

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий
гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології

Кваліфікаційна робота магістра

на тему: «Циркуляційні та термодинамічні умови утворення сильних
снігопадів у Львівській області»

Виконала студентка 2 курсу групи МЗМ-21
Спеціальності 103 «Науки про Землю»
Освітня програма
«Метеорологія і кліматологія»
Біла Васирина Степанівна

Керівник канд. геогр. наук, доцент
Семергей-Чумаченко Аліна Борисівна

Рецензент д-р.геогр.наук, професор
Польовий Анатолій Миколайович

Одеса 2022

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

“10” жовтня 2022 року
Прогоф'єв О.М.

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

студенту(ці) _____ Білій Васи́ліні Степанівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Циркуляційні та термодинамічні умови утворення сильних снігопадів у Львівській області

керівник роботи Семергей-Чумаченко Аліна Борисівна канд. геогр. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ОДЕКУ від “30” вересня 2022 року № 166-С

2. Строк подання студентом роботи _____ 17 листопада 2022 року

3. Вихідні дані до роботи 1. Електронні архіви метеорологічних спостережень з 2011 по 2021 рр. на метеорологічних станціях Львів, Броди, Дорогобич, Славське, Турка, Рава Руська. 2. Синоптичні карти, супутникові знімки та аерологічні діаграми за даними реаналізу ERA 5.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Вибір, аналіз та систематизація наукової літератури за напрямком дослідження. 2. Формування вибірки вихідної інформації з 2011 по 2021 рр. на метеорологічних станціях Львів, Броди, Дорогобич, Славське, Турка, Рава Руська. 3. Визначення режимних утворення сильних снігопадів на станціях Львівської області. 4. Встановлення циркуляційних та термодинамічних умов формування сильних снігопадів у Львівській області

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) - Рис. 1.1–1.8 – характеристика географії та клімату Львівщини; Рис. 2.1–2.4 – повторюваність утворення сильних снігопадів у Львівській області в 2011-2021 рр.; рис. 2.5-2.10– синоптичні матеріали; рис.3.1-3.7 – аерологічні діаграми та синоптичні карти 12-13.11.3016 рр.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 10 жовтня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Отримання завдання	10.10.2022		
2	Збір вихідних даних до роботи. Ознайомлення з літературними джерелами за темою кваліфікаційної роботи бакалавра.	20.10.2022	95	відмінно
3	Визначення режиму сильних снігопадів у Львівській області	29.10.2022	95	відмінно
4	Рубіжна атестація	01.11.2022 - 05.11.2022 р.	95	відмінно
5	Характеристика циркуляційних умов виникнення сильних снігопадів	10.11.2022	95	відмінно
6	Встановлення термодинамічних умов виникнення сильних снігопадів	12.11.2022	95	відмінно
7	Підведення підсумків та підготовка рукопису до друку	14.11.2022	95	відмінно
8	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату.	17.11.2022	95	відмінно
9	Перевірка роботи на плагіат, складення протоколу і висновку керівника. Підписання авторського договору.	18-20.11.2022	-	-
10	Підготовка презентаційного матеріалу	-	-	-
11	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)	-	-	-

Студент



(підпис)

Біла В.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



(підпис)

Семергей-Чумаченко А.Б.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема: «Циркуляційні та термодинамічні умови утворення сильних снігопадів у Львівській області»

Автор: Біла Васирина Степанівна

Актуальність визначення циркуляційних та термодинамічних умов випадіння сильного снігу у Львівській області, а також надання рекомендацій щодо його прогнозування зумовлена значним ускладненням метеорологічних умов польоту повітряного судна через сильний сніг.

Метою роботи є визначення сучасного режиму утворення сильних та надзвичайних снігопадів у Львівській області, циркуляційних та термодинамічних умов, що сприяли їх виникненню з 2011 по 2021 рр.

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

- визначена повторюваність виникнення значних, сильних та надзвичайних снігопадів у Львівській області;
- встановлені циркуляційні умови формування сильних та надзвичайних снігопадів у Львівській області з 2011 по 2021 рр.
- виявлені траєкторії пересування повітряних мас під час посилення опадів;

Об'єкт дослідження – сильний сніг на метеорологічних станціях Львівської області.

Предмет дослідження – циркуляційні та термодинамічні умови випадіння сильного снігу у Львівській області.

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

Наукова новизна отриманих результатів

В даній роботі *вперше* для Львівської області:

- встановлені повторюваність та річний хід утворення сильних снігопадів у Львівській області у 2011-2021 рр.
- виявлені сучасні синоптичні та термодинамічні умови формування сильних снігопадів.

Практичне значення отриманих результатів - характеристика поточних циркуляційних та термодинамічних умов посилення снігопадів буде використана для уточнення методів прогнозу, для покращення якості метеорологічного обслуговування польотів у Львівській області.

Кваліфікаційна робота магістра в обсязі 55 сторінок складається з 3 розділів, висновків, переліку посилань з 33 джерел, містить 25 рисунків та 4 таблиць.

Ключові слова: сильний сніг, надзвичайний сніг, фронт оклюзії, улоговина, нестійкість.

SUMMARY

Thesis Topic: «Circulation and thermodynamic conditions of the formation of heavy snowfall in the Lviv region »

Author: BilaVasylyna

The urgency of determining the circulation and thermodynamic conditions of heavy snowfall in the Lviv region, as well as providing recommendations on its forecasting, is due to the significant complication of the meteorological conditions of aircraft flight due to heavy snow.

The aim of the work is determination of the current mode of formation of heavy and extraordinary snowfalls in the Lviv region, circulation and thermodynamic conditions that contributed to their occurrence from 2011 to 2021.

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

- determined the frequency of occurrence of significant, heavy and extraordinary snowfalls in the Lviv region is;
- established circulation conditions for the formation of heavy and extraordinary snowfalls in the Lviv region from 2011 to 2021.
- identified trajectories of movement of air masses during increased precipitation;

The object of the study is heavy snow at meteorological stations of the Lviv region.

The subject of research – the circulation and thermodynamic conditions of heavy snowfall in Lviv region

Research methods:

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

Scientific novelty of results obtained.

In this work for the first time for Lviv region:

- the repeatability and annual course of the formation of heavy snowfalls in the Lviv region in 2011-2021 have been established.
- modern synoptic conditions for the formation of heavy snowfalls were revealed.

The practical significance of the obtained results - the characteristics of the current circulation and thermodynamic conditions of increased snowfall will be used to refine prognostic methods, to improve the quality of meteorological service for flights in the Lviv region.

The 55-page master's thesis consists of 3 sections, conclusions, a list of references from 33 sources, contains 25 figures and 4 tables.

Keywords: heavy snow, extreme snow, occlusion front, trough, instability.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ТА КЛІМАТИЧНА	
ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЬВІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ	8
1.1 Короткий опис Львівської області.....	8
1.2 Особливості розташування метеостанції Львівщини.....	13
1.3 Оцінка зміни режиму температури та опадів на метеостанціях Львівщини з 1979 по 2021 рр.....	16
2 ЦИРКУЛЯЦІЙНІ УМОВИ ВИНИКНЕННЯ СИЛЬНИХ	
СНІГОПАДІВНА ЛЬВІВЩИНІ.....	22
2.1 Просторово-часовий розподіл випадіння сильного снігу у Львівської області у 2011-2021 рр.	22
2.2 Загальні відомості про конфігурацію баричного поля, що сприяє посиленню снігопадів у регіоні дослідження	29
2.3 Характеристика синоптичних умов та траєкторій переносу повітряних мас під час сильних снігопадів у Львівській області у 2011-2021 рр.	31
3 ТЕРМОДИНАМІЧНІ УМОВИ ПОСИЛЕННЯ СНІГОПАДІВ	
НА ЛЬВІВЩИНІ	39
3.1 Аналіз аерологічної діаграми при утворенні сильних снігопадів .	39
3.2 Синоптичні і метеорологічні умови виникнення сильних снігопадів у Львівській області 12-13 листопада 2016 р.	43
ВИСНОВКИ.....	50
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	51
Додаток А.....	55

ВСТУП

Сильні та тривалі снігопади суттєво ускладнюють роботу всіх учасників повітряних перевезень. По-перше, погіршується видимість, яка є одним з основних критеріїв для дозволу на посадку або зліт, особливо вночі через засліплення пілота відбиттям світла кристаликами льоду та снігу. По-друге, виникають перешкоди через електризацію, коли через тертя крупинок снігу статично електризується корпус літака, а у пілотів на лобовому склі виникають мікророзряди і з'являються невеликі перешкоди в етері з диспетчером. По-третє, при посадці літака під час снігопаду суттєво погіршується коефіцієнт зчеплення зі злітно-посадковою смугою, що може спричинити авіаційну подію. Тому під час випуску попереджень по аеродрому стосовно загальної висоти снігового покриву критерії, які будуть використовуватись, узгоджуються з відповідними користувачами. [1, 2, 4, 5].

Актуальність визначення сучасного режиму та умов виникнення сильних снігопадів на аеродромі, а також надання рекомендацій щодо їх прогнозування обумовлена суттєвим ускладненням польотних умов повітряних суден, навіть до заборони злету та посадки при сильному снізі. Незважаючи на широке використання посадкових систем [1, 4], посадка літака наосліп є складною операцією.

Згідно [9] снігопад слід віднести до стихійного метеорологічного явища II рівня небезпечності (СМЯ II) та вважати «сильним снігом» при кількості опадів 20-30 мм за інтервал часу ≤ 12 год. Інтенсивність снігопаду ≥ 30 мм за ≤ 12 год. визначається як «надзвичайний сніг», тобто стихійне метеорологічне явище III рівня небезпечності (СМЯ III).

Метою кваліфікаційної роботи є визначення сучасного режиму утворення сильних та надзвичайних снігопадів у Львівській області, циркуляційних та термодинамічних умов, що сприяли їх виникненню з 2011 по 2021 рр.

Перший розділ складається з фізико-географічного та кліматичного опису регіону дослідження, а також характеристики кліматичних змін на метеорологічних станціях Львівщини.

Другий розділ містить відомості щодо просторово-часового розподілу утворення сильних та надзвичайних снігопадів у Львівській області з 2011 по 2021 р. Також встановлені циркуляційні умови посилення снігопадів.

У третьому розділі приведений аналіз аерологічних діаграм, побудованих за даними реаналіза ERA5 та синоптичний огляд випадку утворення СМЯ ІІІ у Львові та Бродах 13 листопада 2016 р.

У висновках представлені результати виконаної роботи.

Перелік посилань складається з 33 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 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ТА КЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЬВІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ

1.1 Короткий опис Львівської області

Львівська область - адміністративно-територіальна одиниця на заході України (рис 1.1) та є однією з трьох областей історично-культурного регіону Галичина, частиною Карпатського євро регіону [7]. Одна з найрозвиненіших областей держави в економічному, туристичному, культурному та науковому напрямках. Площа області складає 21,831 тис. км², що становить 3,6 % території України. Область займає південно-західну окраїну Східно-Європейської рівнини і західну частину північного макросхилу Українських Карпат. Львівщина на заході межує з Республікою Польща, на півночі – з Волинською, на північному сході – з Рівненською, на сході – з Тернопільською, на південному сході – з Івано-Франківською, на півдні – з Закарпатською областями.



Рисунок 1.1 – Географічне розташування Львівської області

На захід та південний захід від Львова розташована Сянсько-Дністровська вододільна рівнина – хвиляста рівнина у межах Львівської області. Рівнина складається з Яворівської (Надсянської) улоговини (абсолютні висоти 230-250 м) і Сянсько-Дністровської височини (заввишки

до 340 м). Рельєф полого-хвилястий. Глибина розчленування поверхні 10-30 м. У межах рівнини – численні ріки та ставки. Найпоширеніші місцевості: рівнинні слабодреновані та заболочені на водно-льодовикових відкладах, вкриті сосново-буковими лісами і терасні з опідзоленими ґрунтами на лесових та піщаних породах.

На півночі та північному заході Львівщини розташоване Розточчя – звужене горбисте пасмо 15-20 км завширшки і до 400 м завдовжки, яке простягається у напрямі з південного сходу від Львова (рис. 1.2) на північний захід до Томашова, Щебрешина і Красьника (Польща). Над прилеглими рівнинами (Надсянською низовиною на південному-заході і Надбужанською котловиною на північному-сході) Розточчя підноситься на 100-150 м, а на північному заході воно з'єднується з Холмською і Люблінською височинами.



Рисунок 1.2 – Географічне розташування та характерний ландшафт заповідника Розточчя у Львівській області [10]

Розточчя являє собою кліматичну, флористичну і фауністичну прикордонну зону. Воно є перешкодою західним і північно-західним вітрам,

що приносять вологість до Галичини. Атмосферичних опадів в регіоні багато (понад 700 мм), що спричиняє велике накопичення ґрунтових вод на південному заході.

На південному-заході від Львова на відстані 100 км знаходяться Карпатські гори, які мають великий вплив на клімат області. Протягом року тут переважають повітряні маси з Чорного моря та Атлантики. При таких повітряних масах в Прикарпатті накопичується волога, чим і пояснюється високий відсоток відносної вологості в місячному і добовому ході. Накопичення вологи сприяє тривалому збереженню низької хмарності, яка часто переходить у туман.

Клімат Львівщини є помірно-континентальним та вологим: м'яка з відлигами зима, волога весна, тепле літо, тепла суха осінь. Річна кількість опадів коливається від 560 мм на рівнині до 1000 мм в горах. Через територію Львівщини проходить Головний Європейський вододіл. В області беруть початок Дністер та Західний Буг (рис. 1.3).

Основними центрами атмосфери, що впливають на рух повітряних мас, які приходять на територію області, є наступні: Азорський та Сибірський максимуми та Ісландський мінімум. Активність центрів збільшується в зимовий період.

Сибірський максимум (зимою) формує сухе та холодне повітря, що зрідка досягає Львівської області. Частіше сюди приходить повітря з півночі - також морозне, але дещо вологіше. Періодично зимою приходить морське повітря з заходу та південного заходу - вологе і тепле, що приносить снігопади і обумовлює відлиги. Повітря, що сформувалось над Атлантичним океаном в південних широтах є настільки впливовим, що серед зими може забезпечити підняття температури до 5-15 °С.

В теплий період року материк Євразія прогрівається і зона високого тиску в Сибіру зникає. Послаблюється також Ісландський мінімум, а над Північним Льодовитим океаном формується зона високого тиску, який обумовлює міграцію холодних повітряних мас до півдня — в тому числі до

Львівської області. Саме тому літом можливі швидкі зміни теплої погоди на холодну, антициклональної на циклональну.

