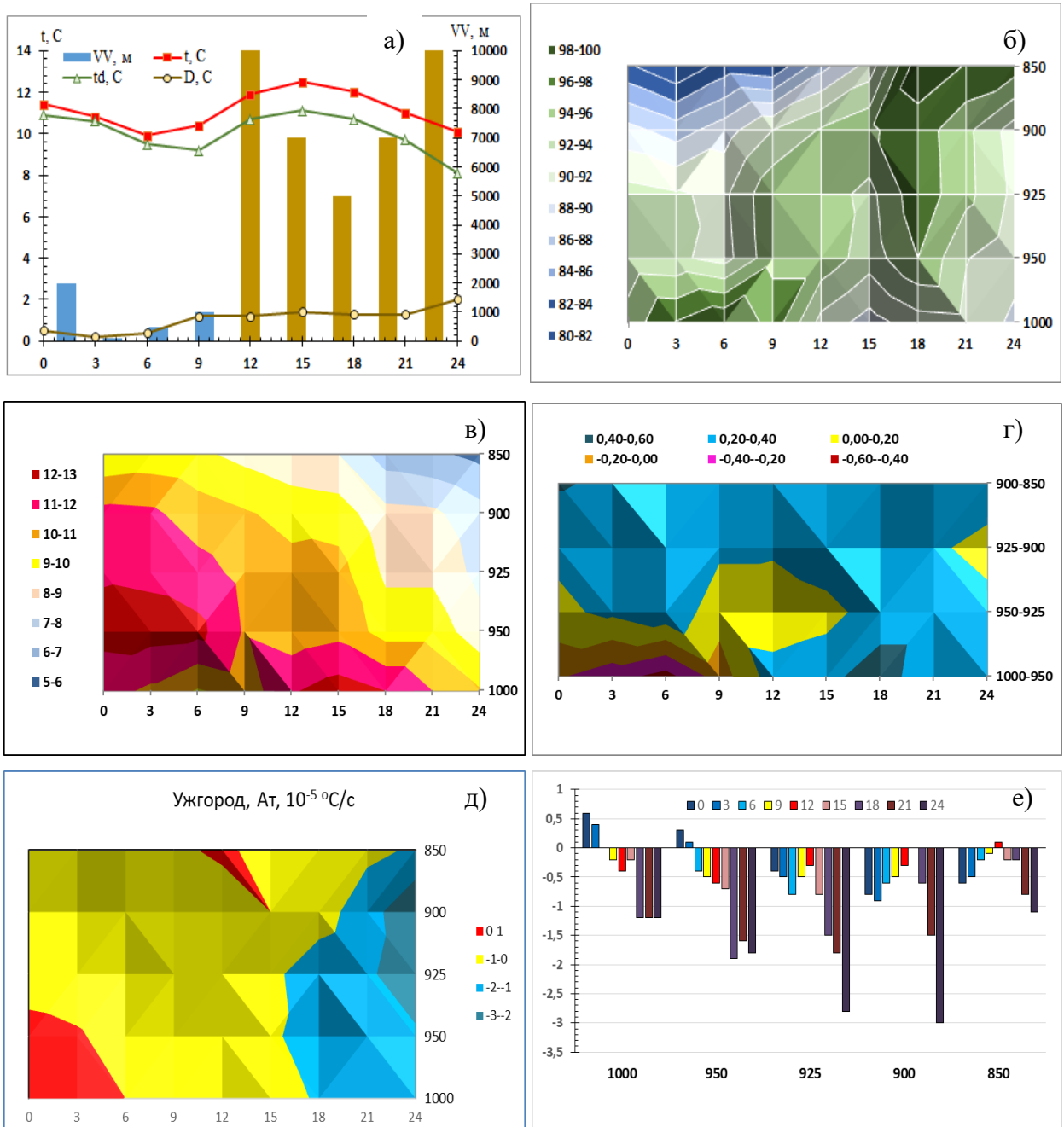


Рисунок 3.3 – Часовий хід з 00.00 UTC 4.11.2020 до 00.00 UTC 5.11.2020 температури, точки роси ( $t$ ,  $t_d$  і  $D$ , °C) та видимості ( $VV$ , м) біля землі на АМСЦ Ужгород (а), вертикальний розподіл до рівня 850 гПа відносної ( $f$ , %) вологості (б), температури ( $t$ , °C) повітря (в) та її вертикального градієнта ( $\gamma$ , °C/100 м), адвекції температури ( $At$ , 10<sup>-5</sup> °C/c) на АМСЦ Ужгород за моделлю ECMWF.

Отже, внаслідок перелічених факторів склалися сприятливі умови для утворення нічного сильного адвективно-радіаційного туману.

### 3.3 Аналіз синоптичних умов утворення туману в Ужгороді з 6 по 11 листопада 2018 р.

За останні 10 років в період з 2011 по 2020 роки на АМСЦ Ужгород було зафіксовано сім випадків, коли інтенсивність і кількість туману досягала критерію СМЯ II [13].

Розглянемо синоптичні ситуації [23, 25], що призвели до утворення сильних туманів на АМСЦ Ужгород в ранкові та вечірні години 6-11 листопада 2018 року. В 00(03) год. 06 листопада 2018 року на карті АТ-700 знаходився антициклон з центром біля Києва, окреслений однією замкненою ізогіпсою (в центрі 316 дам), з гребенем орієнтованим на північ до Скандинавії. В широтному напрямку область високого тиску поширювалась вздовж паралелі Париж–Волгоград. В той же час територія Західної та південної Європи знаходилися під впливом улоговини двоцентрового циклону з центрами, окресленими одною ізогіпсою (288 та 300 дам) над Біскайською затокою та Сардинією. Над територією Закарпаття переважали слабкі східні та південно-східні потоки.

На карті АТ–500 баричне поле було подібним до АТ–700 гПа. Центр антициклону розташовувався в районі Чернівців, окреслений однією ізогіпсою (геопотенціал в центрі 583 дам). Гребінь простягався до Північного моря. Улоговина циклону охоплювала таку ж територію, як і на 700 гПа, центр циклону над Біскайською затокою та Сардинією (в центрі 541 і 560 дам). На цій ізобаричній поверхні також переважали слабкі східні та південно-східні потоки. (рис. 3.4).

У термічному полі на карті АТ – 850 за 00(03) год більша частина України перебувала під впливом теплої повітряної маси, яка поширювалася з Чорноморського регіону, температура повітря становила 4-6°С тепла, на карті ВТ–500/100 571-573 дам. Гребінь тепла поширювався на Скандинавію, майже всю Північну Європу.

В теплій повітряній масі знаходилися центральні та північно-західні райони Західної Європи. Південна Європа знаходиться під впливом прохолодної повітряної маси, яка надходила із районів Ісландії. На АТ – 850 гПа температура повітря 0-2°С, на ВТ–500/1000 - 562-568 дам.

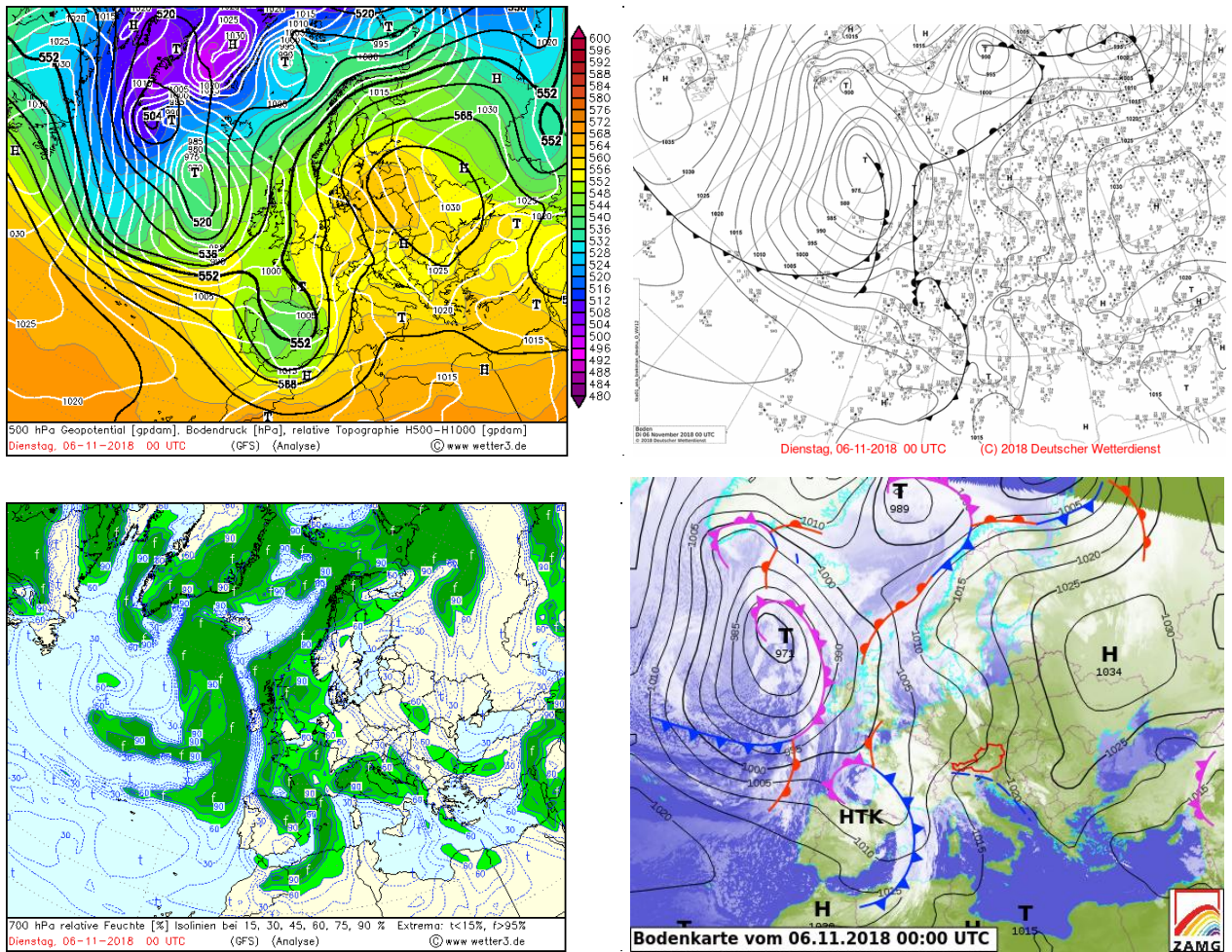


Рисунок 3.4 - Приземний аналіз АТ – 500, ВТ – 500/1000, відносна вологість (%), та кількість опадів (мм) та хмарність 6.11.2018 р.

Біля земної поверхні 06 листопада 00(03) центр антициклону (тиск в центрі 1030 гПа) знаходився в районі Мінська, був окреслений двома ізобарами. Під його впливом знаходилися центральні, східні та північно-східні території Європи. Над північно-західною Європою пролягав фронтальний розділ, пов'язаний з улоговиною північного циклону з центром над Біскайською затокою. 6-11 листопада територія області продовжувала знаходитися під впливом антициклонального поля центр якого поступово змістився на північний-схід України та теплої повітряної маси, причому прогнозувалося посилення антициклону. Фронтальні розділи не прогнозувалися. На висотах простежувалися слабкі потоки південно-східного, поступово південно-західного напрямків.

Отже, 6-11 листопада 2018 р. погоду Закарпаття обумовлювала південно-західна периферія антициклону над ЄТР та тепла нестійка повітряна

маса. Слабкий приземний вітер змінних напрямків, денний прогрів до 10-15°C тепла, та нічне зниження температури повітря до -1...+3°C, інверсійний розподіл температури в термобаричному полі, та орографічна особливість місцевості сприяло формуванню сильного туману з дальністю видимості 50-100 м в вечірні та ранкові години.

#### 3.4 Характеристика макроциркуляції та зворотних траєкторій переносу повітряних мас за наявності сильного туману в Ужгороді у 2011-2020 рр.

Зворотні траєкторії переміщення повітряних мас від пункту дослідження відображає шлях елементарної повітряної частинки в моменти часу, що передують її приходу в задану географічну точку. Іншими словами, це траєкторія повітряної маси в залежності від зворотного відліку часу. Використовувалися траєкторії, що приходять в пункт моніторингу на висоті 750, 1500 та 3000 м.

В рамках дослідження для виявлення точного місця походження повітряної масі на початок сильного туману з дальністю видимості 100 м та менше побудовано зворотні адвективні траєкторії на 12 години з використанням модельного розрахунку тривимірних траєкторій HYSPLIT [23].

Пунктами для відліку траєкторії були координати АМСЦ Ужгород, та як видно з рис. 3.5-3.32 туманоутворюючий потік найчастіше спрямований з північного-заходу та заходу, або в інших випадках вихідних точок траєкторії переносу починається з південного-сходу та південного-заходу.

В січні та лютому 2011 року адвективні тумани з дальністю видимості 100 м та менше (рис. 3.5-3.7). Ці три випадки утворилися у малоградієнтному баричному полі високого тиску біля землі. Траєкторія переносів в обох випадках січня на всіх рівнях не перевищувала 500 км/12 год., при західному та північно-західному переносі повітряних мас на всіх рівнях, в лютому же повітря надходило також з північного-заходу, але початок траєкторії стартує від узбережжя Північного моря.

4 листопада 2011 року сильний туман (рис. 3.8) сформувався в теплому секторі північного циклону, спостерігався слабкий південно-західний перенос



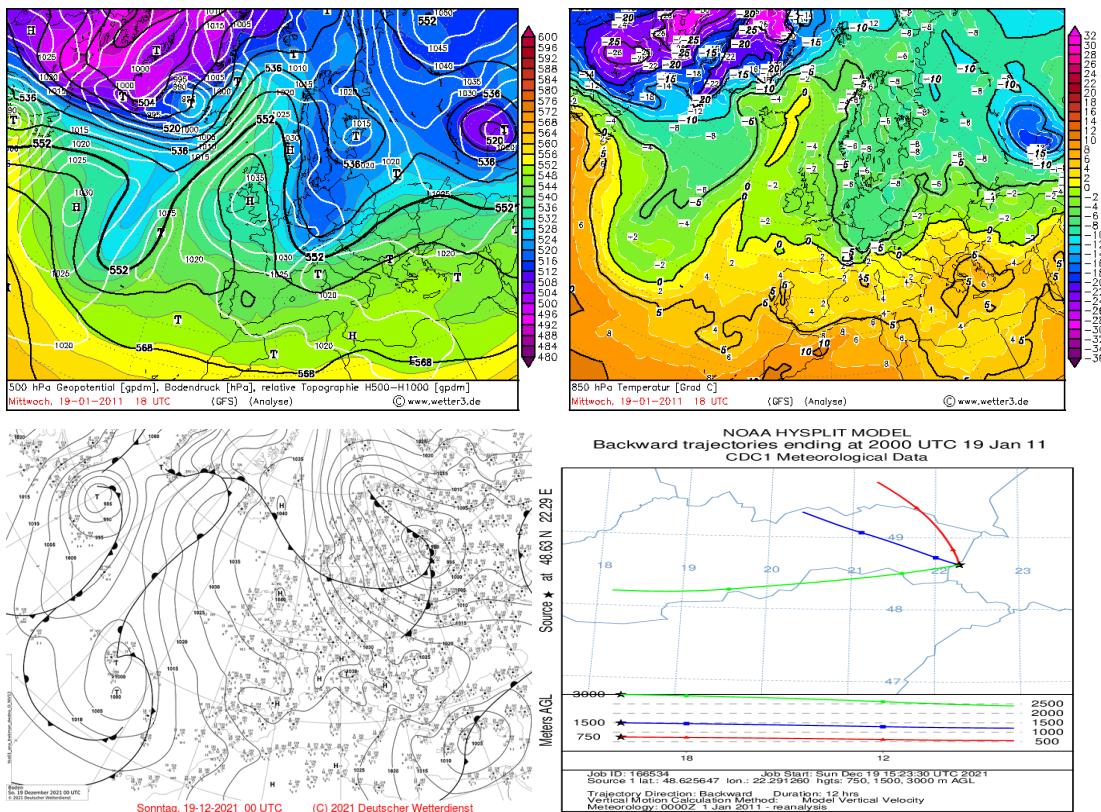


Рисунок 3.5 - Синоптична ситуація та траекторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 19.01.2011 (20.00)

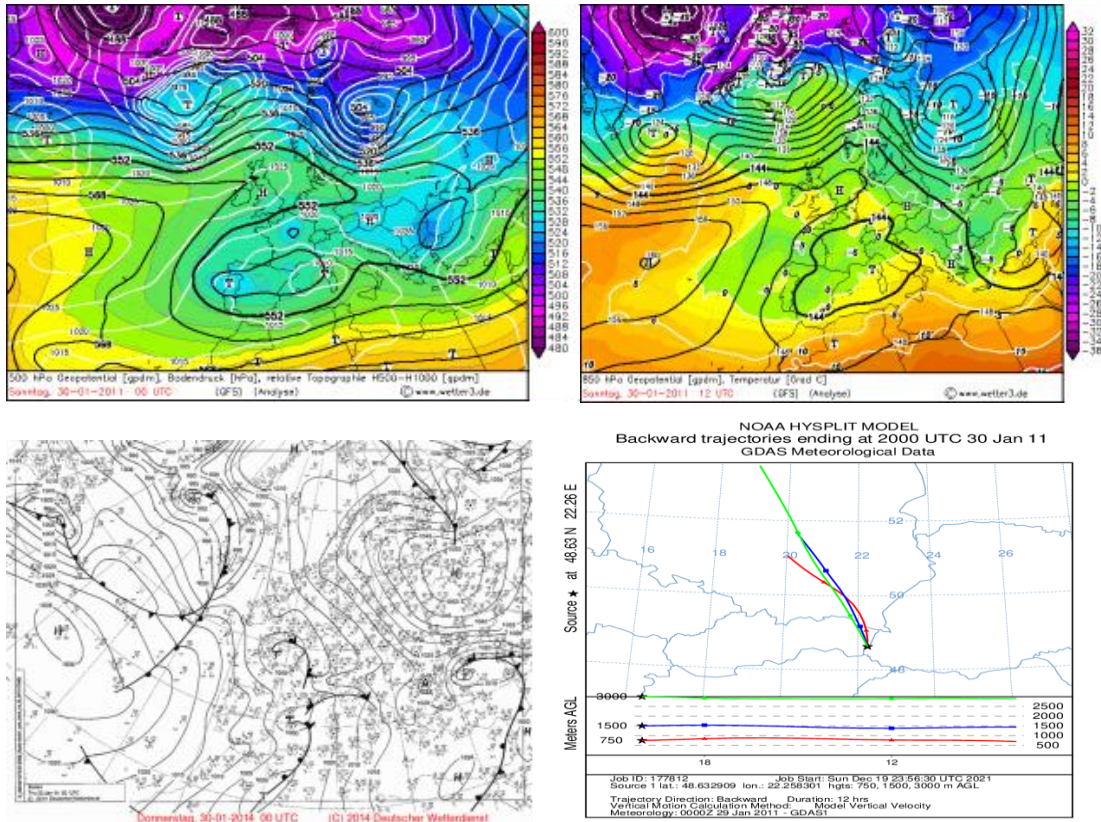


Рисунок 3.6 - Синоптична ситуація та траекторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 30.01.2011(20.00)



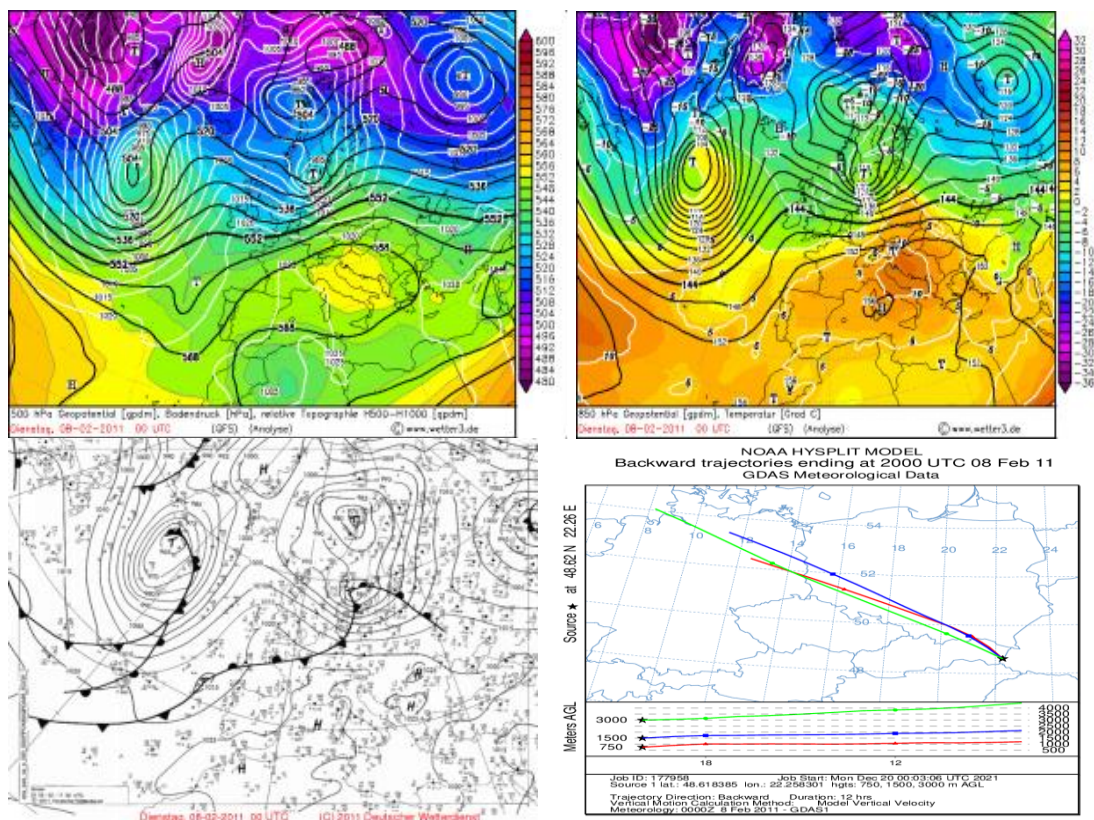


Рисунок 3.7 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 08.02.2011(20.00)

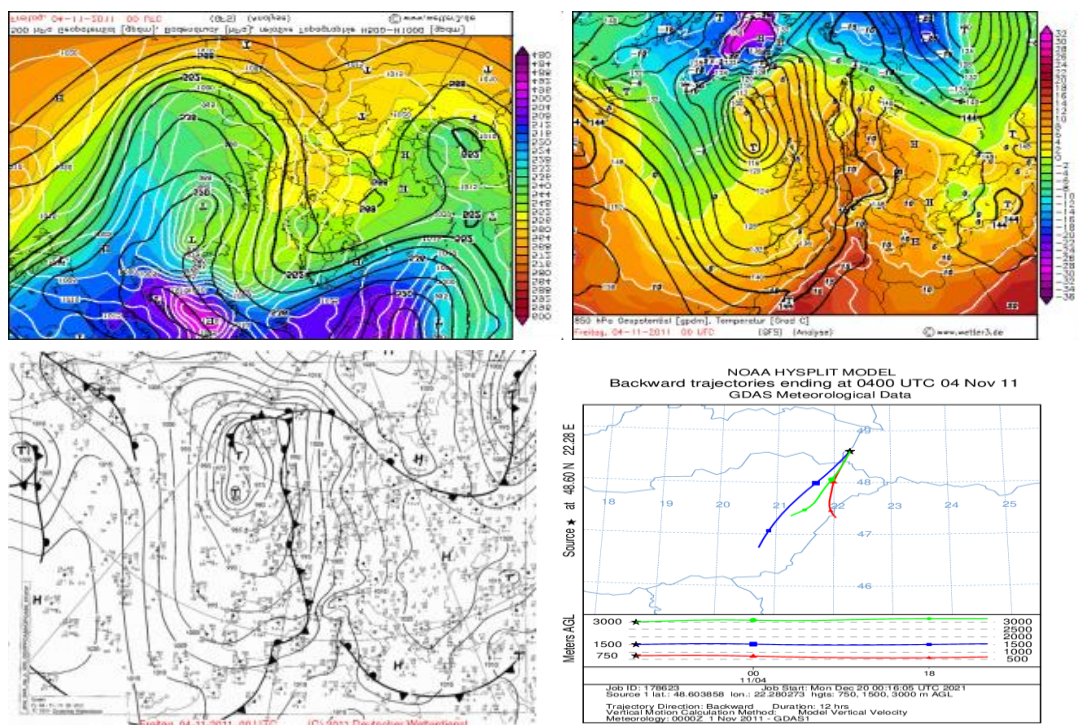


Рисунок 3.8 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 4.11.2011 (05.00)



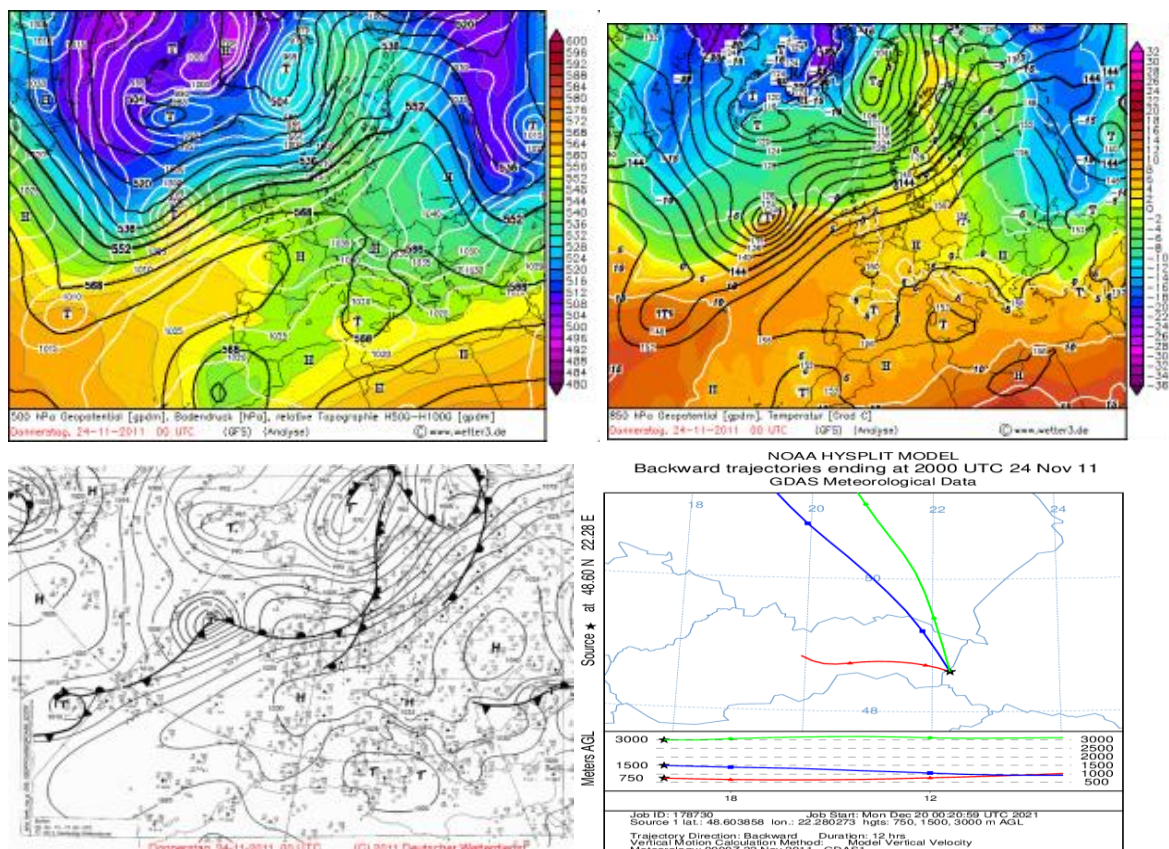


Рисунок 3.9 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 24.11.2011 (20.00)