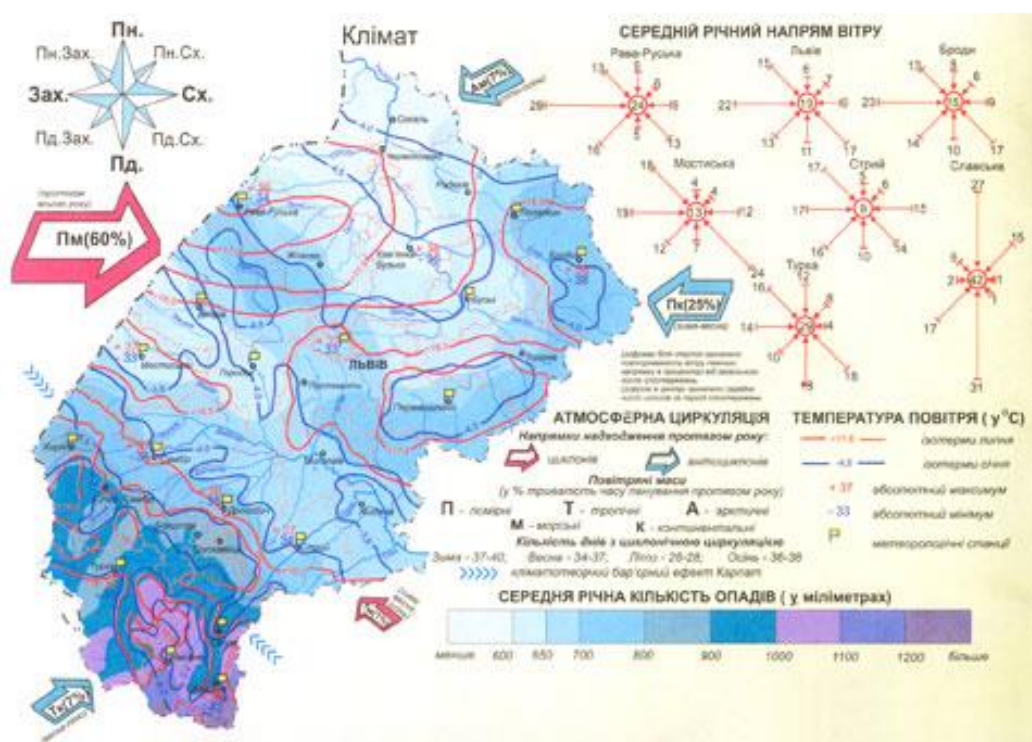


Рисунок 1.3 – Режим температури, вітру та опадів Львівської області у 1961-1990 рр. [14]

Львівська область характеризується досить значними сумами опадів за рік. Збільшенню атмосферних опадів в області, що пов'язані з циклонічною діяльністю, сприяють Карпати, де їх випадає особливо багато. Середньорічні суми опадів коливаються у межах області від 579 до 1070 мм (табл. 1.1). Найбільша кількість припадає на червень-липень і становить 90-140 мм за місяць, найменша — на січень-лютий (24-40 мм за місяць).

Кількість опадів у Львівській області за літній період перевищує кількість опадів за зимовий період у 2-3 рази. За три літні місяці (червень, липень, серпень) випадає близько 40%, а за три зимові місяці — тільки 16% річної норми.

Річні суми опадів розподіляються по території нерівномірно, що зумовлено орографією області. Найменше опадів — у басейні Західного Бугу (600 мм за рік). Дещо зростає їх кількість на Розточчі і північній частині Поділля (від 650 до 750 мм і більше). У Надсанні, Опіллі річна сума опадів знову зменшується і становить 600-650 мм. Південніше, у Прикарпатті, кількість опадів збільшується і в середньому досягає за рік 750-800 мм. Найбільше опадів — у гірській частині Львівської області (у Карпатах), де їх річна сума становить 800-1000 мм і більше.

Таблиця 1.1 - Середня місячна і річна кількість опадів (мм) на метеостанціях Львівської області у різних природних районах [15]

Природний район	Пункт	Місяці												За рік
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Мале Полісся	Вроди	36	34	42	53	74	106	106	80	59	53	55	44	742
	Буськ	25	23	30	50	69	99	99	79	55	45	38	29	641
	Лопатин	27	27	31	55	71	110	110	88	60	55	48	38	720
Розточчя	Рава-Руська	30	34	38	58	74	100	106	84	58	53	48	40	713
Опілля, Горбогір'я	Городок	29	29	36	47	61	89	94	80	51	47	43	34	640
	Львів, університет	29	29	36	49	68	93	98	78	54	49	42	35	660
	Перемишляни	28	27	36	50	70	99	99	80	55	45	42	33	664
Передкарпаття	Дрогобич	25	25	32	58	84	103	129	110	71	71	37	28	773
	Самбір	30	29	35	45	64	94	94	89	60	50	43	35	668
	Стрий	23	24	32	49	71	104	108	92	60	60	35	27	685
Карпати	Турка	42	40	41	48	82	121	130	112	73	68	44	40	841
	Сколе	31	42	48	72	106	132	120	110	84	69	56	44	913
	Славське	56	48	51	74	91	118	120	173	79	84	70	53	967
	Нагірне	59	42	56	69	100	154	131	116	100	100	87	56	1070

Кількість днів з опадами коливається за місяцями. Взимку їх більше, ніж влітку, але оскільки вони мають невелику інтенсивність, то кількість опадів збільшується від зими до літа за рахунок інтенсивності літніх опадів. Влітку на території області бувають зливи, особливо рясні дощі, інтенсивність яких досягає 0,10-0,30 мм/хв.

Найбільше число сильних дощів припадає на літні місяці (червень, липень, серпень), а найменше — на зиму. Максимальна тривалість безперервних опадів у Львові найбільша в червні (71 год). За добу у Львівській області в літні місяці випадає 70-80 мм опадів.

У зимовий період всюди на території нашої області утворюється більш-менш стійкий сніговий покрив, який добре оберігає ґрунт від переохолодження і відіграє важливу роль у режимі зволоження області.

Отже, для території Львівській області у всі сезони року характерними є швидкі зміни погоди, а разом з тим і різкі зміни метеорологічних показників температури і вологості повітря, температури ґрунту, напряду і швидкості вітру, кількості опадів, атмосферного тиску.

1.2 Особливості розташування метеостанції Львівщини

Для визначення режиму випадіння сильних та надзвичайних снігопадів у Львівській області обрані шість метеорологічних станцій, які розташовані у різних фізико-географічних умовах у межах області: Львів, Броди, Дорогобич, Славське, Турка, Рава Руська.

Місто Львів є обласним центром, який розташований приблизно в геометричному центрі території області, і має географічні координати $48^{\circ}50'$ північної широти та $24^{\circ} 1'$ східної довготи (рис. 1.4).

Львів розташований у смузі помірно-континентального (на переході від морського до континентального) клімату. Характеризується вологим кліматом

Така «перехідна» характеристика клімату зумовлена географічним розташуванням території області в помірних широтах і на «перехресті» шляхів міграції повітряних мас, а також специфічними рисами її поверхні (наявність заболочених рівнин, піщаних територій, височин та гір).

У Малому Поліссі розташовані дві станції з переліку — Броди та Рава Руська, у західній та східній частинах регіону.

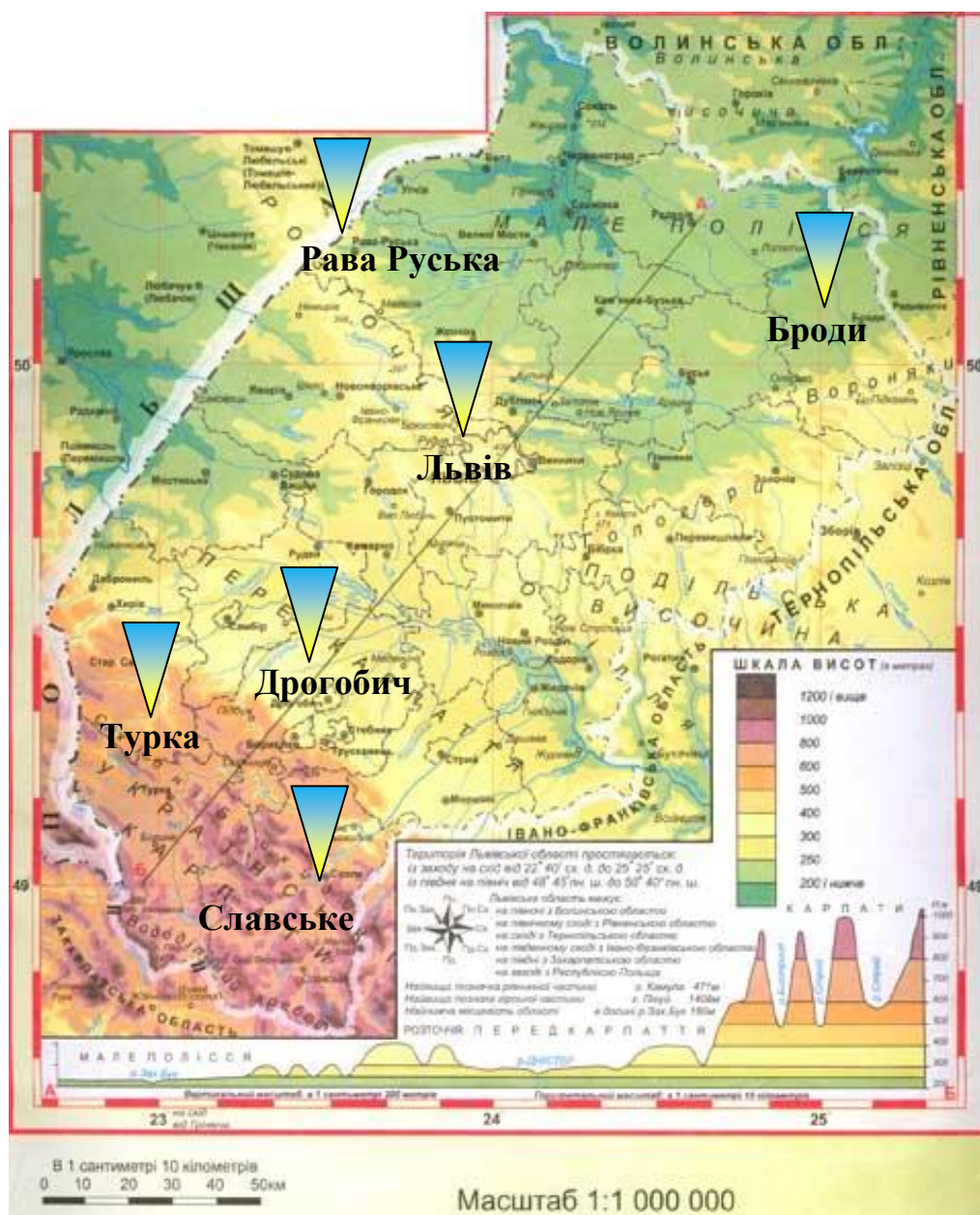


Рисунок 1.4 – Розташування пунктів дослідження у Львівській області

Місто Броди розташоване в межах Бродівської рівнини, через його південну частину протікає невелика річка Бовдурка (права притока Стиру). Характерною особливістю рельєфу є велика кількість піщаних горбів, дюн, більшість яких закріплена лісами. Броди знаходяться у межах Західно-Української лісостепової фізико-географічної провінції. Клімат помірно-континентальний та досить вологий: м'яка з відлигами зима, волога весна, тепле літо, тепла суха осінь. В середньому щороку випадає 742 мм опадів.

Середня температура найхолоднішого місяця - $4,3^{\circ}\text{C}$, найтеплішого $18,7^{\circ}\text{C}$. Переважають західні і південно-західні вітри.

Ра́ва-Ру́ська - місто в Україні, адміністративний центр Рава-Руської міської громади на Львівщині, за 50 км від Львова та 36 км від Жовкви. Сучасна територія міста Рави-Руської становить 850 га. Місто витягнуте в довготному напрямку. Такий напрям обумовили до певної міри природні елементи його околиць.

Місто Дрого́бич це. адміністративний центр Дрогобицького району і Дрогобицької міської громади у Передкарпатті, що розташований в південно-західній частині Львівської області на річці Тисмениці, на межі Наддністрянської рівнини і Карпатського передгір'я.

Клімат Дорогобича - помірно-континентальний з м'якою зимою і теплим літом. Середня температура становить -4°C у січні і $+18^{\circ}\text{C}$ у червні. Найтепліші місяці - липень і серпень з середньомісячною температурою близько $+22^{\circ}\text{C}$; найхолодніший - січень. Річні суми опадів коливаються в межах від 600 до 800 мм. Більшість опадів припадає на теплий період. Місто належить до вологої помірно-теплої акрокліматичної зони; суттєвий вплив на клімат має розташування Дрогобича в передгір'ї Карпат. Для міста характерна висока вологість повітря (взимку - 70-80 %, влітку - 85 %) і понижений атмосферний тиск (725-745 мм ртутного стовпчика).

Станції Турка та Славське розташовані у Карпатських горах.

Ту́рка (раніше Турка над Стрийом) - місто в Карпатах на півдні Львівської області, колишній районний центр. Адміністративний центр Турківської міської громади Самбірського району. Місто розташоване на півдні Львівщини у Карпатах на лівому березі річки Стрий з його притоками р. Яблунька та р. Літмир, між горами Шименка, Кичера, Вінець та Осовня. Турка знаходиться за 137 км від Львова, за 107 км від Ужгорода, за 75 км від Дрогобича на висоті 557 м над рівнем моря.

Сла́вське (діалектне Славсько) - селище міського типу у Стрийському районі Львівської області, адміністративний центр Славської селищної

територіальної громади. Селище Славське розташоване глибоко в Українських Карпатах за 23 км від міста Сколе, в мальовничій долині річки Опір та її правої притоки Славки, серед покритих лісами та полонинами хребтів Бескидів та Горганів, на схилах гір Тростяна (1235 м над рівнем моря), Ільзи (1066 м), Писаної або Довбушанки (1236 м), Менчела (1014 м), і Погару 840 м які оточують селище з усіх боків. На північ від селища височить гора Клива (1069 м).

1.3 Оцінка зміни режиму температури та опадів на метеостанціях Львівщини з 1979 по 2021 рр.

Оскільки наслідки зміни клімату вже добре помітні у підвищенні температури повітря, то розглянемо як зміни клімату вже вплинули на Львівщину протягом останніх 40 років (рис. 1.5-1.8). Джерелом даних, що використовується, є ERA5, реаналіз атмосфери глобального клімату від Європейського центру середньострокових прогнозів погоди (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF) п'ятого покоління, що охоплює часовий діапазон 1979-2021 рр. з просторовою роздільною здатністю 30 км.