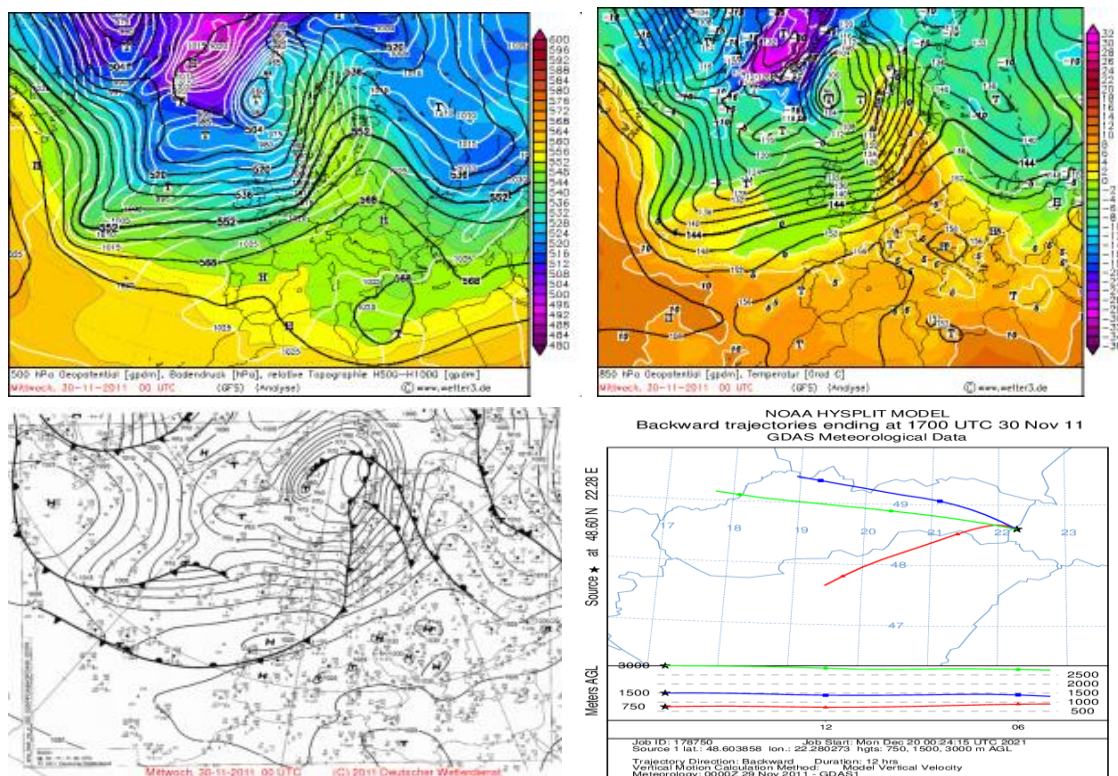


Рисунок 3.10 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 30.11.2011 (17.00)



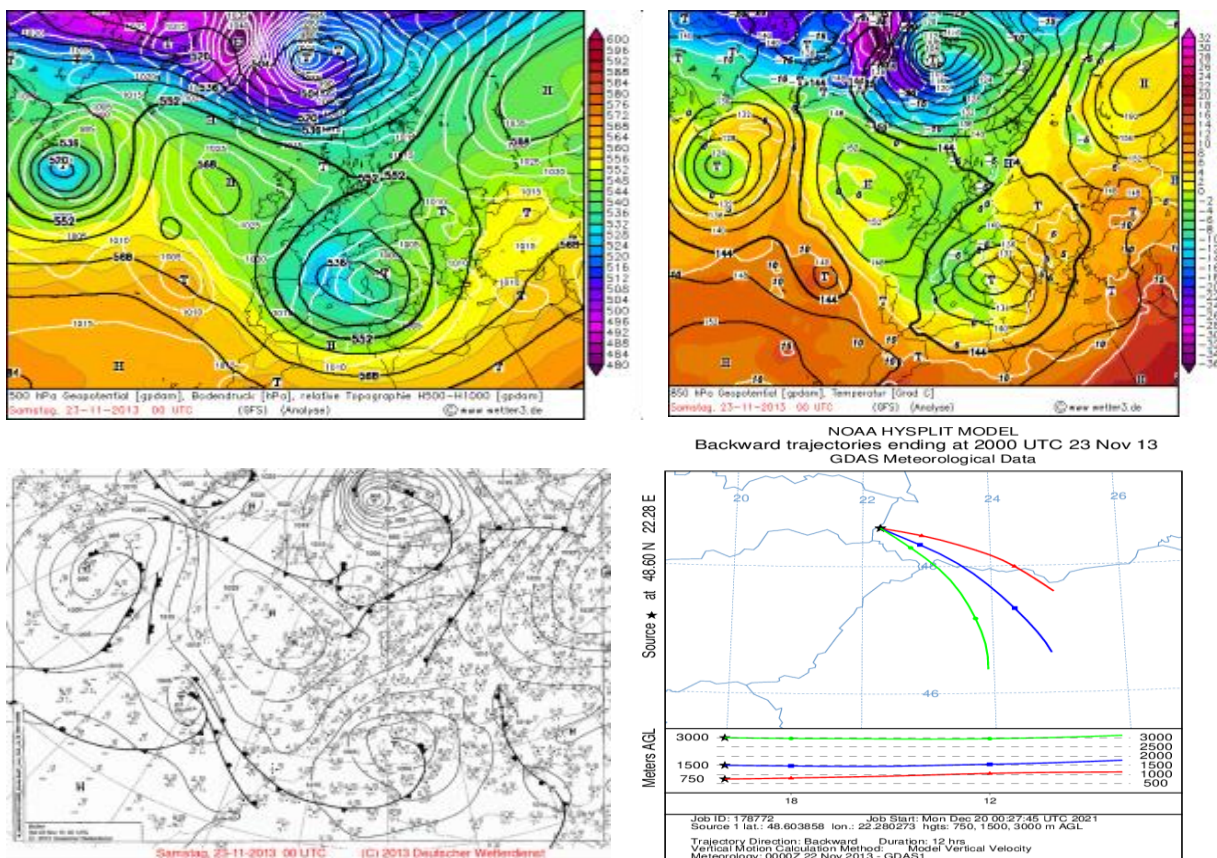


Рисунок 3.11 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 23.11.2013 (20.00)

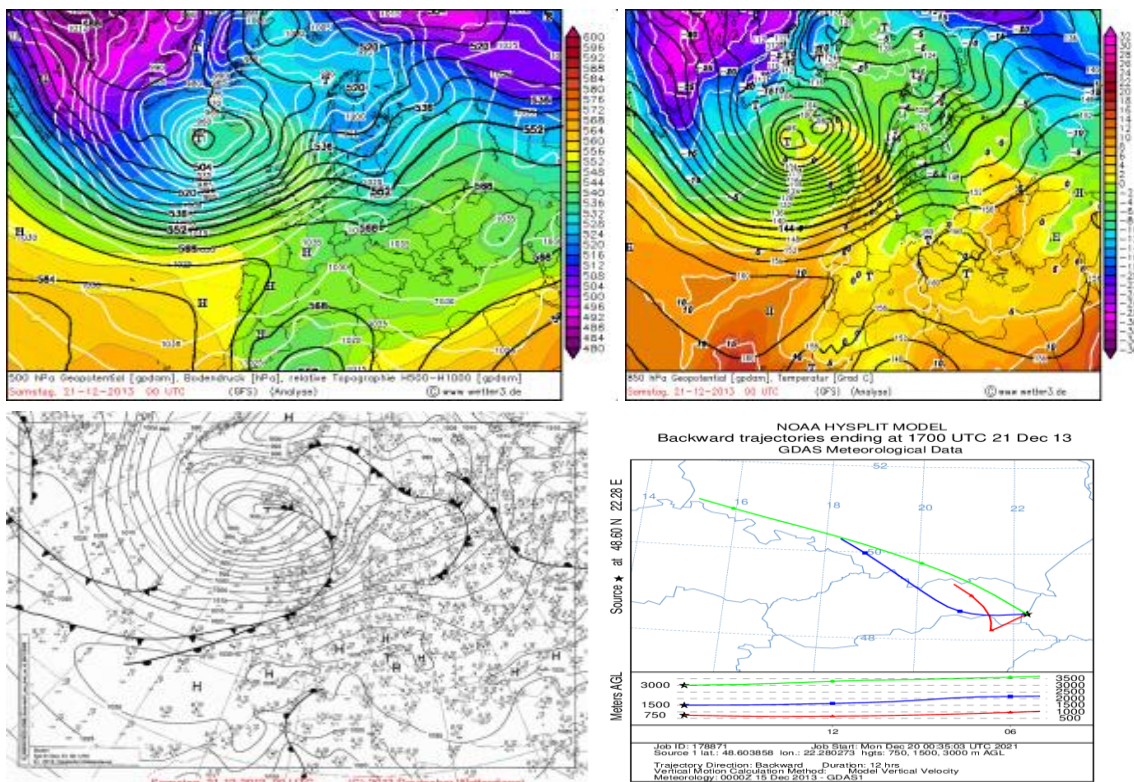


Рисунок 3.12- Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 21.12.2013 (20.00)



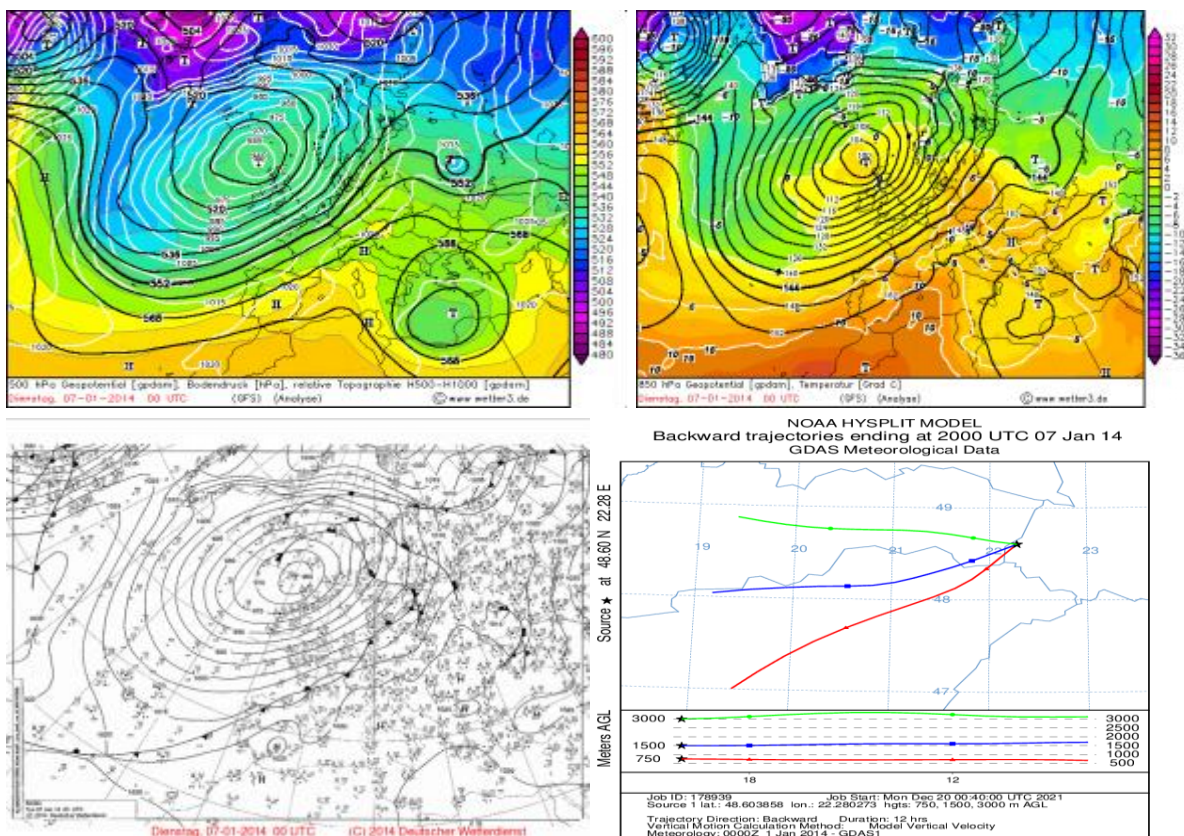


Рисунок 3.13 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 07.01.2014 (20.00)

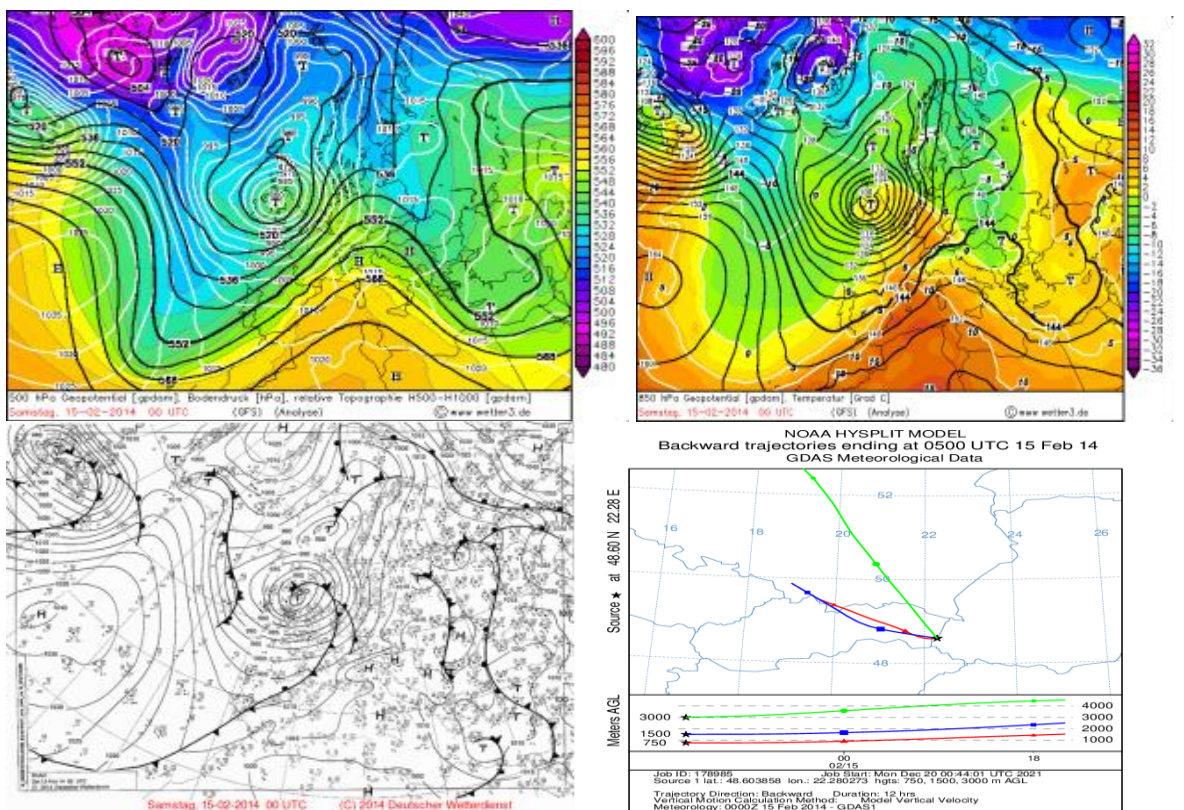


Рисунок 3.14 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 15.02.2014 (05.00)