На верхньому графіку рис. 1.5 та рис. 1.6 показано оцінку середньорічної температури для пунктів дослідження [19-24]. Пунктирна синя лінія — лінійна тенденція зміни клімату. Якщо лінія тренду йде вгору зліва направо, то температурний тренд позитивний і через зміну клімату стає тепліше. Якщо вона горизонтальна, то чіткої тенденції не видно, а якщо вона йде вниз, то з часом стає холодніше.

У нижній частині графіка на рис. 1.5 та рис. 1.6 зображені так звані «смуги нагріву». Кожна кольорова смуга представляє середню температуру за рік - синя для холодніших і червона для теплих років.

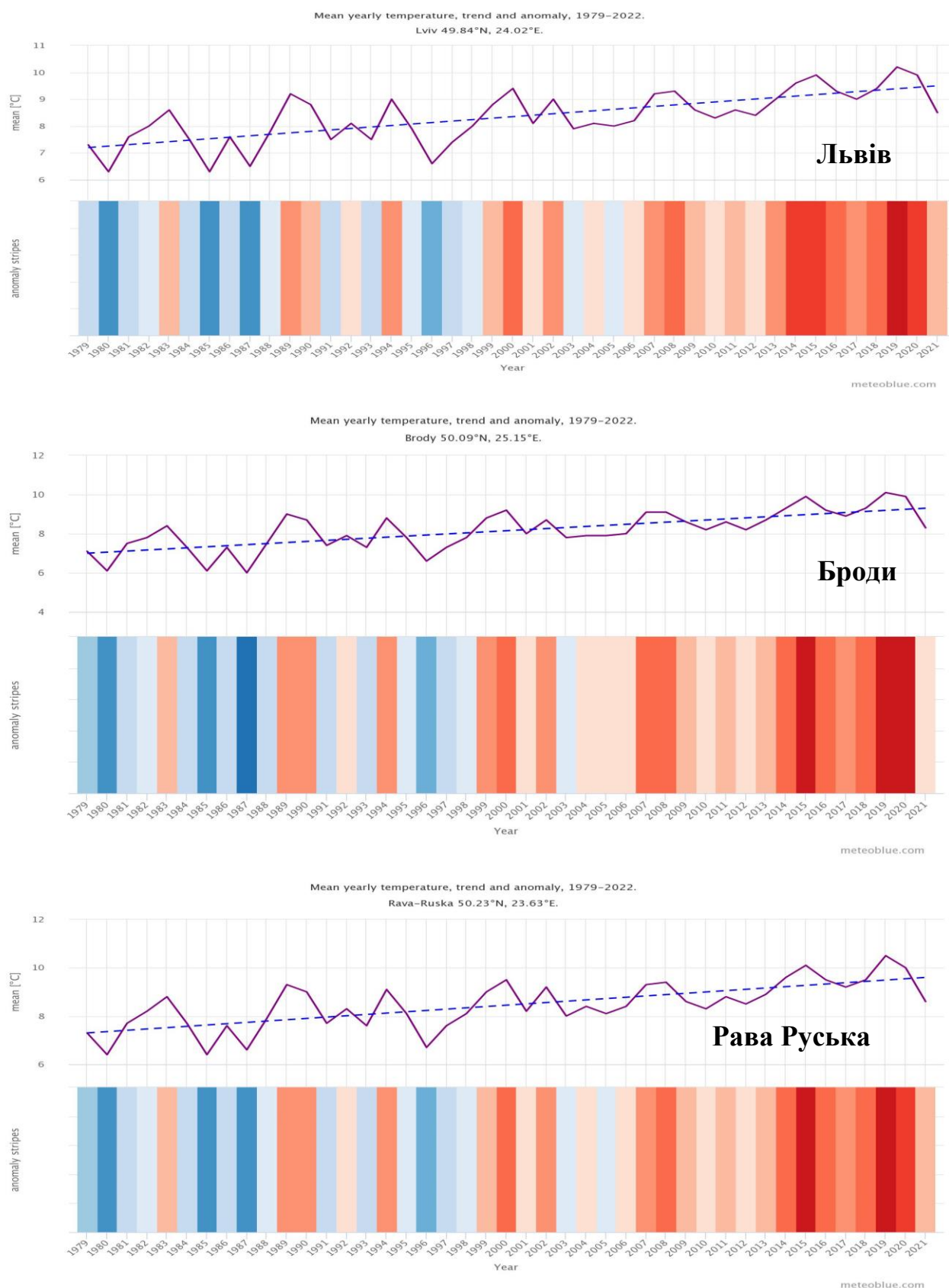


Рисунок 1.5 – Оцінка тренду та аномалій середньорічної температури (°C) для станцій Львів [19], Броди [20] та Рава Руська [23] з 1979 по 2021 рр.

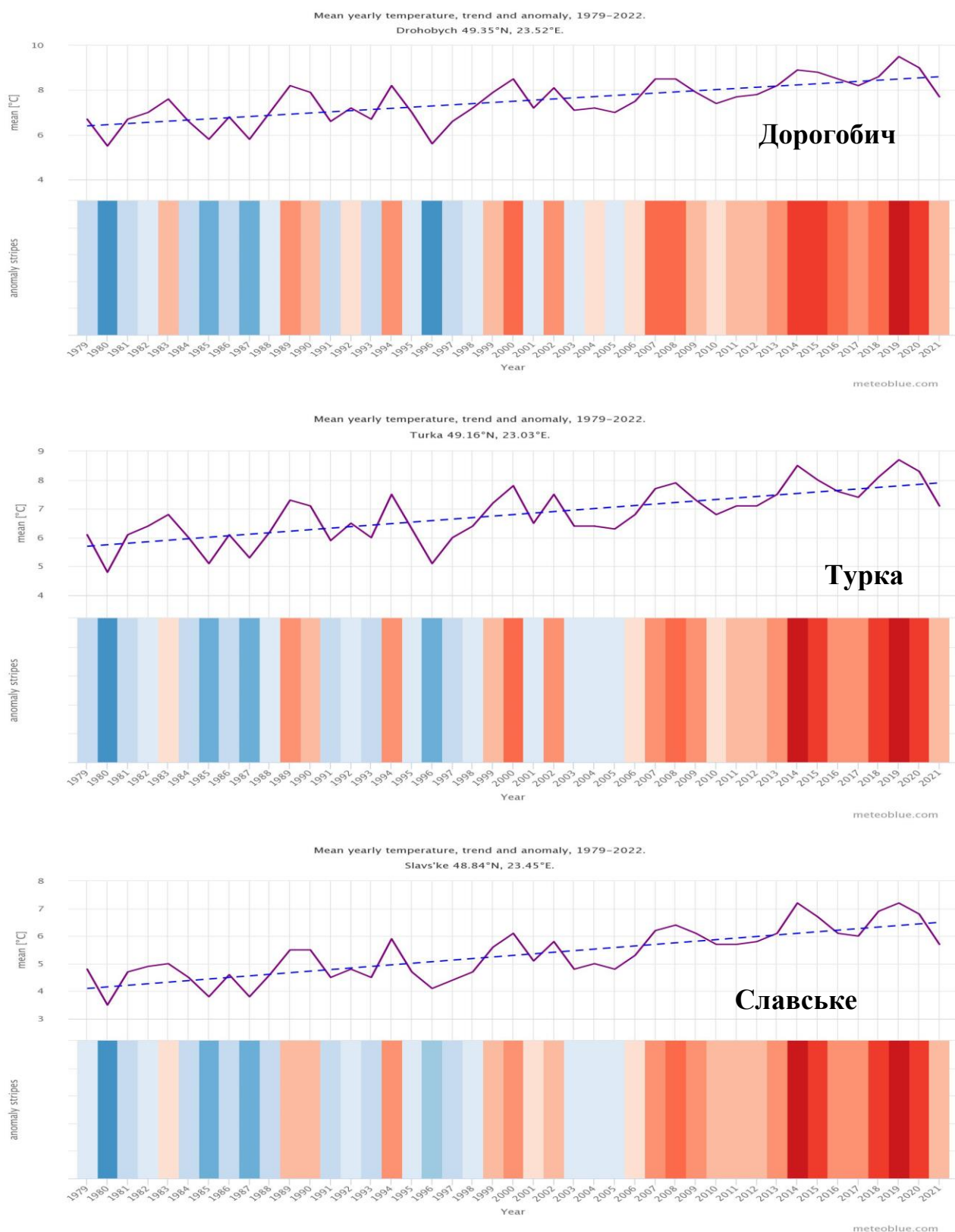


Рисунок 1.6 – Оцінка тренду та аномалій середньорічної температури (°C) для станцій Дорогобич [21], Турка [24] та Славське [22] з 1979 по 2021 рр.

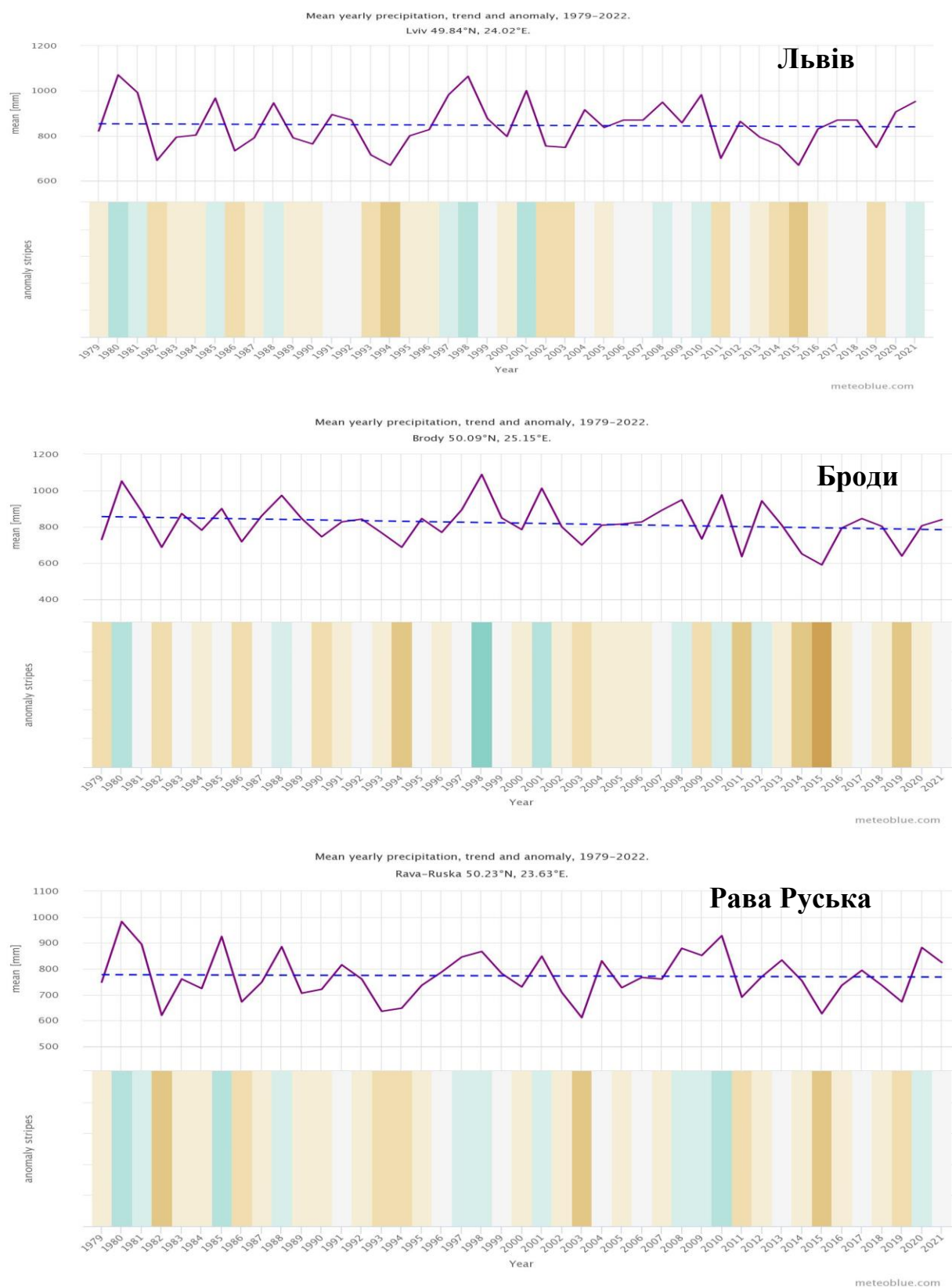


Рисунок 1.7 – Оцінка тренду та аномалій середньорічної суми опадів для станцій Львів [19], Броди [20] та Рава Руська [23] з 1979 по 2021 рр.

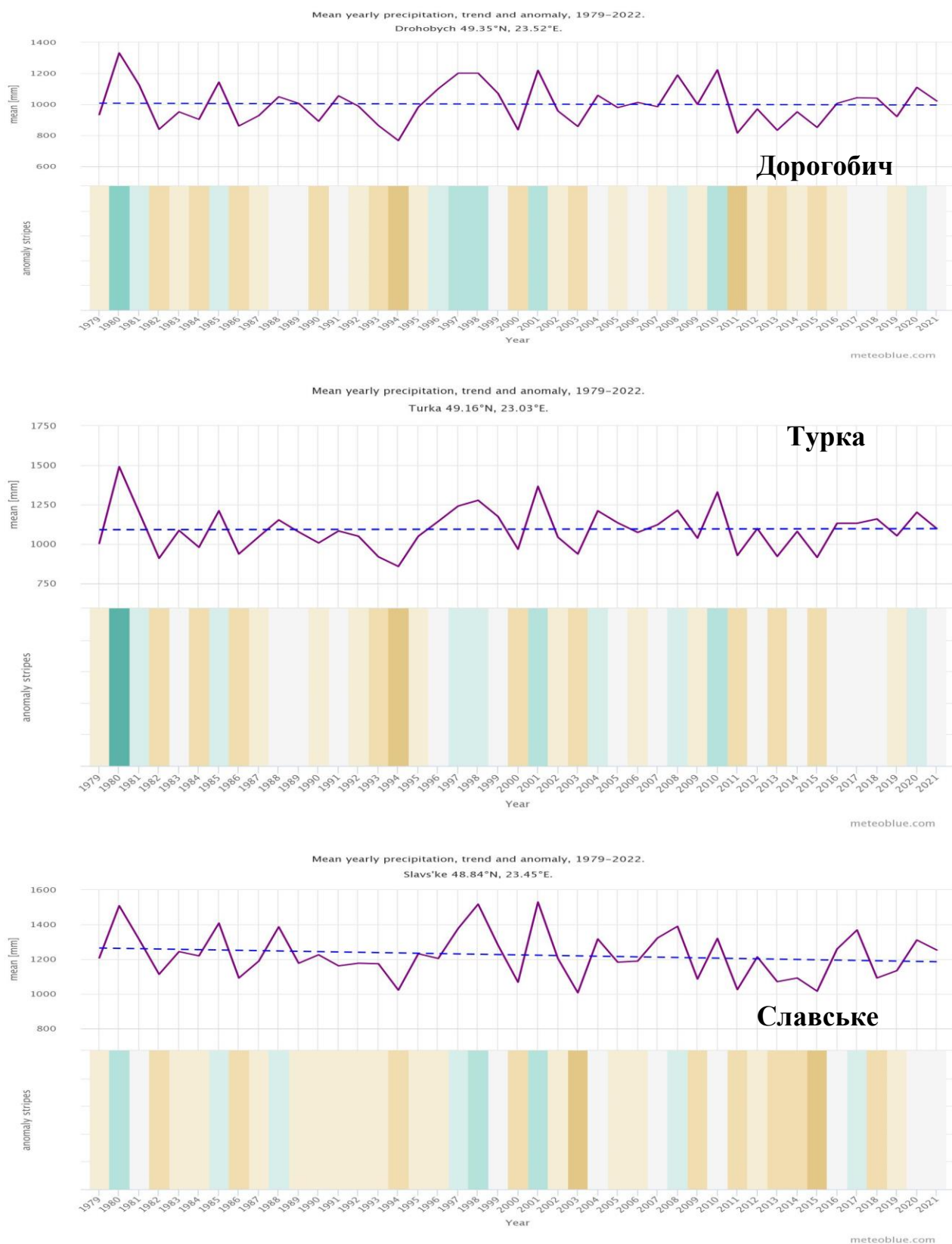


Рисунок 1.8 – Оцінка тренду та аномалій середньорічної суми опадів для станцій Дрогобич [21], Турка [24] та Славське [22] з 1979 по 2021 рр.

Верхній графік на рис. 1.7 та 1.8 показує оцінку середньої сумарної кількості опадів для станцій Львівської області. Пунктирна синя лінія - лінійна тенденція зміни клімату. Якщо лінія тренду йде вгору зліва направо, то тренд опадів позитивний і на станції через зміну клімату стає все сильніше. Якщо він горизонтальний, чіткої тенденції не видно, а якщо він знижується, умови з часом стають сухішими. У нижній частині графіка зображено так звані «смуги опадів». Кожна кольорова смуга позначає загальну кількість опадів за рік: зелена для вологих років і коричнева для більш сухих років.

Як видно з рис. 1.5-1.6 на всіх станціях Львівщини спостерігалось підвищення середньо-річної температури повітря у 1979-2021 рр., яке найбільш активно відбувалося у Львові та Турці, відносно менш активно у Раві Руській.

Найтеплішим роком у всіх пунктах дослідження зі значенням температурної аномалії від 2,0 до 2,2 °С виявився 2019 р. У районі Карпат (Славське та Турка) подібні значення середньої аномалії температури повітря були у 2014 р., у Малому Поліссі (Рава Руська та Броди) в 2015 р., а на станції Броди також у 2020 р.

Середньорічна сума опадів (рис. 1.7-1.8) показала від'ємний тренд у Бродах та Славському, у Львові та Раві Руській також помітно зниження кількості опадів, але воно відбувалося менш активно. На станціях Дрогобич та Турка не виявлено змін у режимі опадів. Найбільша аномалія середньої річної кількості опадів виявилася у 1980 р. у Турці (+395 мм при абсолютному значенні річної суми опадів 1490 мм), на решті стацій цей рік також мав додатну аномалію. Найсухішими роками для області виявився 1994, 2003, 2011 та 2015 р.

2 ЦИРКУЛЯЦІЙНІ УМОВИ ВИНИКНЕННЯ СИЛЬНИХ СНІГОПАДІВНА ЛЬВІВЩІНІ

2.1 Просторово-часовий розподіл випадіння сильного снігу у Львівській області у 2011-2021 рр.

Звісно [6], що на заході та півдні України значні та сильні снігопади спостерігається кожен рік, суттєво ускладнюючи всі сфери життєдіяльності суспільства, а особливо галузь авіаційних перевезень. На півночі сильний сніг буває вдвічі рідше – кожен другий рік, а на сході країни явище такої інтенсивності повторюється кожні чотири-п'ять років. Причому кліматичні зміни проявляються у зменшенні кількості опадів при одночасному зростанні днів з сильними опадами [11-13, 18] у вигляді дощу та снігу.

Для дослідження просторово-часового розподілу сильних та надзвичайних снігопадів у Львівській області використані дані ресурсу [17] за 2011-2021 рр. для станцій метеорологічних станціях Львів, Броди, Дрогобич, Славське, Турка, Рава Руська, які розташовані у різних фізико-географічних умовах.

Починаючи з 2019 р. для території України Українським гідрометеорологічним центром введені критерії для визначення ступеня небезпеки різних погодних явищ, які регламентуються нормативним документом «Настанова з метеорологічного прогнозування» [9].

Небезпечні метеорологічні явища I рівня небезпечності (НМЯ I) – це явища погоди, які за кількісними показники, тривалістю та територією розповсюдження створюють певні незручності для населення та економіці.

Стихійні метеорологічні явища II рівню (СМЯ II) – це явища погоди, які за кількісними показники, тривалістю та територією розповсюдження несуть загрозу для населення та порушують функціонування господарського комплексу країні. Стихійні метеорологічні явища III рівню (СМЯ III) – це

явища погоди, які за кількісними показниками, тривалістю та територією розповсюдження створюють загрозу життю людей на значних територіях, призводять до масштабних пошкоджень об'єктів господарства, завдають шкоди довкіллю.

Згідно [9] снігопад слід віднести до НМЯ I та вважати «значним снігом» при кількості опадів 7-19 мм за інтервал часу ≤ 12 год. При підвищенні інтенсивності опадів у вигляді снігу до 20-29 мм за інтервал часу ≤ 12 год. буде спостерігатися стихійне метеорологічне явище II рівня небезпечності (СМЯ II), тобто «сильний сніг». Інтенсивність снігопаду ≥ 30 мм за ≤ 12 год. визначається як «надзвичайний сніг», тобто стихійне метеорологічне явище III рівня небезпечності (СМЯ III).

В табл. 2.1 наведена повторюваність значного, сильного та надзвичайного снігу на станціях Львівської області з 2011 по 2021 рр., у випадку відсутності даних клітинка таблиці зафарбована сірим кольором.

Виявилося, що значний сніг у Львівській області з 2011 по 2021р. спостерігався майже щорічно на кожній станції регіону зі збільшенням кількості випадків у напрямку Карпатських гір, де у Славському спостерігався максимум середньої кількості НМЯ I (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Просторовий розподіл середнього значення кількості днів зі значним снігом (НМЯ I) у Львівській області з 2011 по 2021 рр.

Таблиця 2.1 – Повторюваність значного, сильного та надзвичайного снігу на станціях Львівській області з 2011 по 2021 рр.

Роки	НМЯ І					СМЯ ІІ					СМЯ ІІІ				
	Значний сніг					Сильний сніг					Надзвичайний сніг				
	7-19 мм ≤ 12 год.					20-29 мм ≤ 12 год.					≥ 30 мм ≤ 12 год.				
Львів															
	І	ІІ	ІІІ	ХІ	ХІІ	І	ІІ	ІІІ	ХІ	ХІІ	І	ІІ	ІІІ	ХІ	ХІІ
2011	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013	1	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2014	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
2017	1	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2018	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2019	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021	0	4	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2011-2021	9	11	7	2	9	0	2	1	0	1	0	0	0	1	0

Броди															
	І	ІІ	ІІІ	ХІ	ХІІ	І	ІІ	ІІІ	ХІ	ХІІ	І	ІІ	ІІІ	ХІ	ХІІ
2011	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013	1	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2014	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	1	1	1	2	3	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
2017	0	0	0	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2018	3	3	4	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2019	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021	0	4	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2011-2021	9	11	8	7	17	0	2	1	0	1	0	0	0	1	0

Продовження таблиці 2.1

Роки	НМЯ І					СМЯ ІІ					СМЯ ІІІ				
	Значний сніг					Сильний сніг					Надзвичайний сніг				
	7-19 мм ≤ 12 год.					20-29 мм ≤ 12 год.					≥ 30 мм ≤ 12 год.				
Рава Руська															
	І	ІІ	ІІІ	ХІ	ХІІ	І	ІІ	ІІІ	ХІ	ХІІ	І	ІІ	ІІІ	ХІ	ХІІ
2011															
2012				0	2				0	0				0	0
2013				0	0				0	0				0	0
2014	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2016	2	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017	2	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2018	0	2	2	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
2019	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021	2	4	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011-2021	11	10	3	5	9	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
Дрогобич															
	І	ІІ	ІІІ	ХІ	ХІІ	І	ІІ	ІІІ	ХІ	ХІІ	І	ІІ	ІІІ	ХІ	ХІІ
2011															
2012	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	0	0	3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2016	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2017	1	0	0	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2018	2	3	2	3	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2019	3	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	0	1	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021	2	2	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2011-2021	9	11	8	8	12	3	1	0	3	0	0	0	0	0	0

Продовження таблиці 2.1

Роки	НМЯ І					СМЯ ІІ					СМЯ ІІІ				
	Значний сніг					Сильний сніг					Надзвичайний сніг				
	7-19 мм ≤ 12 год.					20-29 мм ≤ 12 год.					≥ 30 мм ≤ 12 год.				
Турка															
	І	ІІ	ІІІ	ХІ	ХІІ	І	ІІ	ІІІ	ХІ	ХІІ	І	ІІ	ІІІ	ХІ	ХІІ
2011															
2012				1	0										
2013				0	1				0	0				0	0
2014	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015				1	0				0	0				0	0
2016	1	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017	3	0	1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2018	1	2	1	2	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
2019	3	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	1	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021	1	1	2	1	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
2011-2021	11	5	9	9	14	0	1	0	0	2	0	0	0	0	2
Славське															
	І	ІІ	ІІІ	ХІ	ХІІ	І	ІІ	ІІІ	ХІ	ХІІ	І	ІІ	ІІІ	ХІ	ХІІ
2011															
2012				0	0										
2013															
2014															
2015															
2016															
2017															
2018															
2019															
2020		1	1	0	2		0	0	0	0		0	0	0	0
2021	1	3	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
2011-2021	1	4	3	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Також відносна велика повторюваність значного снігу спостерігалася у пунктах Турка та Дрогобич у передгір'ї Карпат, а менш за все значний сніг випадав в Львові та Раві Руській.

Найчастіше значний сніг випадав у Бродах – 52 випадки за 11 років (рис. 2.2), також відносно часто у Турці та Дрогобичі – по 48 випадків, незважаючи на брак інформації про спостереження у 2011 та 2012 р. Але розрахунок повторюваності у відсотках від кількості спостережень виявив, що найчастіше НМЯ І виникали у Славському (4,0 %) та Турці (3,9 %), а менш за все у Львові (2,2%).

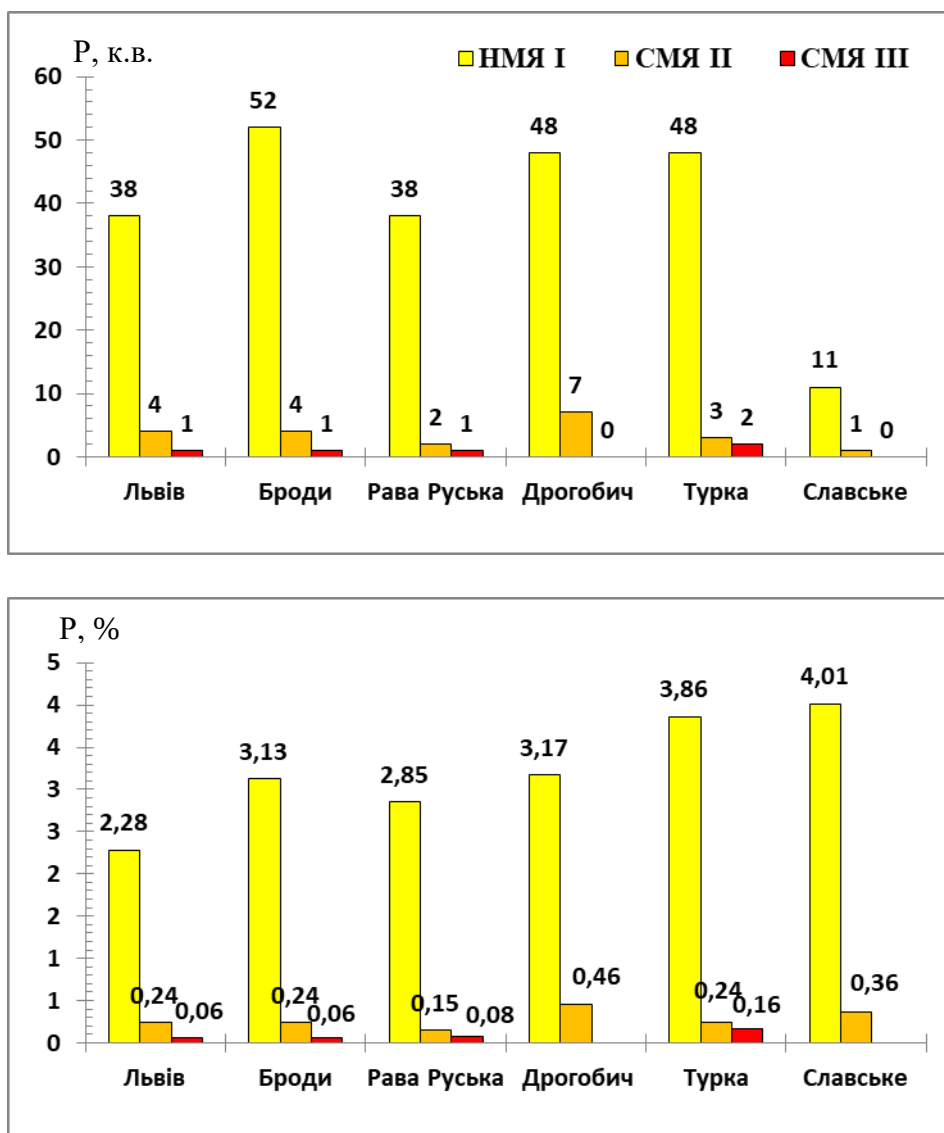


Рисунок 2.2 – Повторюваність (P, к.в. та P, %) значного (НМЯ І), сильного (СМЯ ІІ) та надзвичайного (СМЯ ІІІ) снігу у Львівській області з 2011 по 2021 рр.