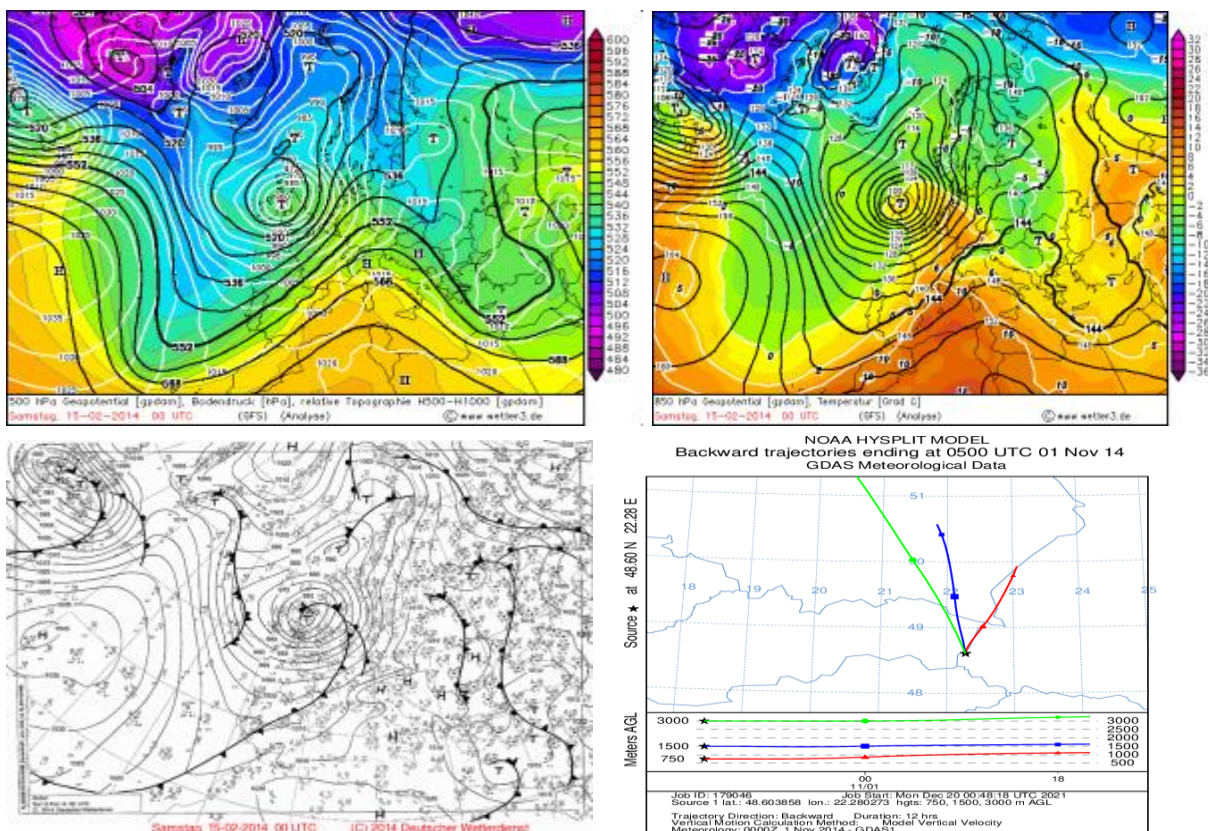


Рисунок 3.15 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 01.11.2014 (05.00)

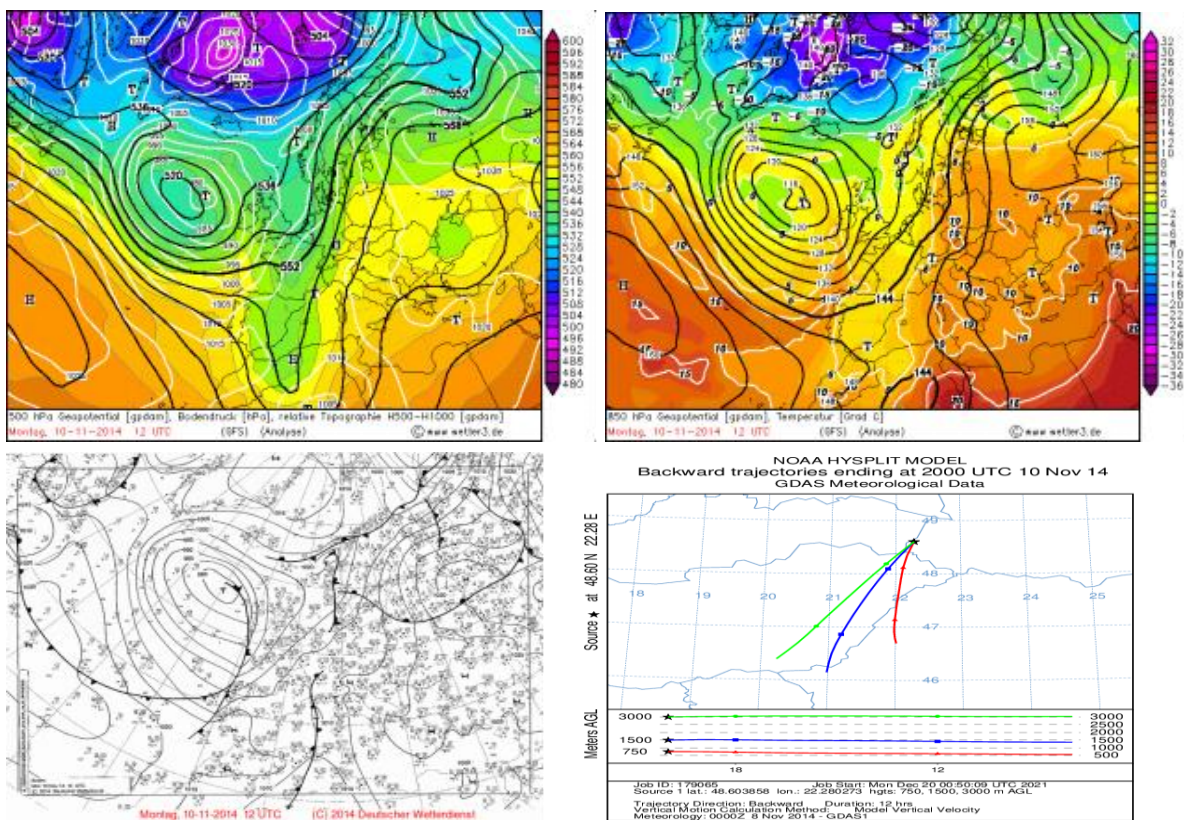


Рисунок 3.16 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 10.11.2014 (20.00-02.00)



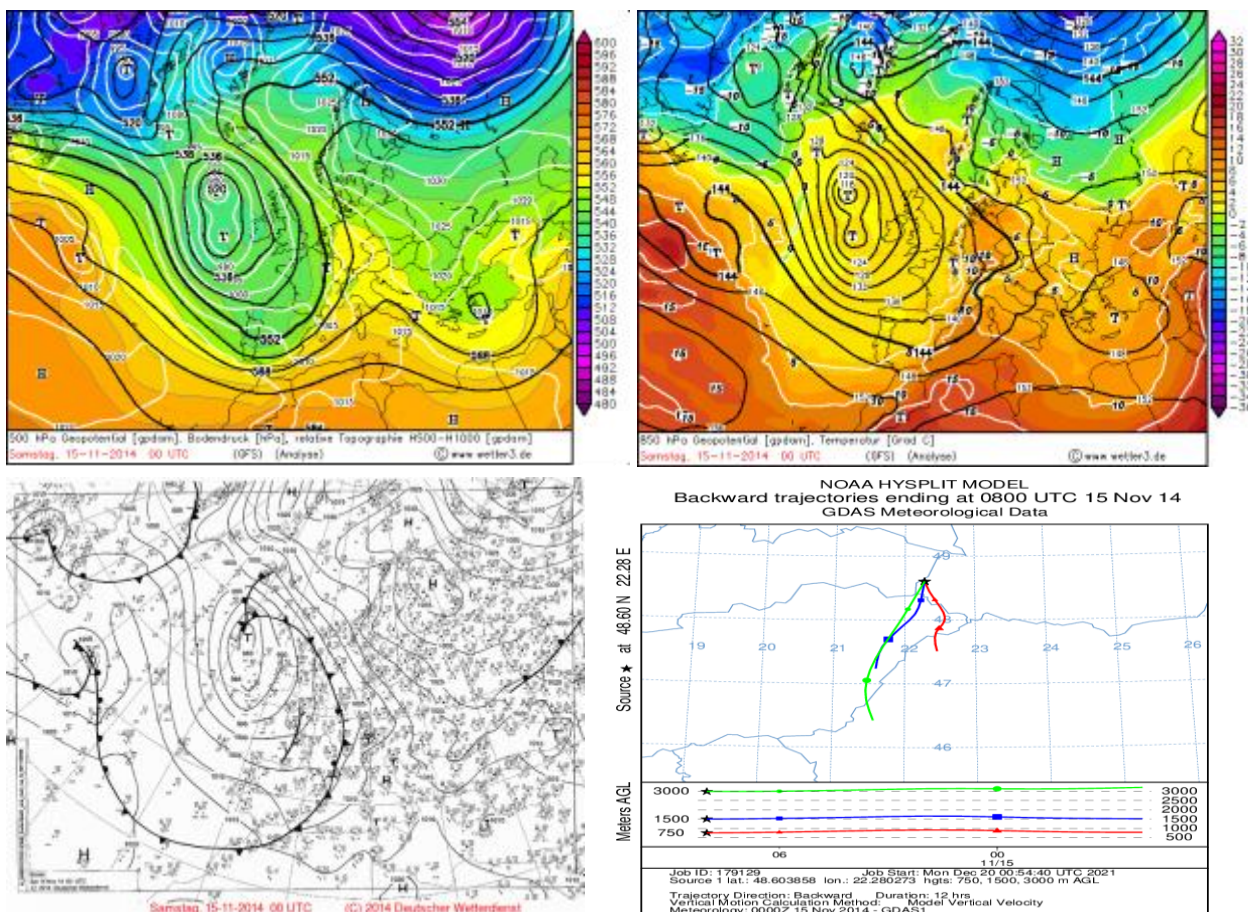


Рисунок 3.17 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 15.11.2014 (08.00)

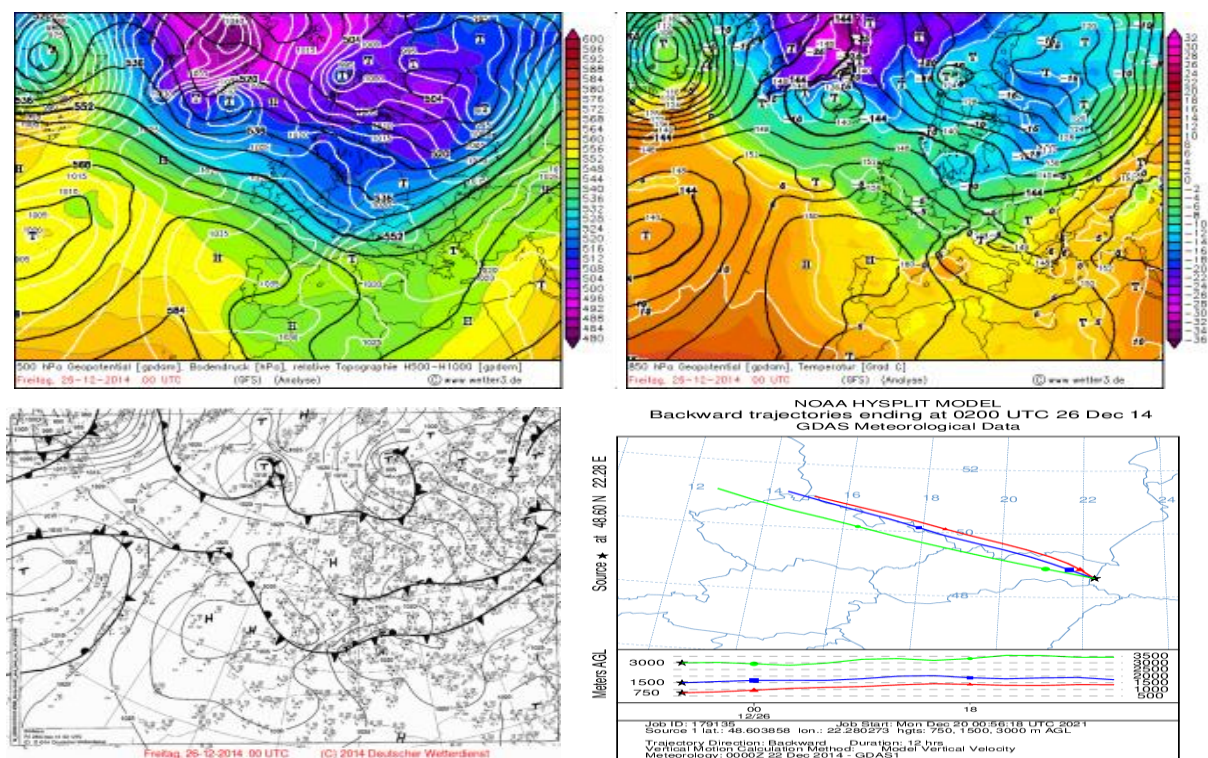


Рисунок 3.18 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 26.12.2014 (02.00)