Випадіння сильного снігу відбувалося не щорічно та з різною частотою по області. Максимальна кількість сильних снігопадів спостерігалася (7 випадків) у Дрогобичі, по 4 випадки виявилось у Львові та Бродах. У пунктах Славське та Рава Руська було лише по два випадка, але слід врахувати при аналізі брак даних. Повторюваність у відсотках вказує на найбільшу активність виникнення сильного снігу у Дрогобичі та Славському – 0,46 та 0,36 %.

Тобто сильний сніг спостерігався на станціях Львівщини один раз на 3-5 років зі зростанням частоти випадків після 2018 р.

Число днів зі значним снігом з року в рік коливається. Якщо проаналізувати міжрічну мінливість значного снігу, то також можна помітити збільшення епізодів після 2016 р. на всіх станціях з максимумом у 2018 р. (рис. 2.3).

У річному ході відносно частіше НМЯ I утворювалися у грудні (рис. 2.4), у січні та лютому активність була майже однакова, а мінімум припадав на листопад.

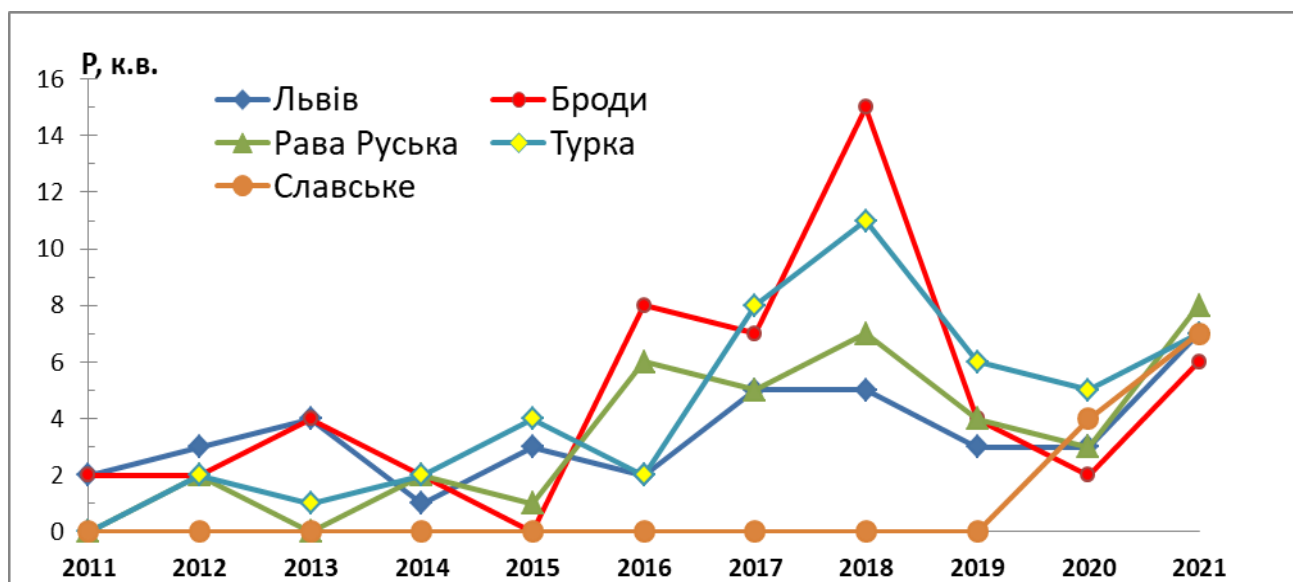


Рисунок 2.3 – Міжрічна мінливість кількості випадків значного снігу (НМЯ I) у Львівській області з 2011 по 2021 рр.

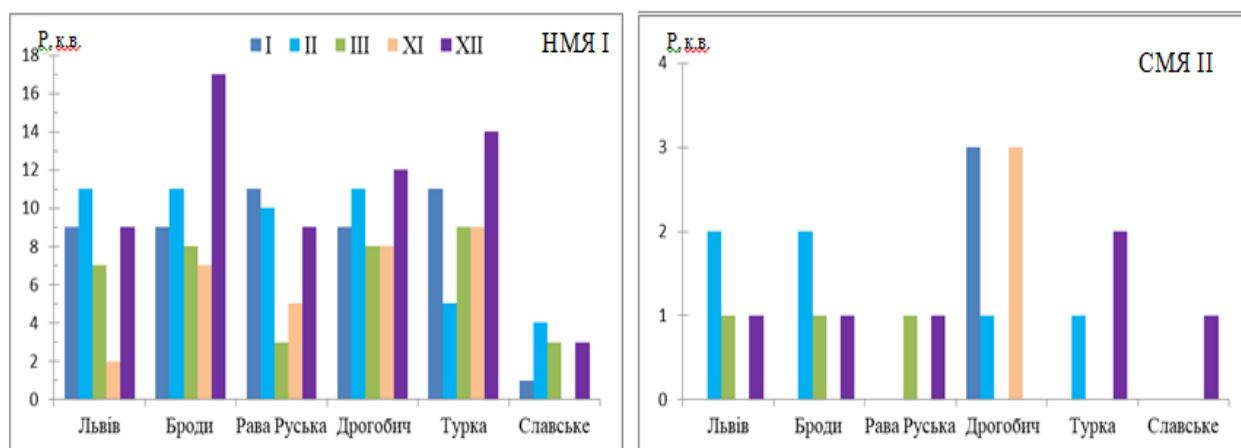


Рисунок 2.4 – Річний хід утворення НМЯ I та СМЯ II у Львівській області з 2011 по 2021 рр.

Сильний сніг відносно частіше спостерігався у лютому та грудні (по 6 випадків на різних станціях), у січні він випадав тричі, але лише у Дрогобичі. Також три епізоди сильного снігу восени відбулися у Дрогобичі.

Щодо надзвичайного снігу, то за 11 років було лише три випадки, коли інтенсивність випадіння снігу перевершила 30 мм/12 год. та досягала 31-32 мм. Надзвичайний сніг 13 листопада 2016 р. спостерігався у Львові та Бродах, тобто у Малому Поліссі. Наступні два епізоди відбулися у грудні 2018 р. та 2021 р. на станціях Рава Руська та Турка. У Дрогобичі та Славському не виявлено жодного СМЯ III, а на станції Турка надзвичайний сніг фіксувався двічі.

2.2 Загальні відомості про конфігурацію баричного поля, що сприяє посиленню снігопадів у регіоні дослідження

Сильні снігопади переважно (майже половина) виникають під час пересування над територією України південних і південно-західних циклонів із Середземного моря, а також західних і північно-західних циклонів із Західної Європи. Тому сильні снігопади утворюються в районі Українських Карпат та у західних областях України [3, 6, 11, 18, 30]. Іноді інтенсивність

снігопадів може посилюватися під впливом атмосферних фронтів, які пересуваються у витягнутих баричних улоговинах. Типові синоптичні ситуації, які сприяють формуванню таких умов на Львівщині представлені на рис.2.5.

Снігопади частіше виникають взимку при проходженні теплового фронту, що пов'язаний з західним циклоном (рис. 2.5а). Така конфігурація баричного поля створюється при наявності потужного антициклону над північними районами Європи та активною циклонічною діяльністю у центрі, на заході та півдні континенту. На холодному фронті з хвилями, що проходить з південного-заходу, снігопади можуть спостерігатися цілу добу (рис. 2.5б), а на вершинах цих хвиль утворюються локальні циклони, які суттєво погіршують погодні умови в регіоні.

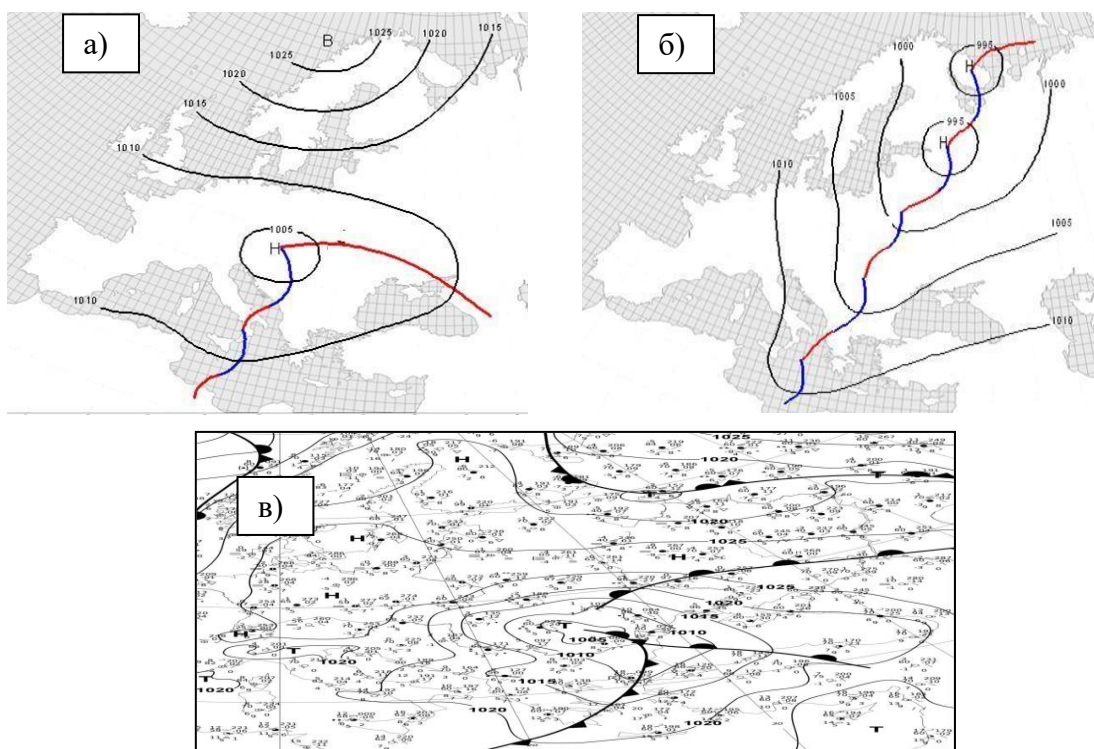


Рисунок 2.5 – Типи циклонів: західний (а), пірнаючий циклон з хвилями (б) та південний (в)

Також інтенсивні та тривалі снігопади утворюються при виході південних циклонів із Середземного моря, коли над Західною Європою розміщується обширний блокуючий антициклон (рис. 2.5в).

2.3 Характеристика синоптичних умов та траєкторій переносу повітряних мас підчас сильних снігопадів у Львівській області у 2011-2021 рр.

За період з 2011 по 2021 роки у Львівській області 235 випадків значного снігу, 20 випадків сильного та три випадка надзвичайного снігу. В табл. 2.2. наведені дати випадіння снігу, інтенсивність якого досягла критеріїв НМЯ І та вище для визначення синоптичних умов посилення снігу у регіоні.

Для всебічної характеристики циркуляційних підчас сильних та надзвичайних снігопадів були застосовані синоптичні матеріали ресурсів [17, 26, 32, 33] та побудовані зворотні траєкторії переміщення повітряних мас від пункту дослідження на висотах 750, 1500 та 3000 м за допомогою модельного розрахунку тривимірних траєкторій NYSPLIT [29]. Пунктами для відліку траєкторії були координати пунктів Львівській області, де спостерігався сильний або надзвичайний снігопад, якщо сніг фіксувався на однієї метеорологічній станції або з центру осередку максимальної інтенсивності опадів.

Навесні сильний сніг випадав двічі – 15 березня 2013 р. (Львів та Броди) та 3 квітня 2015 р. (Рава Руська та Дрогобич). Перший випадок, коли утворився сильний снігопад з інтенсивністю 21 та 25 мм/12 год., а взагалі за добу випало 40 мм, спричинений виходом оклюдованого південного циклону з мінімальним значенням тиску 983 гПа, центр якого пересунувся за добу з району Адріатичного за північний захід України (рис. 2.6). На рівні 500 гПа вся Східна Європа була під впливом баричної улоговини. Інтенсивні висхідні рухи на фронті оклюзії та притоки вологого холодного повітря з північного сходу на висотах 750-1500 м сприяли посиленню опадів.

Наступний випадок сильного снігу навесні (рис. 2.7) був 3 квітня 2015 р., коли також Східна Європа перебувала під впливом висотної баричної улоговини з віссю від Гренландії то Чорного моря, у межах якої розвивалася активна циклонічна діяльність біля землі.

Таблиця 2.2 – Дата випадіння значного, сильного та надзвичайного снігу на станціях Львівській області з 2011 по 2021 рр.

Пункти	НМЯ І	СМЯ ІІ	СМЯ ІІІ
Львів	20.01.2011, 17.12.11 14.01.12, 03.12.2012, 9.12.12 21.01.13, 22.02.13, 14.03.2013, 22.03.13, 25.01.14, 19.01.2015, 3.04.15, 22.11.15 10.01.2016, 24.02.16, 14.01.17, 27.01.17, 3.12.17, 13.12.17, 16.12.17 3-4.02.18, 17-18.03.18, 20.03.18 10.01.2019, 25.01.19, 22.02.19 4-5.02.20, 4.03.20, 3.12.21, 6.12.21, 12.12.21, 7.02.21, 9.02.21, 10- 11.02.21	15.03.2013 21.11.2015 02.12.2016 08.02.2021	13.11.2016
Броди	3.12.11, 26.12.11 3.12.12, 20.12.12 23.01.2013, 4.03.13, 22.03.13, 24.11.13 19.01.14, 16.03.14, 10.01.2016, 24.02.16, 23.03.16, 2.11.16, 9.11.16, 2.12.16, 24.11.17, 27.11.17, 3.12.17, 10.12.17, 16.12.17, 19-20.12.17, 17.01.18, 21-22.01.18, 3-4.02.18, 11.02.18, 17.03.18, 20.03.18, 01.12.2018, 9.12.18, 17.12.18 8.01.19, 11.01.19, 22-23.02.19, 29.01.20, 5.02.19, 8-11.02.21, 6.12.21, 13.12.21,	15.03.2013 29.11.2017	13.11.2016
Рава Руська	3.12.12, 9.12.12 19.01.2014, 21.01.14, 13.03.15, 10.01.16, 15.01.16, 24.02.16, 13.11.16, 2-3.12.16 4-5.01.17, 27.11.17, 3.12.17, 16.12.17 3-4.02.18, 17.03.18, 22.03.18, 20.11.18, 28.11.18, 1.12.18, 25.12.18 4.01.19, 7.01.19, 14.01.19, 22.02.19, 11.02.20, 24.02.20, 31.12.2020 25.01.21, 30.01.21, 8-11.02.21, 29.11.21, 6.12.21	03.04.2015 12.12.2018	11.12.2018
Дрогобич	12.12.2012 28.12.2014 13.03.15, 28.03.15, 3.04.15, 22.11.2015 24.02.2016, 13.11.16 14.01.17, 18.11.17, 29.11.17, 02.12.2017, 9.12.17, 13.12.17, 8.01.18, 21.01.18, 3-4.02.18, 9.02.18, 24.02.18, 22.03.18, 1.12.18 4.01.19, 6.01.19, 10.01.19, 10.02.19, 23.02.19, 27.12.19 4.02.20, 10.03.20, 21.03.20, 29.11.20, 31.12.2020 5.01.21, 25.01.21, 7.02.21, 10.02.21, 5.03.21, 3.12.21, 12.12.21	21.11.2015 22.01.2018, 28.11.18 22.01.2019 11.02.2021	

Продовження таблиці 2.2

Пункти	НМЯ І	СМЯ ІІ	СМЯ ІІІ
Турка	30.12.12, 9.12.13, 25.01.14,16.03.14, 25.03.14, 17.12.14 22.11.2015 5.01.16, 15.03.16, 11.11.16, 13.11.16, 2-3.12.16, 28.12.16 5.01.17,12.01.17, 14.01.17, 1.03.17, 18.11.17, 26.11.17, 18. 29.12.17 21.01.18, 3-4.02.18, 27.02.18, 22.03.18, 20.11.18, 28.11.18, 2.01.19, 4.01.19, 7.01.19, 5.02.19, 24.12.2019,28.12.19 29.01.20, 4.02.20, 4.03.20, 21.03.20, 31.12.20 25.01.21, 10.02.21, 5.03.21,28.03.21, 29.11.21, 12.12.21, 19.12.21	12.12.2018 11.02.2021	11.12.2018 03.12.2021
Славське	24.02.20, 4.03.20, 21.03.20, 23.12.20, 31.12.20 25.12.21, 9-11.02.21, 5.03.21, 16.03.21, 2.12.21, 12.12.21,	03.12.2021	

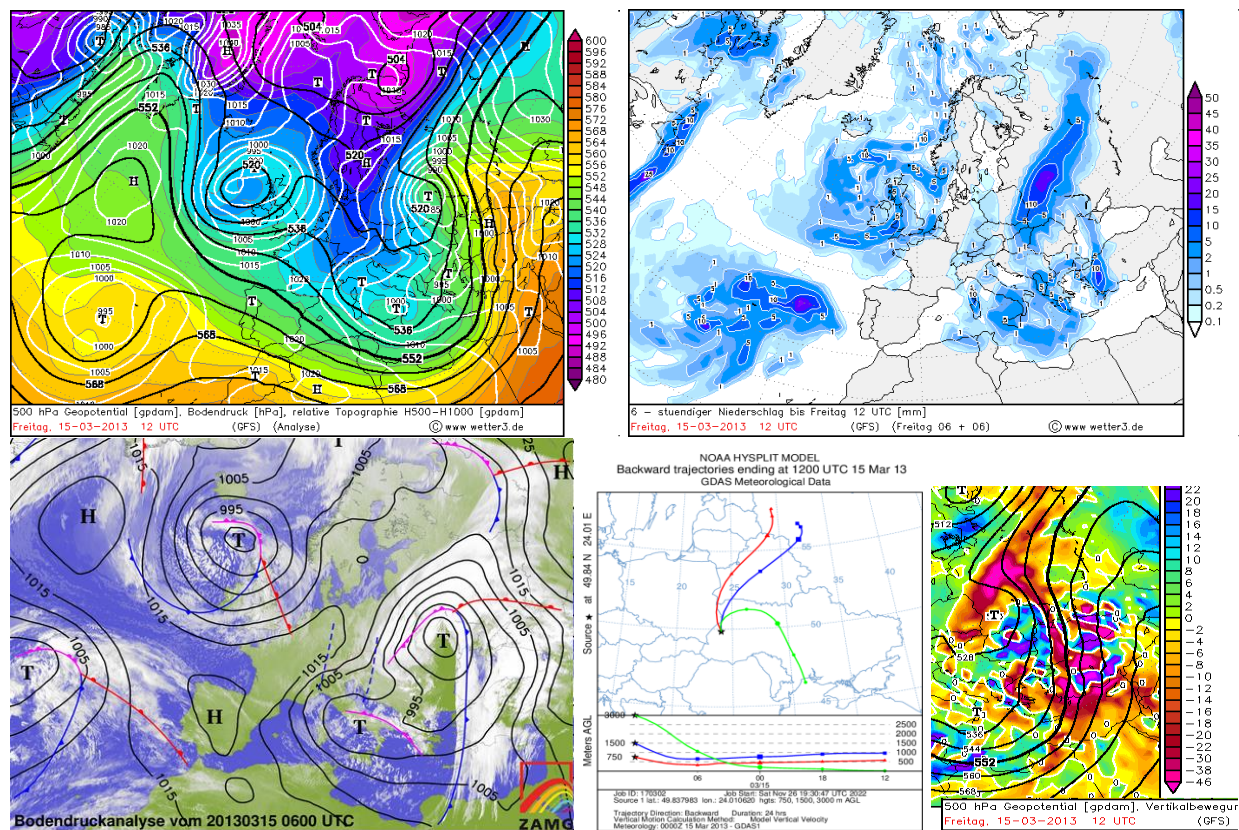


Рисунок 2.6 – Синоптичний аналіз, поле опадів, вертикальних рухів та траєкторії на 12 год. при сильному снігопаді у Львові та Бродях 15 березня 2013 р.

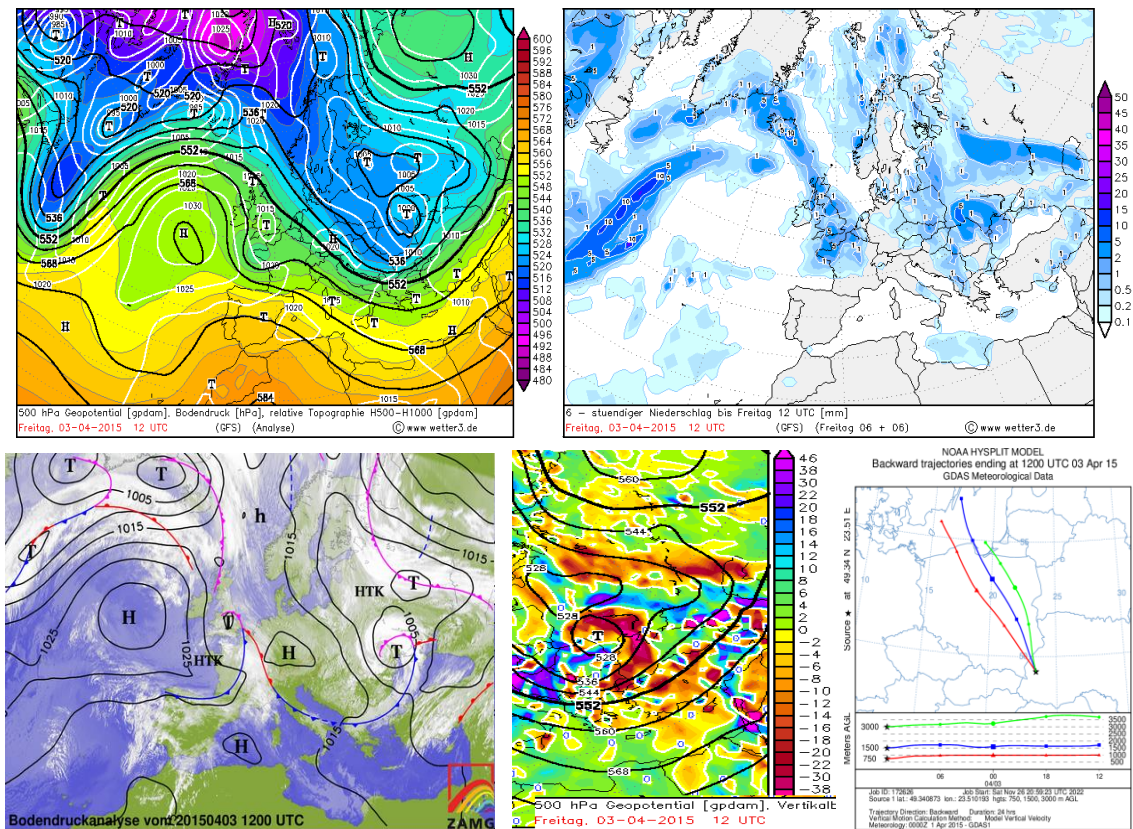


Рисунок 2.7 - Синоптичний аналіз, поле опадів, вертикальних рухів та траєкторії на 12 год. при сильному снігопаді у Раві Руській 3.04.2015 р.

Впродовж двох діб 2-3 квітня 2015 р. над Словаччиною на хвилі полярного фронту утворився циклону, який поглиблюючись пересувався на схід територією Львівської області. Тобто опади посилювалися при виникненні хвилі на холодній ділянці полярного фронту зі значними вертикальними рухами та затоку холодного повітря з північного заходу, з районів Балтійського моря. Ці чинники сприяли зростанню завихореності та оклюдуванню циклону з його пересуванням вдовж ведучого потоку на південний схід, а саме на північ Одещини та далі на схід.

Отже весняні сильні снігопади на Львівщині розвивалися під впливом фронту оклюзії при потоках повітря північних напрямків.

Далі розглянемо наступний перехідний сезон, а саме осінь та сильні снігопади у листопаді. Снігопад 21 листопада 2015 р. досягнув інтенсивності

сильного, тобто 22 та 26 мм/12год. у Львові та Дрогобичі, а у наступну добу 22 листопада спостерігався значний сніг у вказаних пунктах та на станції Турка.

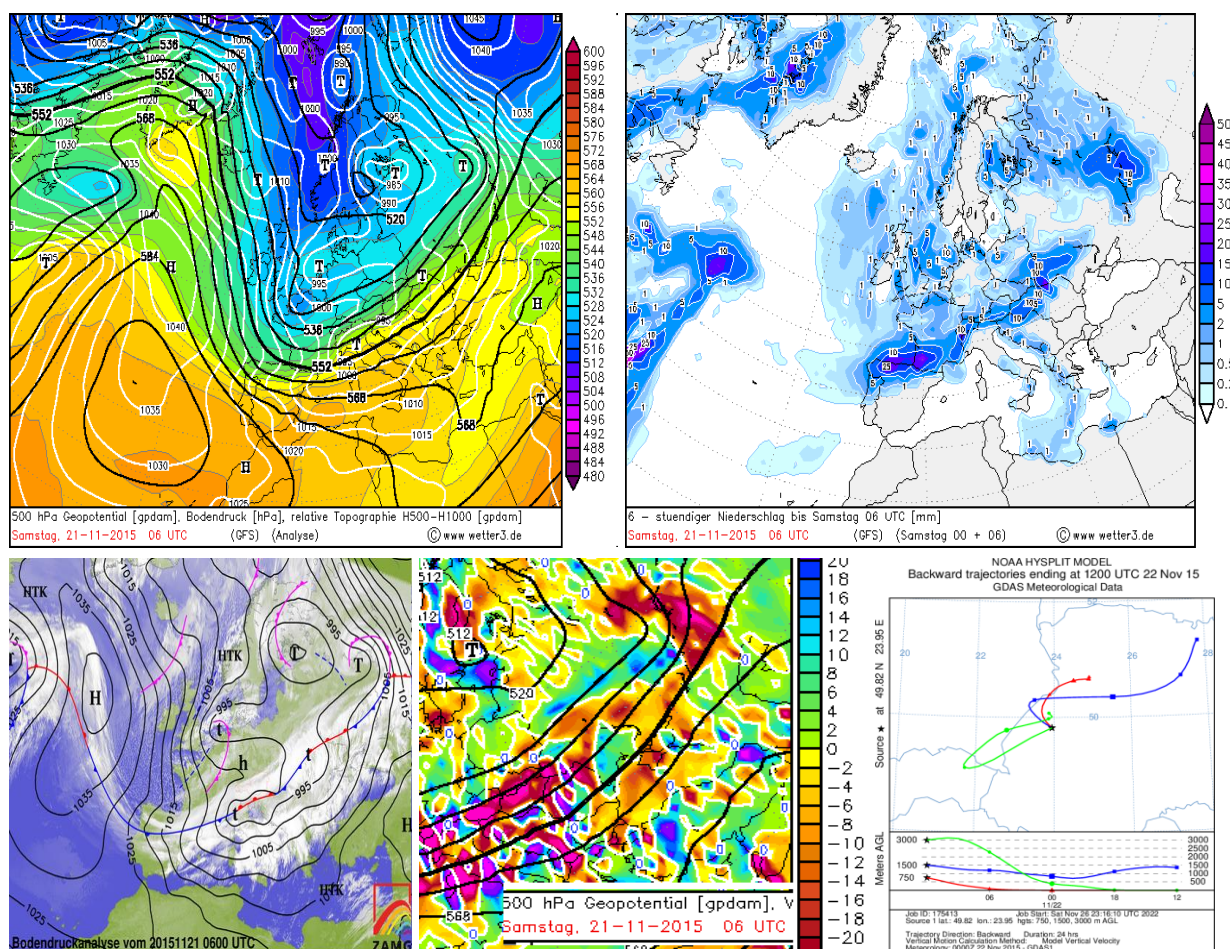


Рисунок 2.8 - Синоптичний аналіз, поле опадів, вертикальних рухів та траєкторії на 12 год. при сильному снігопаді у Львові та Дрогобичі 21.11.15 р.

Північна та Східна Європа перебувала під впливом холодної висотної баричної улоговини з віссю від Гренландії до Чорного моря на всіх рівнях від землі до 500 гПа (рис. 2.8), а біля землі в межах улоговини утворювалися циклони з мінімальним тиском у центрах від 985 до 995 гПа. З центрами цих циклонів пов'язані хвилі на холодній ділянці полярного фронту, біля вершини однієї з таких хвиль спостерігалось посилення снігопадів. Зворотні траєкторії пересування повітря мали досить складний вигляд завдяки циркуляції повітря

всередині улоговині, але виявилося переміщення повітря з північних напрямків у тилу циклону з центром над заходом України.

Надзвичайний сніг спостерігався на Львівщині 13 листопада 2016 р. у 18.00 за місцевим часом. Інтенсивність опадів склала 30-32 мм/12 год, що відповідає критерію стихійного метеорологічного явища третьої червоної категорії (СМЯ ІІІ). Напередодні цього дня починаючи з 9 листопада на територію України виходила серія південних циклонів, які пересувалися із заходу Чорного моря на північний схід України (9-11 листопада 2016 р.) та з Балканського півострова через центральні області України на північ Каспійського моря (рис. 2.9).