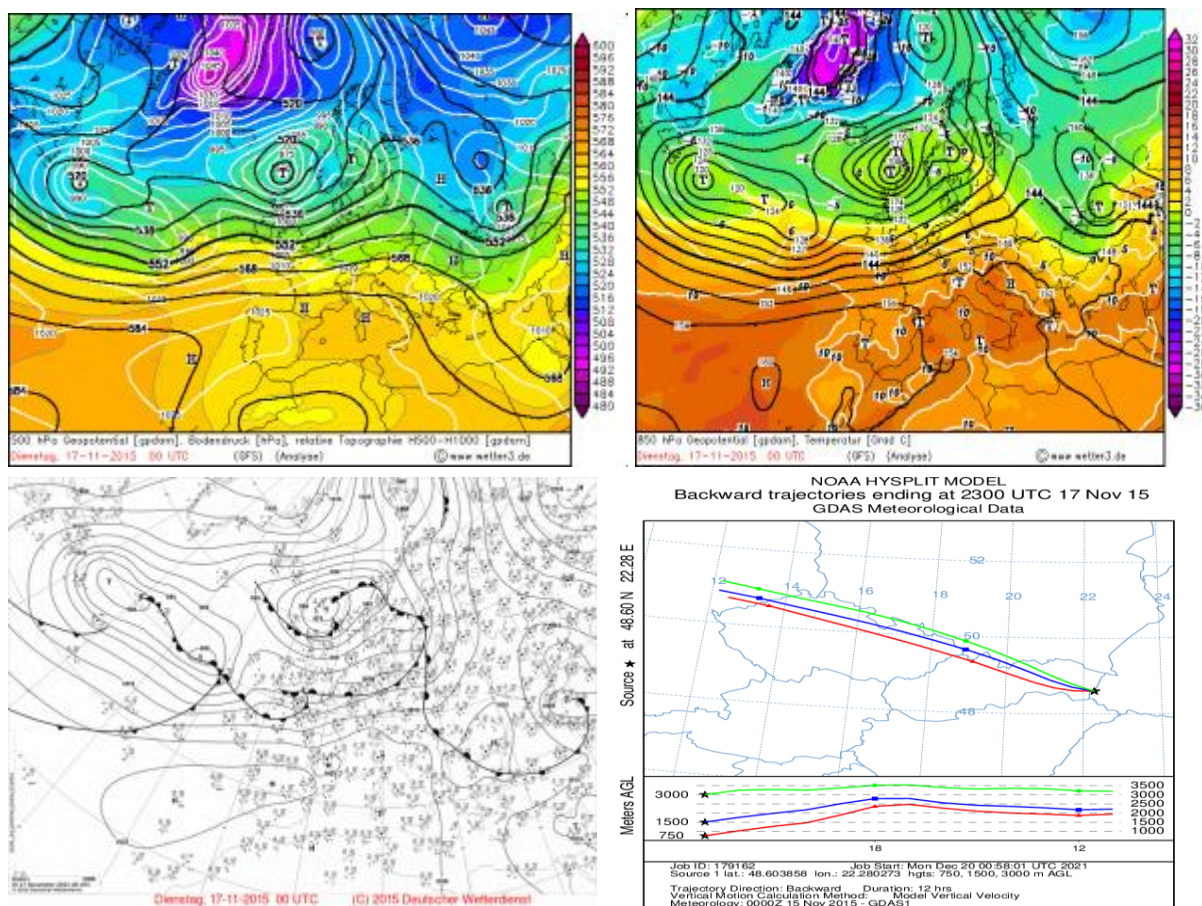


Рисунок 3.19 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 17.11.2015 (23.00)

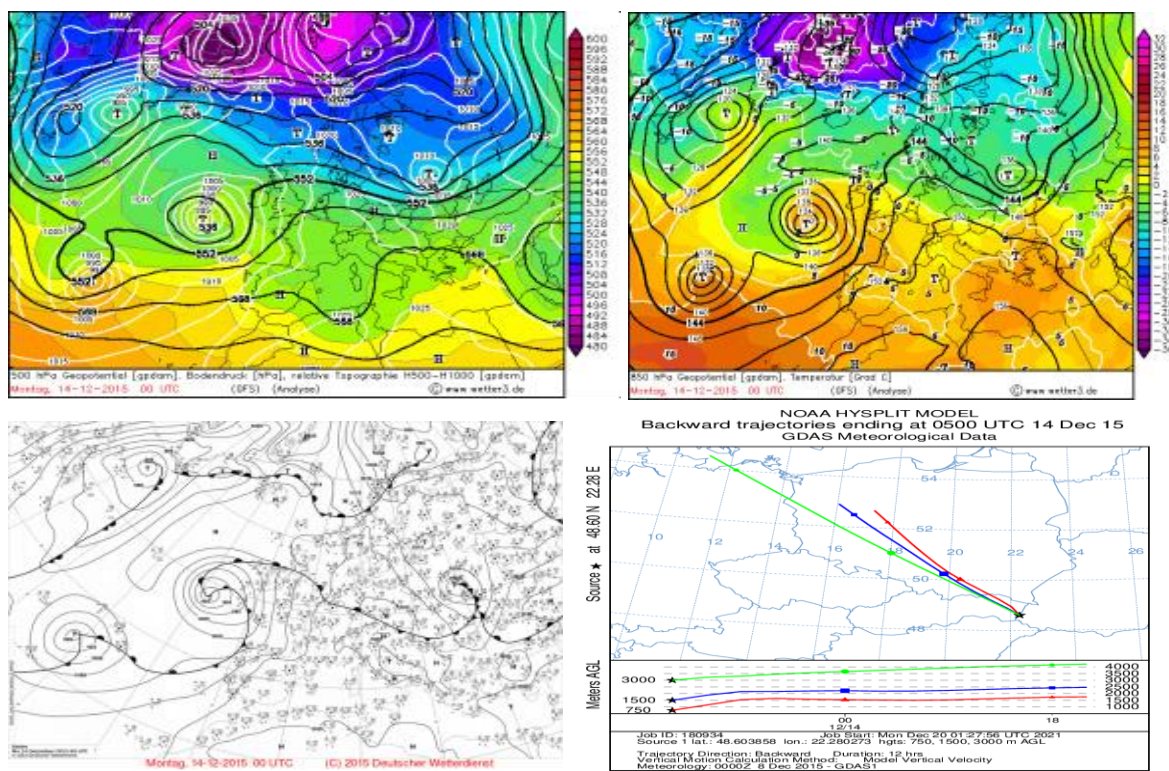


Рисунок 3.20 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 14.12.2015 (05.00)



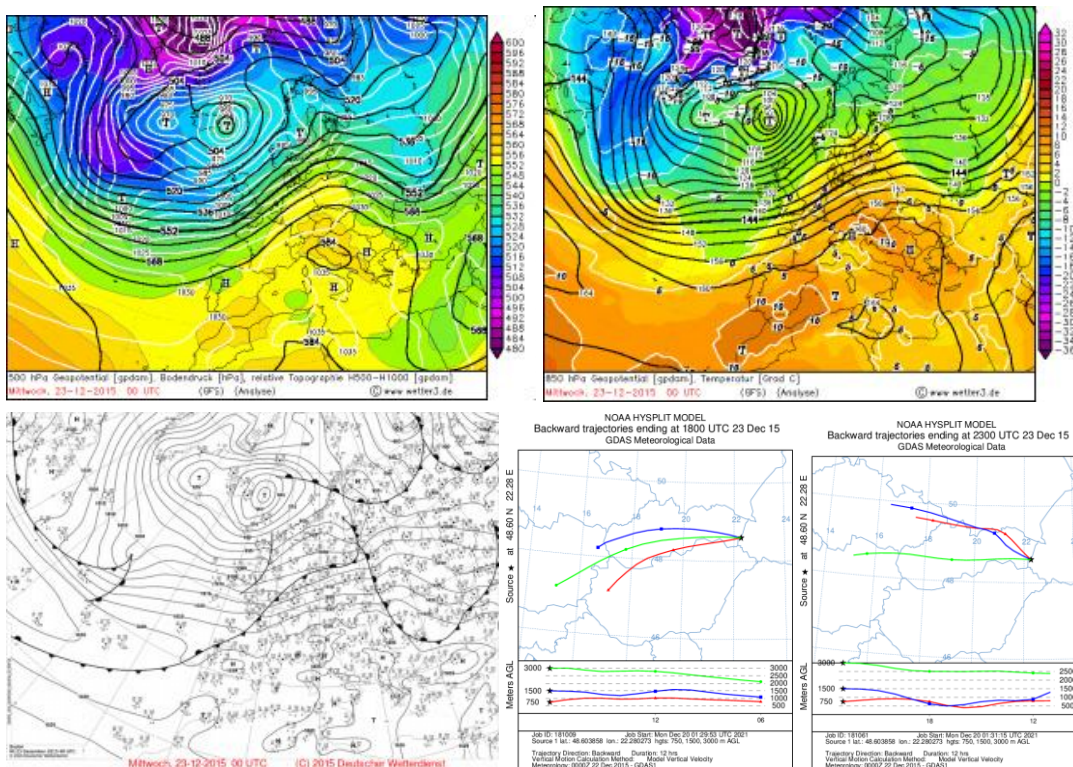


Рисунок 3.21 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 23.12.2015 (17.00-23.00)

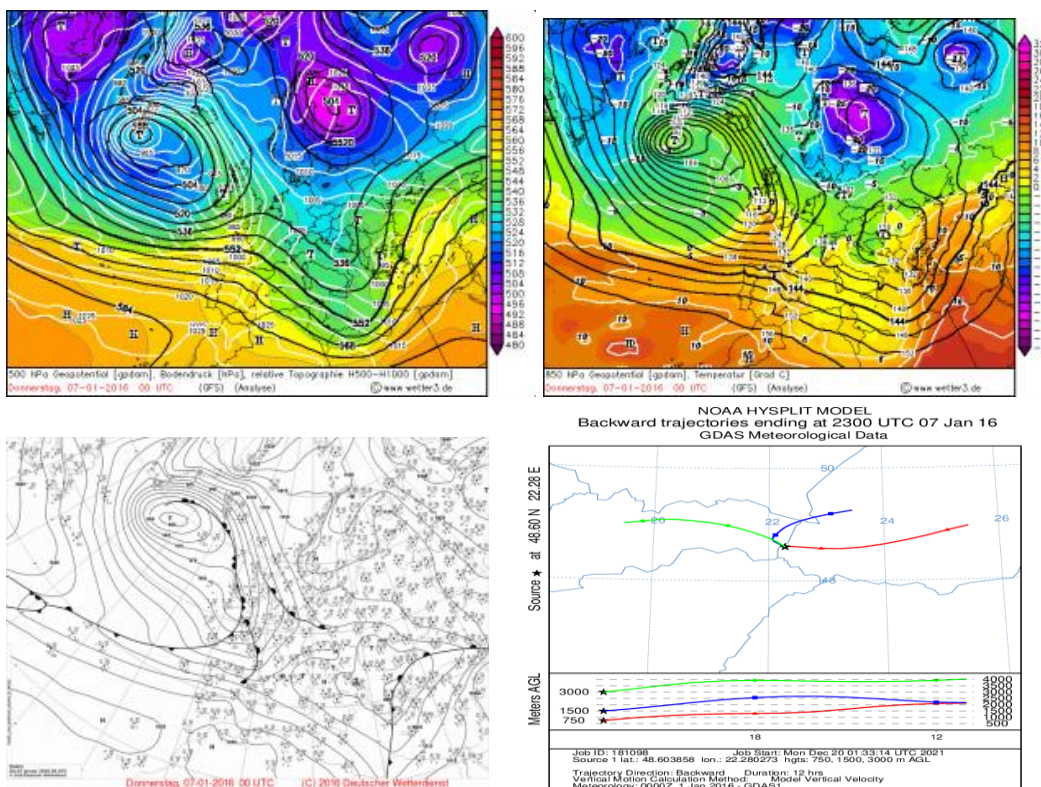


Рисунок 3.22 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 07.01.2016 (23.00)



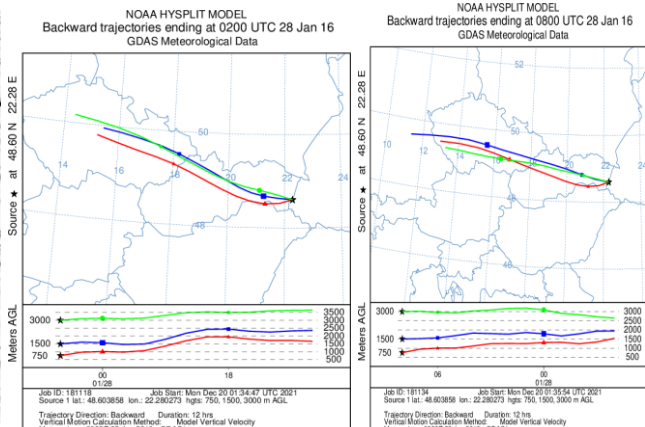
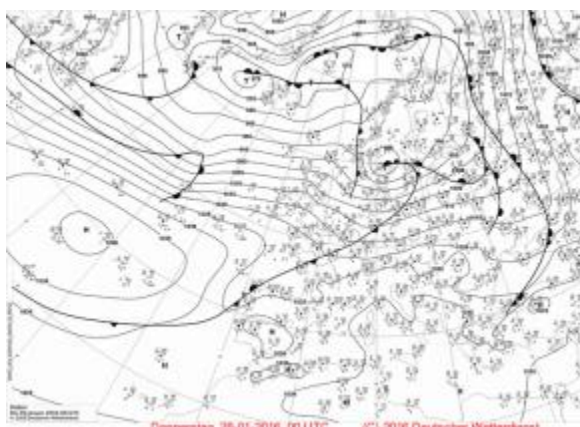
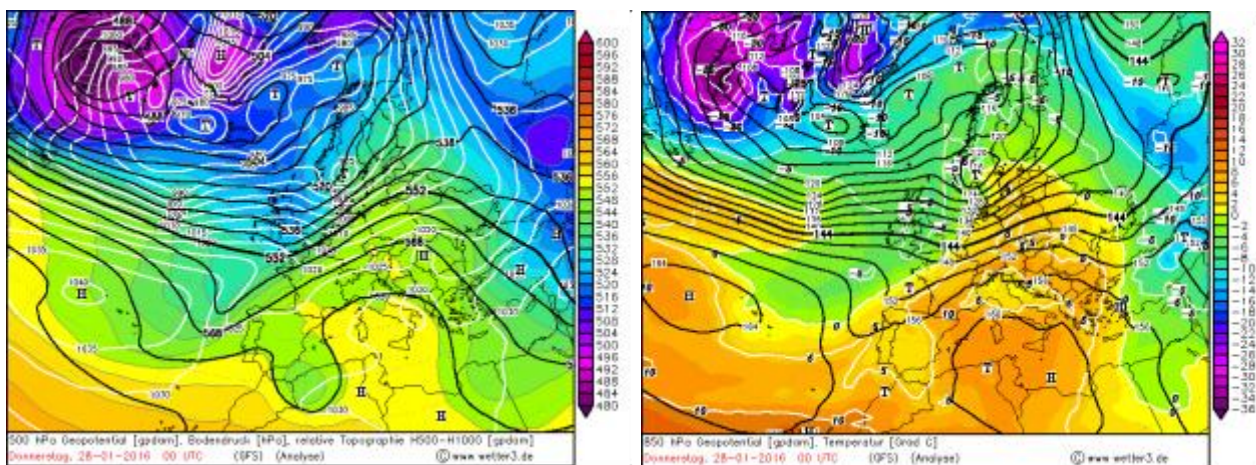


Рисунок 3.23 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 28.01.2016 (02.00-08.00)

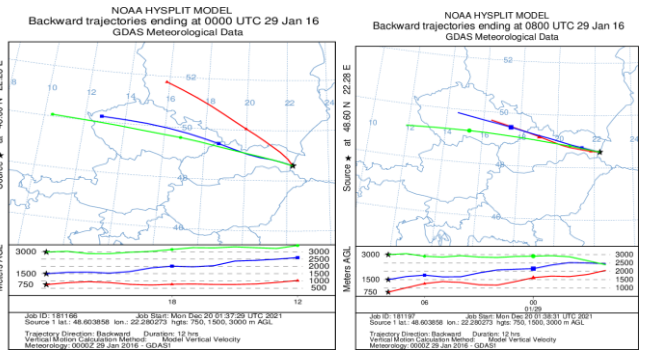
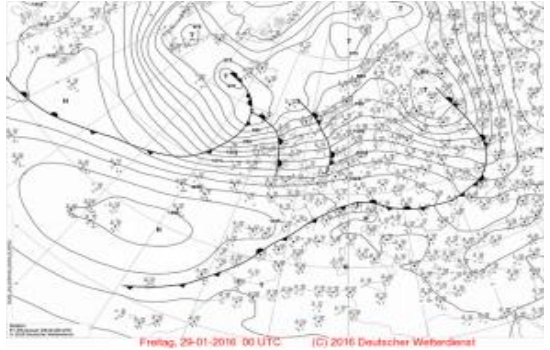
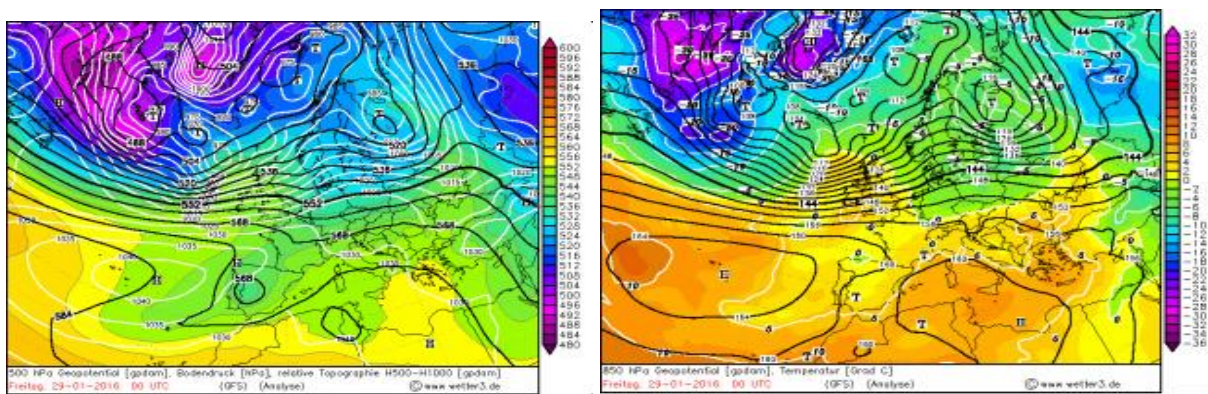


Рисунок 3.24 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 29.01.2016 (00.00-08.00)



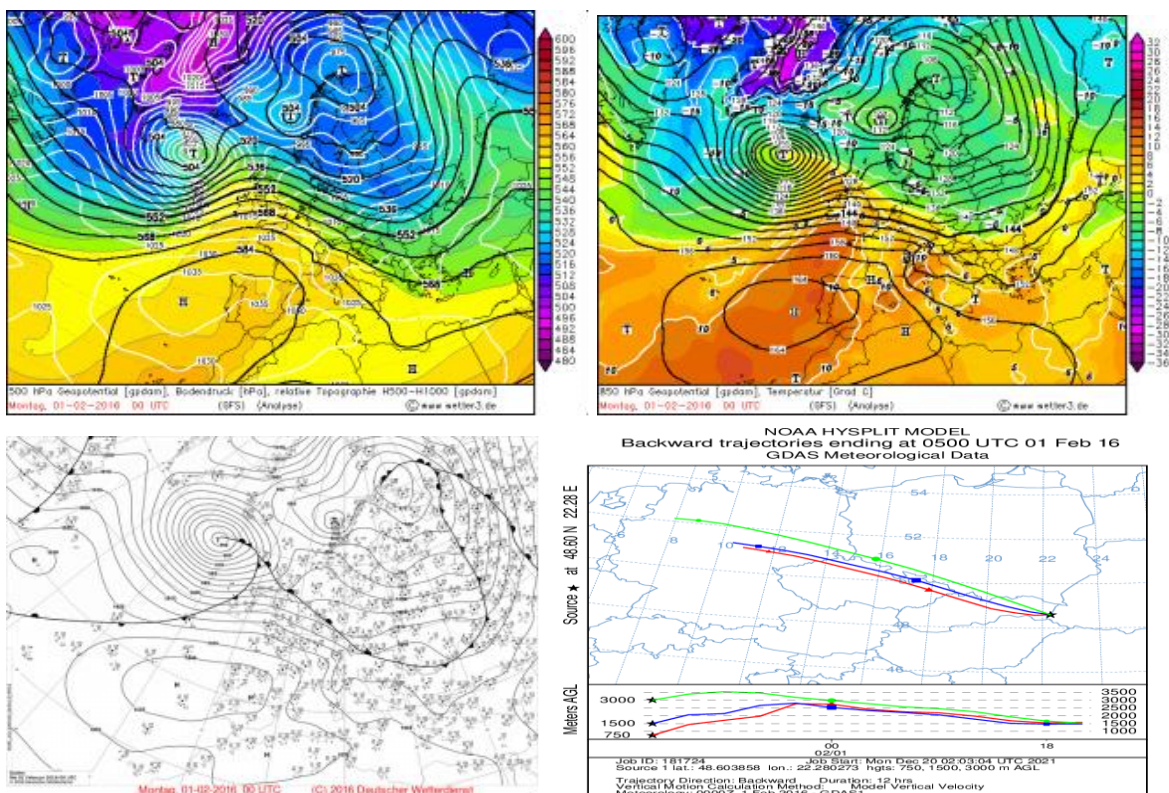


Рисунок 3.25 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 01.02.2016 (05.00)

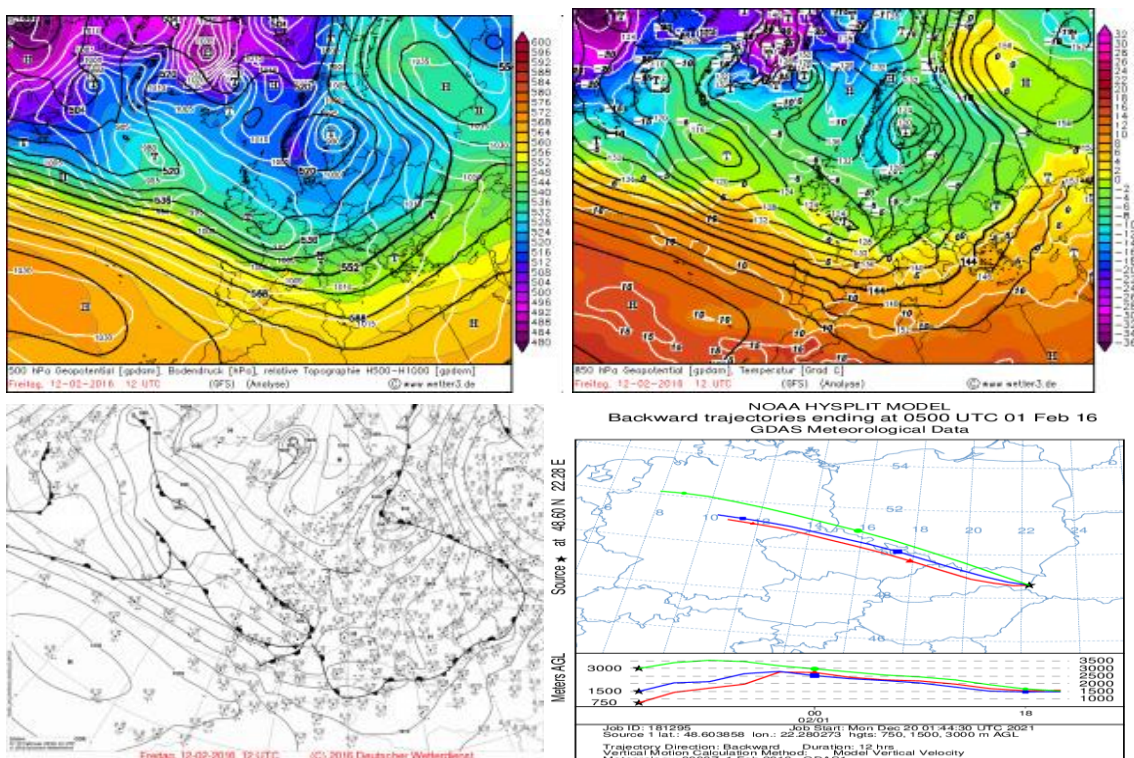


Рисунок 3.26 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 12.13.02.2016 (23.00-02.00)



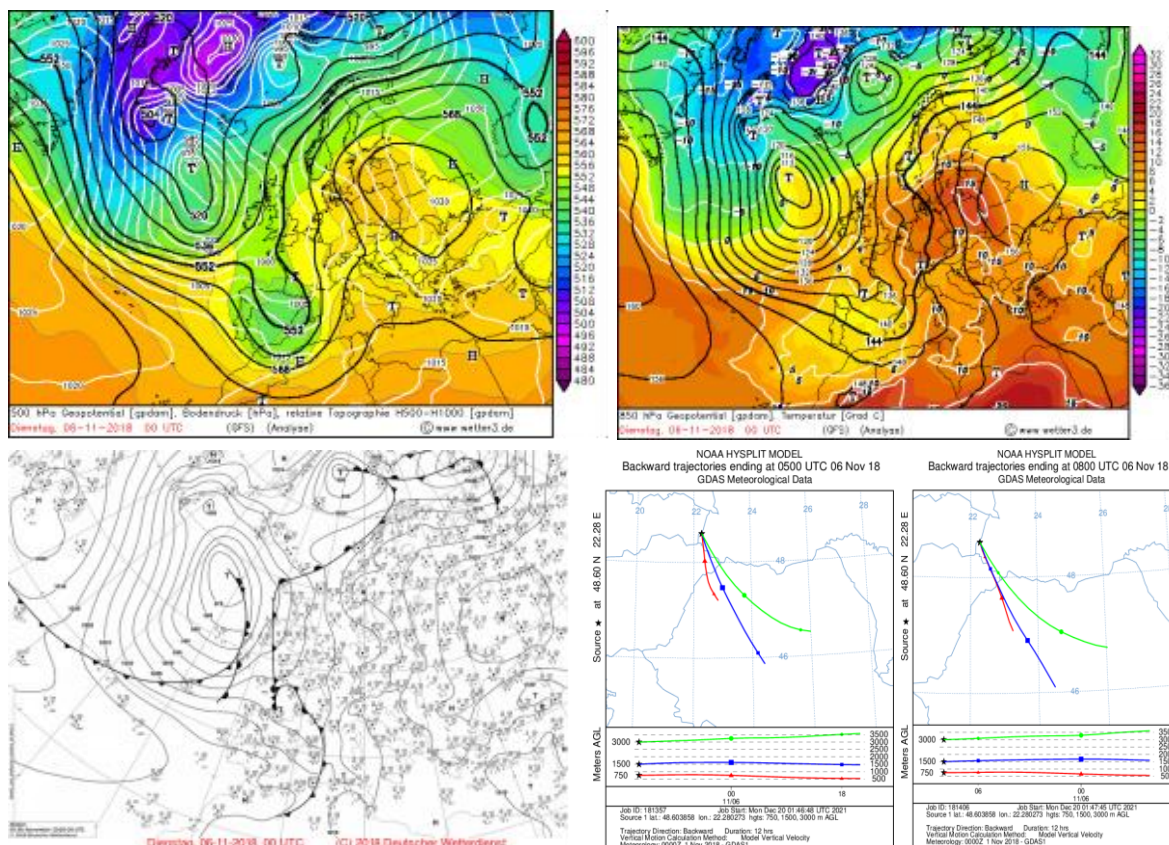


Рисунок 3.27 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 6.11.2018 (05.00-08.00)