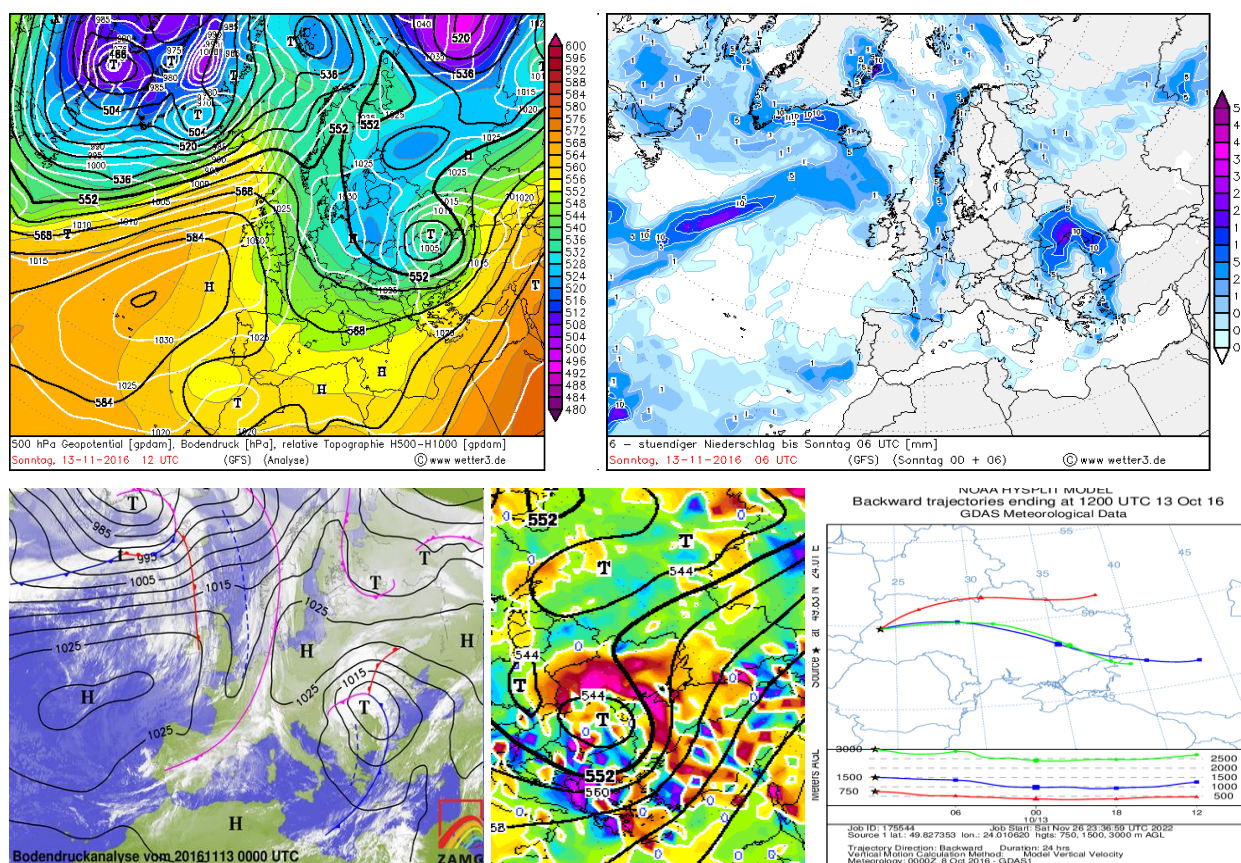


Рисунок 2.9 - Синоптичний аналіз, поле опадів, вертикальних рухів та траєкторії на 12 год. при надзвичайному снігопаді у Львові та Бродях 13.11.16

Безпосередньо 13 листопада над Молдовою розташовувався оклюдований циклон з трьома замкненими ізобарами, а над Львівською

областю проходив фронт оклюзії, спостерігалися осередки значних висхідних рухів, де й посилювалося випадіння снігу. Траєкторії переносу мали східний напрямок.

Як приклад зимового процесу утворення надзвичайного снігу наведемо 3 грудня 2021 р., коли на станції Турка випало у першій половині доби 30 мм снігу, а на станції Дрогобич 12 мм. У цьому випадку висотне баричне поле було представлено холодною баричною улоговиною (рис. 2.10) з віссю від Скандинавії до Італії та далі до узбережжя Африки, а біля землі у межах цієї улоговини спостерігалися циклони з центрами над Сардинією, Адріатичним морем, північню Молдови та Естонією.

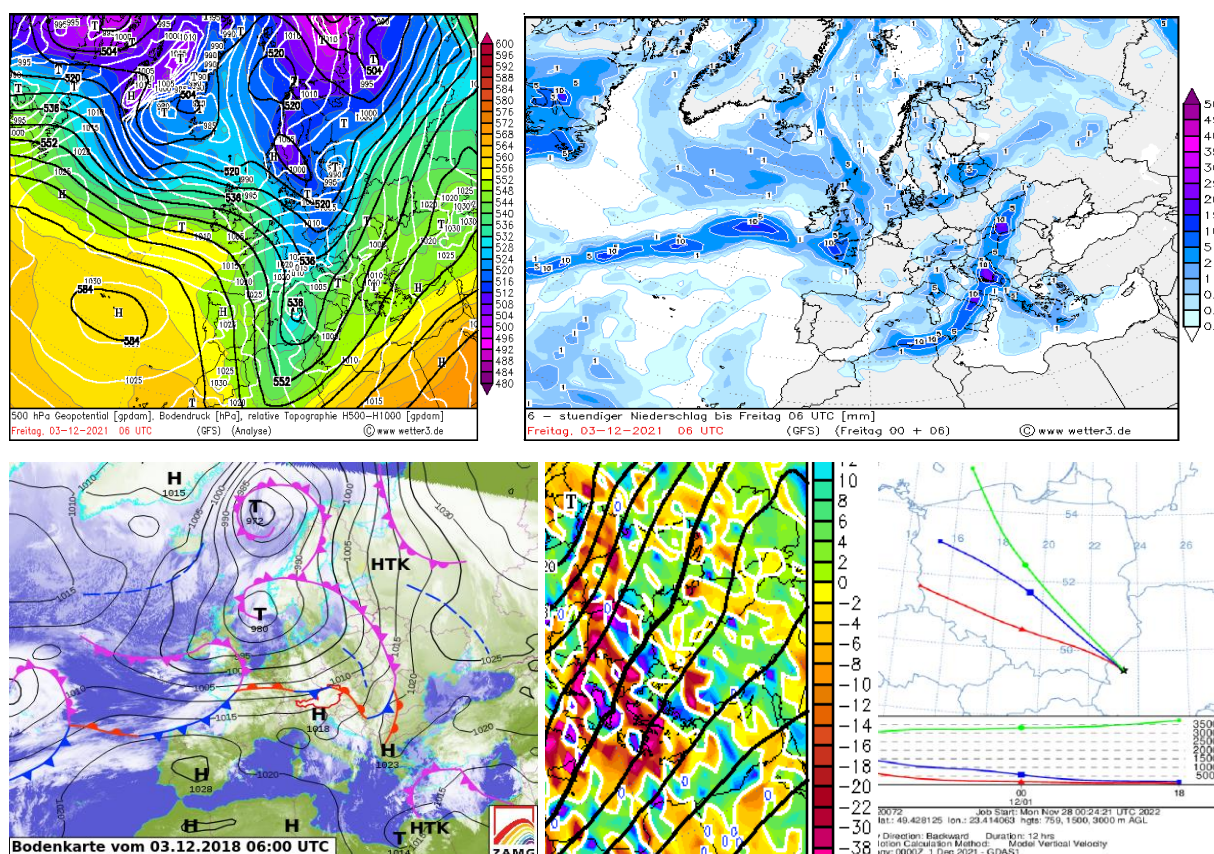


Рисунок 2.10 - Синоптичний аналіз, поле опадів, вертикальних рухів та траєкторії на 12 год. при сильному снігопаді у Турції 3 грудня 2021 р.

Циклони з центрами над Молдовою та Естонією були холодними оклюдованими баричними утвореннями з мінімальним тиском у центрі 1005

та 990 гПа відповідно. Отже сильний та надзвичайний снігопад на Львівщині утворився під впливом полярного фронту оклюзії при північно-західному переносі від 750 до 3000 м.

Як видно з табл. 2.3, де узагальнені відомості про характер баричного поля на різних рівнях тропосфери, тип фронтального розділу та напрямок

Таблиця 2.3 – Циркуляційні умови випадіння сильного та надзвичайного снігу на станціях Львівській області з 2011 по 2021 рр.

Дата	Пункти	I _{макс} , мм/12 год.	Баричне поле		Тип АФ	Напрямок траєкторії переносу		
			земля	500 гПа		750	1500	3000
СМЯ II								
15.03.2013	Львів, Броди	25	центр циклона	улогovina	ФО	ПнСх	ПнСх	ПдСх
21.11.2015	Львів, Дрогобич	26	центр циклона	улогovina	ХФ,хвиля	ПнСх	ПнСх	ПнЗх
03.04.2015	Рава Руська	20	центр циклона	улогovina	ФО	ПнЗх	ПнЗх	ПнЗх
02.12.2016	Львів	20	центр циклона	улогovina	ФО	Пн	Пн	Пн
29.11.2017	Броди	27	центр циклона	улогovina	ФО	ПдЗх	ПдЗх	ПдЗх
22.01.2018	Дрогобич	20	улогovina	улогovina	ТФ	ПнЗх	ПнЗх	ПнЗх
28.11.2018	Дрогобич	21	улогovina	улогovina	ХФ,хвиля	ПнЗх	ПнЗх	ПнЗх
12.12.2018	Рава Руська	29	центр циклона	центр циклона	ХФ,хвиля	ПнЗх	ПнЗх	ПнЗх
22.01.2019	Дрогобич	22	улогovina	улогovina	ХФ,хвиля	ПдЗх	ПдЗх	ПдСх
08.02.2021	Львів	21	улогovina	улогovina	ХФ,хвиля	ПнЗх	ПнЗх	ПнЗх
11.02.2021	Турка	20	центр циклона	улогovina	ФО	ПнЗх	ПнЗх	ПнЗх
03.12.2021	Славське	20	центр циклона	улогovina	ФО	ПнЗх	ПнЗх	ПнЗх
СМЯ III								
13.11.2016	Львів, Броди	32	центр циклона	улогovina	ФО	Сх	Сх	Сх
11.12.2018	Рава Руська,Турка	32	центр циклона	улогovina	ФО	Сх	Сх	Сх
03.12.2021	Турка	30	центр циклона	улогovina	ФО	ПнЗх	ПнЗх	ПнЗх

перенесення повітряних мас на висотах 750, 1500 та 3000 м, сильні опади переважно утворювалися під впливом фронту оклюзії при пересуванні або утворенні центру циклону над північним заходом України у межах холодної висотної баричної улогovини на рівні 500 гПа.

3 ТЕРМОДИНАМІЧНІ УМОВИ ПОСИЛЕННЯ СНІГОПАДІВ НА ЛЬВІВЩИНІ

3.1 Аналіз аерологічної діаграми при утворенні сильних снігопадів

Сильні снігопади, що суттєво ускладнюють роботу транспортної і енергетичної інфраструктури, комунального господарства та зв'язку, спостерігалися на території Львівської області майже щорічно, тому підвищення точності прогнозів сильних снігопадів та покращення реагування на аварійні ситуації є дуже актуальним завданням.

Посилення снігопадів до рівня СМЯ II та СМЯ III відбувається завдяки сполученню циркуляційних та термодинамічних чинників, а саме значна нестійкість тропосфери у холодне півріччя та утворення купчасто-дощових хмар, конвергенція вологого теплого та холодного потоків повітря, активне пересування фронтальних розділів, сильна циклонічна завихореність на низькому рівні, дивергенція на високому рівні одночасно з конвергенцією на низькому рівні, транспортування водяної пари та сильні висхідні рухи [3, 25, 28]. Окрім цих атмосферних факторів на утворення сильних снігопадів впливають місцевий рельєф та наявність великих водних об'єктів на шляху пересування повітряних мас. Ці динамічні та термодинамічні фактори необхідно розглядати узгоджено для діагностики та аналізу еволюції сильних снігопадів для розробки системи прогнозування та раннього попередження про будь-які локальні сильні снігопади над Карпатами.

У Львівській області радіозондування виконується лише одного разу на добу у 00 UTC у обласному центрі, тому результати цих спостережень можуть не відобразити перетворення стану тропосфери на небезпечне. Залучимо до дослідження ресурс ThunderR [31], який є безкоштовним R-пакетом і набором функцій для швидкого обчислення та візуалізації конвективних параметрів, які використовуються в оперативному прогнозуванні сильних конвективних

штормів. Основний алгоритм базується на оптимізованому коді C++, реалізованому в мові R через RCPP. Це рішення дозволяє швидко обчислювати понад 100 термодинамічних і кінематичних параметрів і обробляти великі числові набори даних, такі як повторний аналіз або робочі моделі NWP, за розумний проміжок часу. Пакет розроблявся з 2017 року метеорологами-дослідниками, які спеціалізуються на сильних конвективних штормах, і постійно оновлюється новими функціями. Його основна мета полягає в тому, щоб дозволити оперативним метеорологам і дослідникам швидко і просто оцінити конвективні середовища у будь-який сезон.

За допомогою ресурсу ThunderR [31] отримані аерологічні діаграми, що побудовані за даними реаналізу ERA 5 для пунктів Львів (49,5 °Пн.ш., 24,0 °Сх.д.) та Броди (50,0 °Пн.ш., 25,1 °Сх.д.) для випадка, коли інтенсивність снігопаду перевищила 30 мм/12 год. та досягнула критеріїв червоного рівня метеорологічної небезпеки СМЯ ІІІ.

Вертикальний розподіл термодинамічних параметрів повітряної маси 13 листопада 2016 року у 6.00 UTC за даними моделі ERA5 показують наявність сухобайдужої та вологонестійкої стратифікації повітря в нижньому 3-х кілометровому шарі ($\gamma_a > \gamma > \gamma_{ва}$).