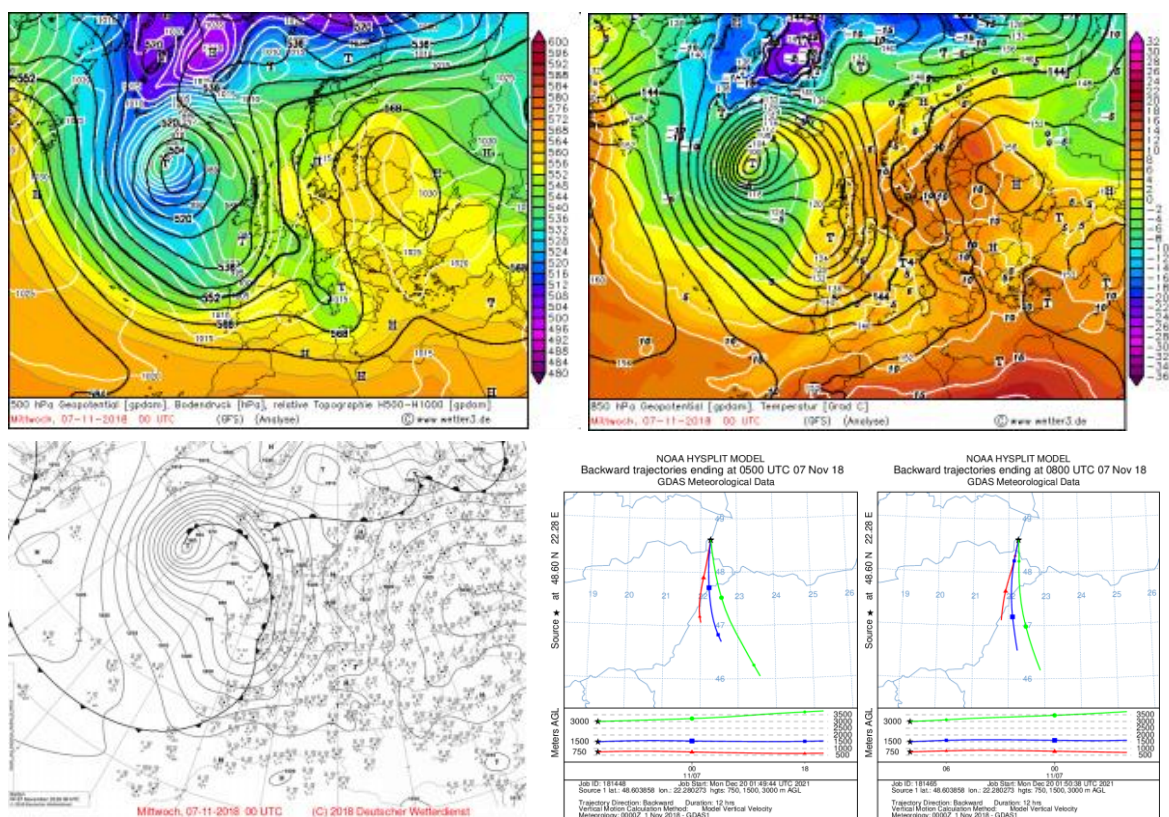


Рисунок 3.28 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 7.11.2018 (05.00-08.00)



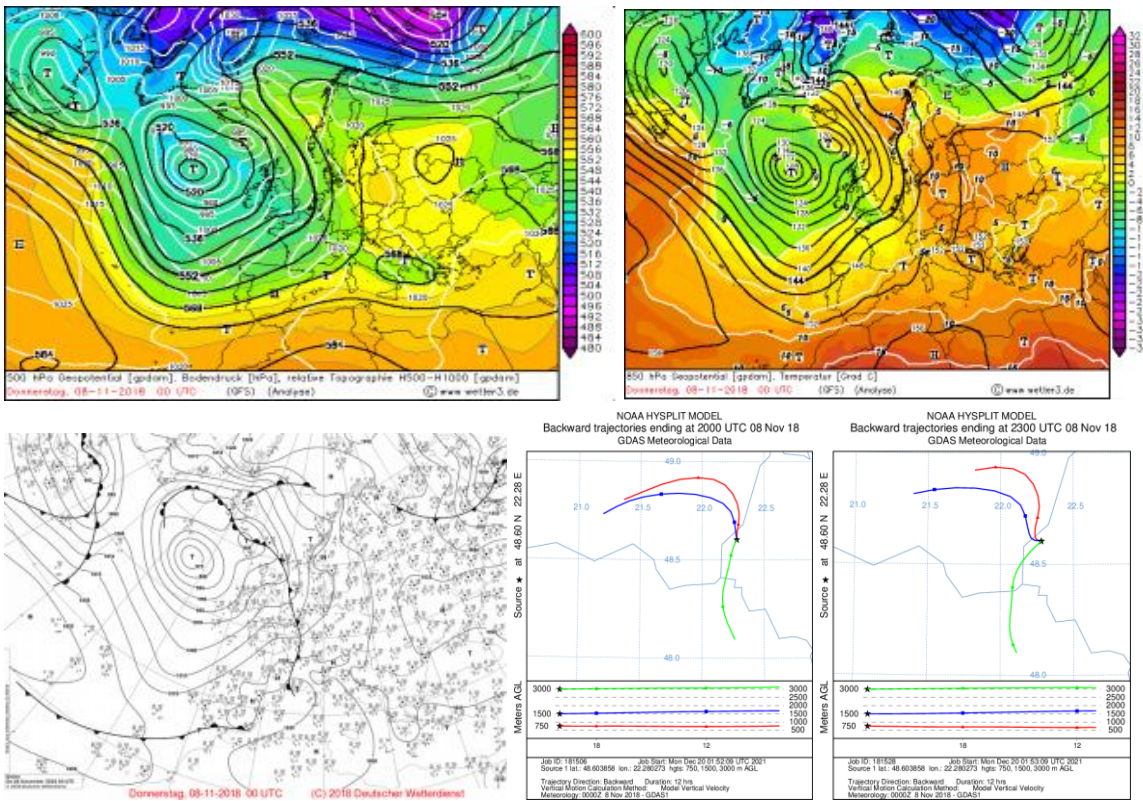


Рисунок 3.29 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 8.11.2018 (20.00-23.00)

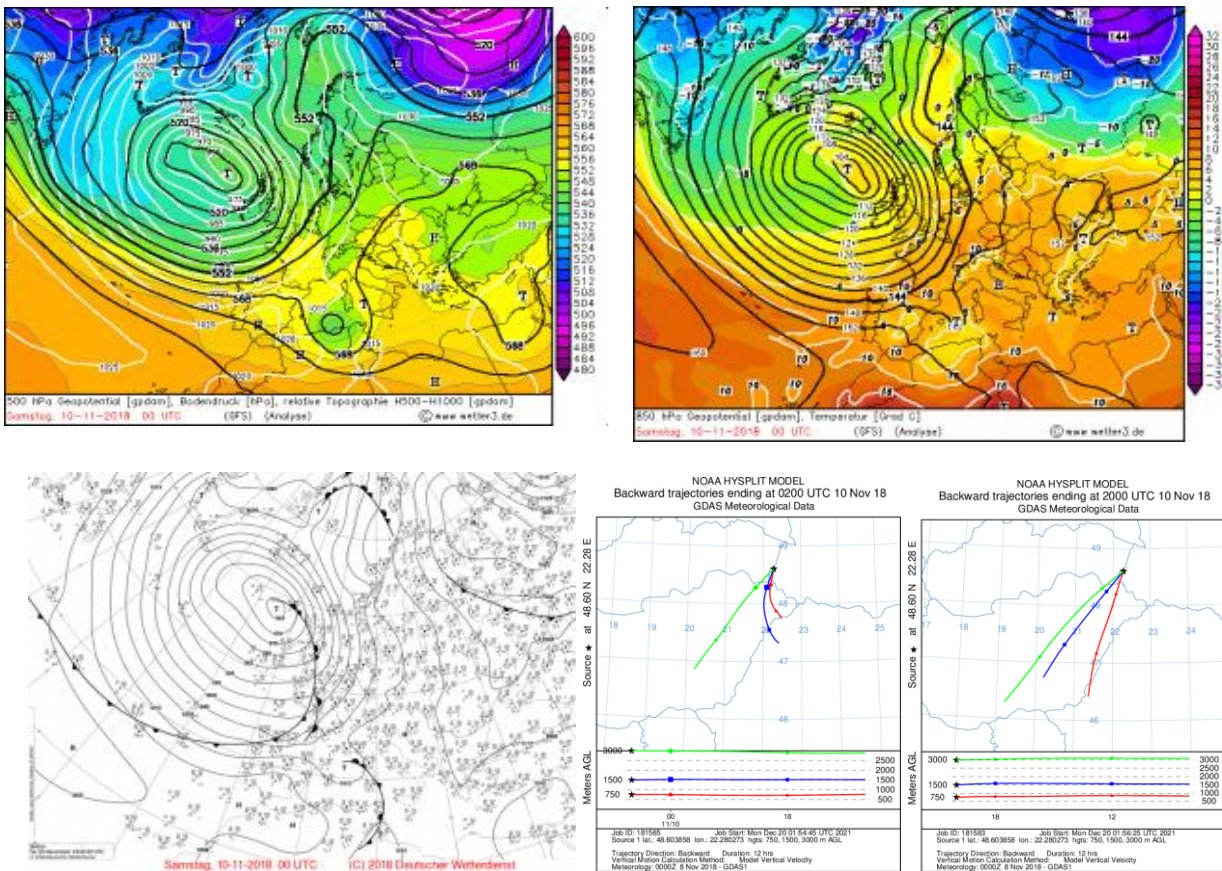


Рисунок 3.30 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 10.11.2018 (02-08.00; 20-23.00)



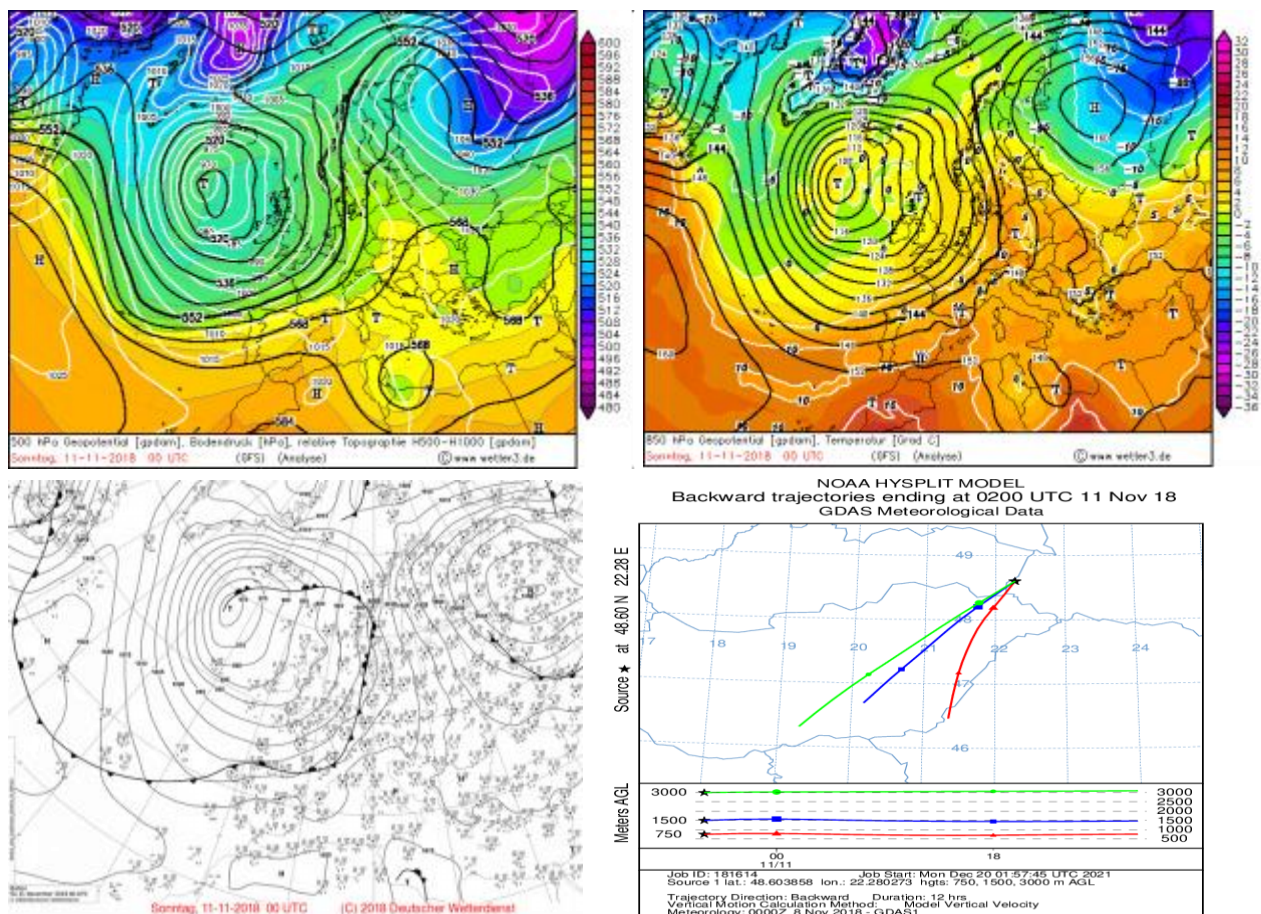


Рисунок 3.31 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 11.11.2018 (02.00)

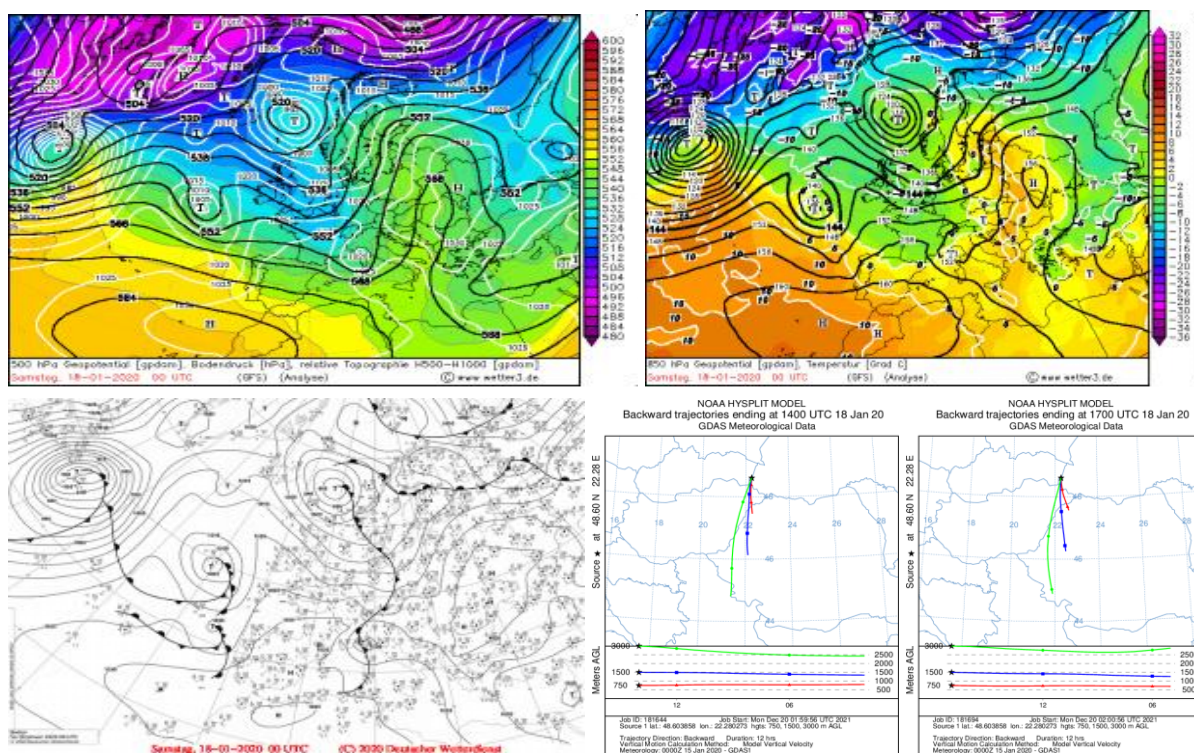


Рисунок 3.32 - Синоптична ситуація та траєкторії адвекції (12 год.) на початок туману на АМСЦ Ужгород 18.01.2020 (14.00-17.00)

повітряних мас на всіх рівнях, всі три траєкторії переносу не перевищують 200 км/12 год. В інших двох випадках листопада 2011 року (рис. 3.9-3.10) повторюється північно-західний перенос, аналогічний січневим випадкам.

23 листопада 2013 року випадок сильного туману (рис. 3.12) сформувався в північній частині улоговини Південного циклону, спостерігався південно-східний перенос повітряних мас на всіх рівнях, всі три траєкторії переносу не перевищують 500 км/12 год. 21 грудня 2013 року (рис. 3.13), знову ж в малоградієнтному баричному полі спостерігався північно-західний перенос, на рівні 700 гПа початкова відмітка знаходиться близько Дрездена.

7 січня та 15 лютого 2014 року (рис. 3.14), відбувалися західні, північно західні переноси повітряних мас, траєкторії яких не перевищували 500 км/12 год, дуже подібні на випадки у січні-лютому 2011 року. 1 листопада 2014 року (рис. 3.15) в гребні антициклону з півдня спостерігався північний перенос траєкторії низьких рівнях на перевищували 500 км/12 год, на рівні 700 гПа початкова відмітка стартувала з центральних районів Польщі. Далі, 10 та 15 листопада 2014 року (рис. 3.16-3.17) спостерігались південно-західні траєкторії подібні до випадку 4 листопада 2011 року. 26 грудня 2014 року в малоградієнтному баричному полі та холодній повітряній масі (рис. 3.18) з півночі сильний туман спостерігався при західному, північно-західному переносі та всі три початкові відмітки знаходяться на сході Німеччини. 17 листопада та 14 грудня 2015 року (рис. 3.19 та 3.20) переноси аналогічні 26 грудню 2014 року. 23 грудня 2015 року (рис. 3.21) в теплому секторі північного циклона відбувся західний перенос, який починався з центральних районів Австрії та Чехії.

Туман 7 січня 2016 року (рис. 3.21) спостерігався в глибокій улоговині двохцентрового циклону та холодній повітряній масі. Траєкторія переносу сильного туману відрізнялися відносно невеликою довжиною на висоті 1500 м, та різним напрямом переносу на висоті 3000 м відносно нижніх рівнів. Тобто на нижніх та середніх висотах перенос був східним, проте на рівні 700 гПа – західним.

Тумани 28, 29 січня, 1, 12-13 лютого 2016 року спостерігались малоградієнтному баричному полі (рис. 3.22-3.26) та холодній повітряній масі з півночі сильний туман в ці дні спостерігався при західному, північно-західному переносі та всі три початкові відмітки знаходяться на сході Польщі та Німеччини.

У 2018 р. 6, 7, 10 та 11 листопада (рис. 3.27-3.31) південний перенос повітряних мас на всіх рівнях, всі три траєкторії переносу не перевищують 500 км/12 год, що подібно до попередніх траєкторій листопада.

Туман 18 січня 2020 р. (рис. 3.32) спостерігався в теплому гребні антициклону. Траєкторія переносу сильного туману відрізнялися різним напрямом переносу на висоті 3000 м відносно нижніх рівнів. Тобто на нижніх та середніх висотах перенос був північно-західним, проте на висоті 700 гПа – південним але не перевищують 500 км/12 год.

Отже, тумани грудня, січня та лютого посилювалися переважно при західному або північно-західному переносі повітряних мас, та на нижніх та середніх висотах траєкторії адвекції значно менше, ніж на висоті 3000 м, тому що формуванню туману сприяє малоградієнтне баричне поле та послаблення приземного вітру. Проте в листопаді, в теплому секторі циклону при посилюванні туману переважає траєкторія адвекції південно-східного – південно-західного переносу та зазвичай не перевищує 500 км/12 год.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконаного дослідження отримані такі висновки:

1 В середньому на АМСЦ Ужгород в 1991-2020 рр. спостерігалось 26 днів з туманом, що менше, ніж у 1960-1990 рр. – 40 днів. Кількість туманів в січні-лютому та листопаді-грудні зменшилася, але збереглася активність туманоутворення в осінньо-зимовий період зі збереженням річного ходу з максимумом у січні та грудні.

2. Протягом доби найчастіше тумани формувалися вночі і зранку. Максимальна їх повторюваність зафіксована у ранкові години (04:00-06:00), та ввечері (16:00-18:00), а мінімальна - в період з 10 до 12 год. Тривалість туману різноманітна, від 110 до 244 год. за рік, а найчастіше тумани тривають 1-3 год.

3. В Ужгороді тумани найчастіше формувалися при слабкому вітрі змінних напрямків та при південно-східного вітрі.

4. Більше половини всіх туманів в холодне півріччя (60 %) утворюється при температурі  $-2...4^{\circ}\text{C}$ . Повторюваність туманів при додатній температурі в 2,5 рази більше ніж при від'ємній, що вказує на перевагу протягом року в Ужгороді крапельно-рідких туманів.

5. Сильний туман утворювався лише з листопада по лютий переважно при штилі (64 %) або північно-західному вітру зі швидкістю 0-2 м/с.

6. Утворення адвективного туману 4 листопада 2020 р. зі зниженням видимості до 100 м, який зберігався впродовж доби, відбулося під впливом баричного гребеню при південно-західному переносі теплого та вологого повітря та нічного затримуючого шару.

7. Формування туману з 6 по 11 листопада 2018 р. обумовлювала південно-західна периферія антициклону над ЄТР та тепла нестійка повітряна маса при слабкому приземному вітрі змінних напрямків.

8. Тумани в Ужгороді взимку посилювалися переважно при західному або північно-західному переносі повітряних мас у малоградієнтному баричному полі та послабленні приземного вітру. Навпаки, в листопаді сильні тумани утворювалися в теплому секторі циклону при південно-східному та південно-західному переносі.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Авіаційні правила України: Метеорологічне обслуговування цивільної авіації. 2017 [Електронний ресурс] <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1092-17#n1743>. (дата звернення 11.11.2021 р.)
2. Баранов А.М. Видимость в атмосфере и безопасность полетов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 205 с.
3. Гелетій І. Ю., Семергей-Чумаченко, А. Б. Сучасний режим та умови туманоутворення в Ужгороді // Матеріали XX наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ, 26-30 квітня 2021. Одеса: ОДЕКУ, 2021. С. 180-181.
4. Зміни до Авіаційних правил України: Метеорологічне обслуговування цивільної авіації. 2021, 88 с. [Електронний ресурс] [http://www.drsgov.ua/wp-content/uploads/2021/07/dokument-6292\\_0\\_19-21.pdf](http://www.drsgov.ua/wp-content/uploads/2021/07/dokument-6292_0_19-21.pdf) (дата звернення 1.11.2021)
5. Івус Г.П., Семергей-Чумаченко А.Б. Авіаційна метеорологія: конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2019. 120 с.
6. Івус Г.П., Семергей-Чумаченко А.Б., Агайар Е.В. Авіаційні прогнози погоди: навчальний посібник. Одеса:ОДЕКУ, 2020. 136 с.
7. Клімат України. - К.: Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
8. Клімат Ужгорода / под ред. В.Н. Бабиченко. Л: Гидрометеоиздат, 1991. 191 с.
9. Кліматичний кадастр України (стандартні кліматичні норми за період 1961–1990 рр.) / Державна гідрометеорологічна служба та ін. – УНДГМІ. Центральна геофізична обсерваторія. Київ, 2006. [Електронний ресурс].
10. Кошеленко І.В. Тумани // Труды УкрНИГМИ. 1977. Вып.155. С. 211-215.
11. Нажмудінова О.М. Процеси туманоутворення на АМСЦ Миколаїв // Фізична географія та геоморфологія, 2016, № 3, С. 88-94.
12. Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Випуск 3, частина 1: Метеорологічні спостереження на станціях / Державна гідрометеорологічна служба. К.: Ніка-Центр. 2011. 279 с.
13. Настанова з метеорологічного прогнозування. Київ: УкрГМЦ, 2019, 35 с. [Електронний ресурс] [https://meteo.gov.ua/files/content/docs/meteo\\_kerdoc/настанова%20з%20метеорологічного%20прогнозування.pdf](https://meteo.gov.ua/files/content/docs/meteo_kerdoc/настанова%20з%20метеорологічного%20прогнозування.pdf).

14. Погода в Україні та світі. Retrieved from: [www.rp5.ua//Погода\\_в\\_світі](http://www.rp5.ua//Погода_в_світі) (дата звернення: 10.12.2021).
15. Школьний Є. П. Фізика атмосфери // Київ: Міносвіти України, 1997. 698 с.
16. Archiv-Version des Animationstools [Електронний ресурс] [http://www1.wetter3.de/archiv\\_gfs\\_dt.html](http://www1.wetter3.de/archiv_gfs_dt.html) (дата звернення 10.12.2021 р.).
17. Climate data: Uzhhorod 1955–2021. <https://en.tutiempo.net/climate/ws-336310.html> (дата звернення 1.12.2021 р.).
18. EUMeTrain: ePort - Online Weather NG Maps) – <http://212.232.25.232/ng-maps/> (дата звернення 12.12.2021 р.).
19. EUMeTrain: SEVIRI 24-hour Microphysics RGB: Quick Guide, 2 p. [http://eumetrain.org/rgb\\_quick\\_guides/quick\\_guides/24MicroRGB.pdf](http://eumetrain.org/rgb_quick_guides/quick_guides/24MicroRGB.pdf)
20. Hungary Weather Map [Електронний ресурс] [https://www.met.hu/en/idojaras/aktualis\\_idojaras/muhold/](https://www.met.hu/en/idojaras/aktualis_idojaras/muhold/) (дата звернення 15.11.2021 р.).
21. MET Education: Visibility [Електронний ресурс] <https://metmalaysiaeducation.wordpress.com/visibility/> (дата звернення 07.11.2021 р.).
22. Nighttime Microphysics RGB: Quick Guide, 2 p. [https://rammb2.cira.colostate.edu/wp-content/uploads/2020/01/QuickGuide\\_GOESR\\_NtMicroRGB\\_Final\\_20191206-1.pdf](https://rammb2.cira.colostate.edu/wp-content/uploads/2020/01/QuickGuide_GOESR_NtMicroRGB_Final_20191206-1.pdf)
23. NOAA Air Resources Laboratory: HYSPLIT Trajectories [Електронний ресурс] [https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT\\_traj.php](https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php) (дата звернення 12.12.2021 р.).
24. <https://www.ventusky.com/?p=49.2;27.2;5&l=rain-3h&t=20201104/0000> (дата звернення 12.12.2021 р.).
25. <https://www.zamg.ac.at/cms/de/wetter/wetterkarte?tag=04&monat=11&jahr=2020&utc=00> (дата звернення 12.12.2021 р.).

## Додаток А

## Довідка

кафедри метеорології та кліматології  
до кваліфікаційної роботи магістра 2 курсу гр. МЗМ-20  
Гелетій Ірини Юріївни

«Процеси туманоутворення на АМСЦ Ужгород»

Кваліфікаційна робота магістра виконана на кафедрі метеорології та кліматології під керівництвом к.геогр.н., доц. Семергей-Чумаченко А.Б. в рамках науково-дослідної роботи «Розробка та вдосконалення методів прогнозу небезпечних та стихійних метеорологічних явищ над Україною» ДР № 0120U100487 (2020-2024 рр.).

Завідувач кафедри  
метеорології та кліматології

доц. Прокоф'єв О.М.