Значення відносної вологості у шарі 2-5 км для обох станцій досягала 87-88 %, а у шарі від поверхні землі до 2 км – 93-94 % у Львові та 95-96 % у Бродях. Параметр Precipitation water (PRCP_WATER, мм) становив 12 та 11 мм у Львові (рис. 3.1) і 13 та 12 мм у Бродях (рис. 3.2), тобто запаси вологи зменшувалися підчас сильних опадів. Подібним образом змінювався параметр Moisture_Flux_02km (г/с*м^{-2}), тобто середня швидкість вітру, помножена на середній коефіцієнт змішування в шарі між поверхнею землі та 2 км AGL. Причому у Бродях він зменшується від 53 до 43 г/с*м^{-2} через більш інтенсивні опади. Об'ємний зсув вітру приймав найбільші значення між підстильною поверхнею та рівнем 1 км (через вплив сили тертя на потік повітря біля поверхні землі) та між підстильною поверхнею та рівнем 8 км. Зсуви вітру на станції Броди були більш інтенсивні 06 UTC, ніж у 12 UTC

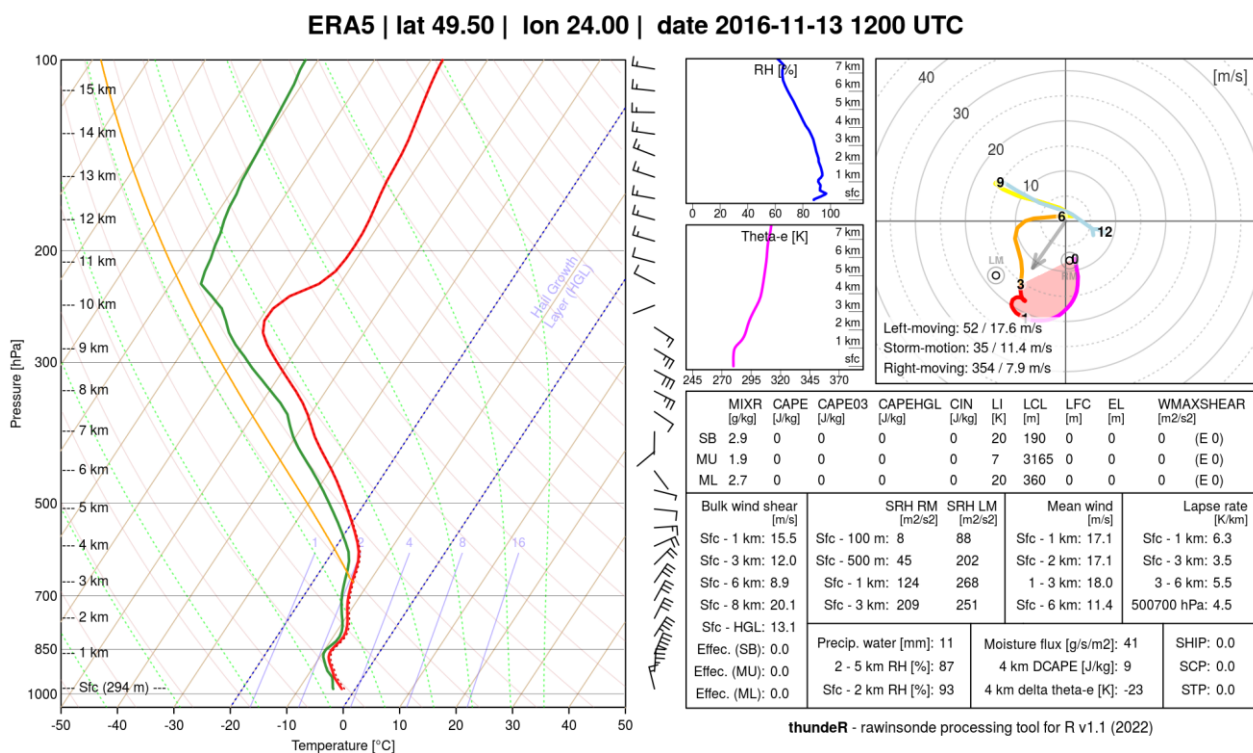
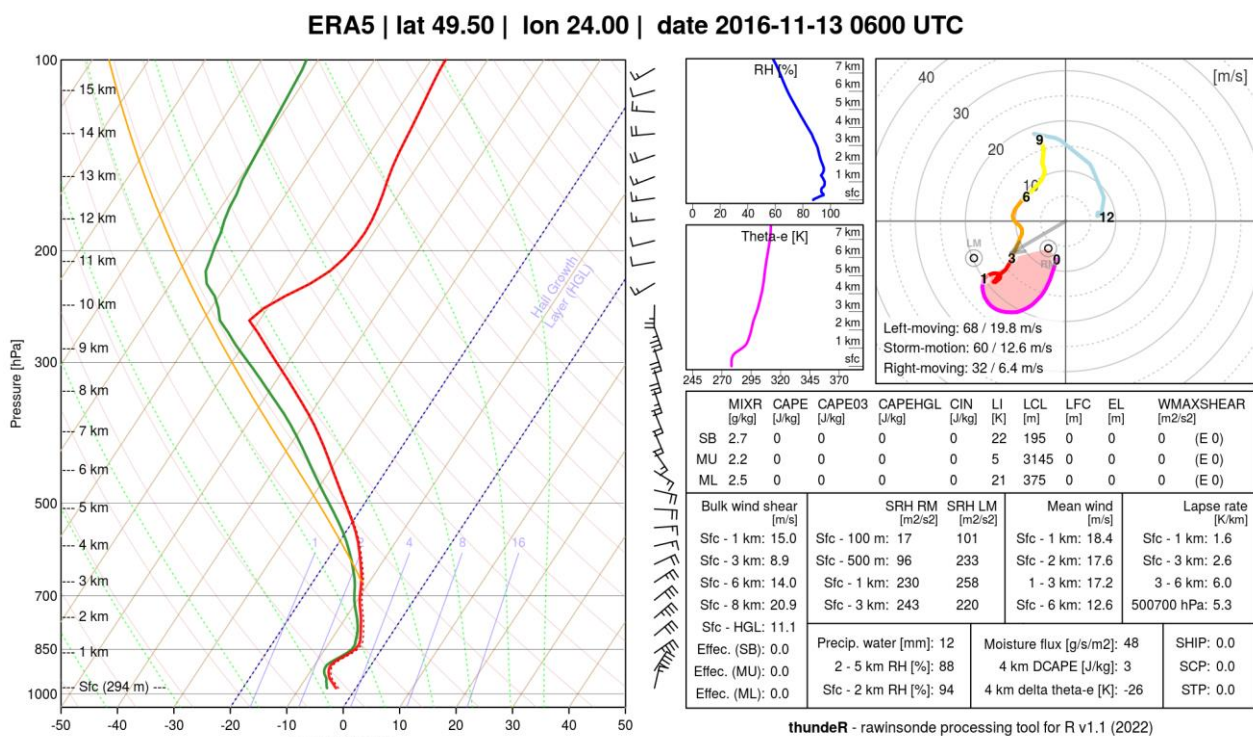


Рисунок 3.1 – Аерологічна діаграма і годограф вітру 13 листопада 2016 р. о 06 та 12 UTC у Львові.

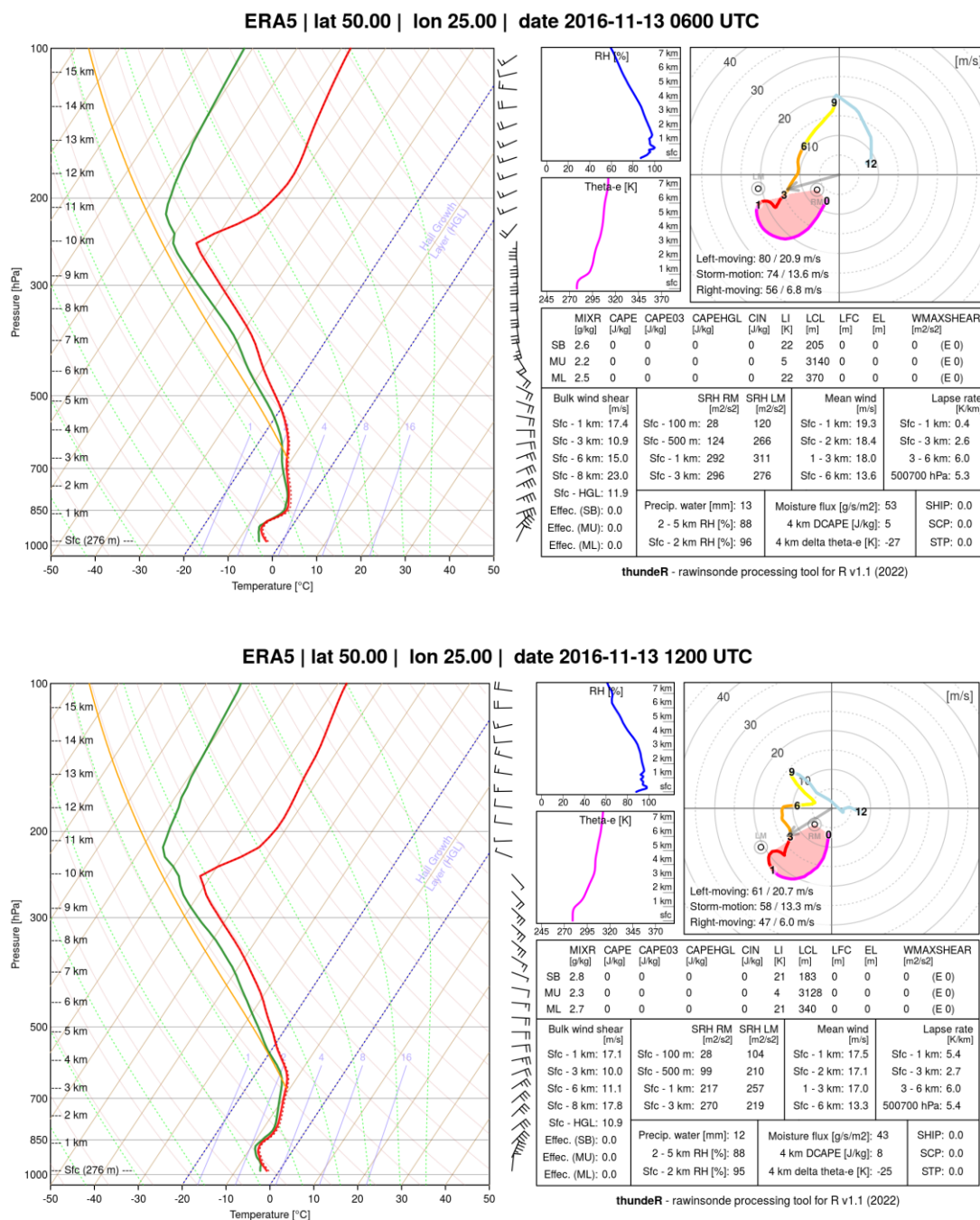


Рисунок 3.2 – Аерологічна діаграма і годограф вітру 13 листопада 2016 р. о 06 та 12 UTC у Бродах.

Параметри SCP (supercell composite parameter), STP (significant tornado parameter) та SHIP (significant hail parameter) в обох пунктах дорівнювали 0 через відсутність термічної конвекції та масштаб процесу (макропроцес).

За даними годографа в обох пунктах спостерігався стійкий північно-східний потік зі швидкістю 12-18 та 20-21 м/с в шарі 0-3 км, а вище 9 км

спостерігається правий поворот вітру з висотою (так званий "правий шторм") вітер набуває західний напрямок при зменшенні швидкості вітру до 6,3 м/с.

Отже, сильні снігопади на Львівщині виникли у вологонестійкому повітрі зі значними зсувами вітру.

3.2 Синоптичні і метеорологічні умови виникнення сильних снігопадів у Львівській області 12-13 листопада 2016 р.

Надзвичайний сніг був зафіксований на Львівщині 12-13 листопада з 15 до 18.00 за місцевим часом. Інтенсивність опадів склала 30 мм/12 год, що відповідає критерію стихійного метеорологічного явища червоний категорії (СМЯ III).

У період 9-14 листопада 2016 р. погоду на території України ускладнювала серія південних циклонів, які переміщувалися із заходу Чорного моря на північний схід України (9-11 листопада) та з Балкан через центральні області в район Волгограда (12-14.11.2016 р.) (рис. 3.3).

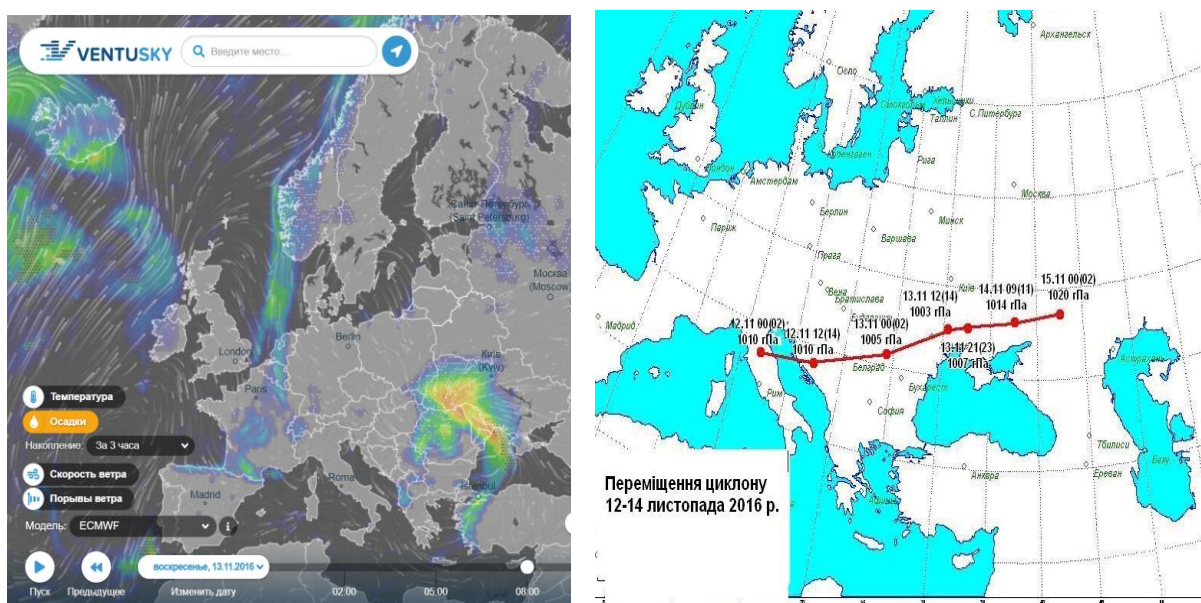


Рисунок 3.3 – Поле опадів 13.11.16 у 8.00 та траєкторія пересування центру циклону з 9 по 15.11.2016 р.

На більшій частині України відмічалися складні погодні умови: 9-11 листопада 12 листопада опади почалися в Карпатському регіоні, а до кінця доби поширилися на всі західні, Вінницьку і Житомирську області. Впродовж 13-14 листопада зона опадів охопила всю територію країни. 12-14 листопада у північній половині випадав помірний і сильний сніг, 12-13 листопада у західних, більшості північних і Львівській областях місцями дуже сильний сніг (20-30 мм за 6-12 годин), спостерігалось налипання мокрого снігу, на Хмельниччині локально сильне налипання мокрого снігу (м. Нова Ушиця діаметром 47 мм і тривалістю 42 години) та сильна хуртовина (м. Ямпіль тривалістю 16 годин за максимальної швидкості вітру 20 м/с), що ускладнювало рух транспорту, завдавало збитків органам енергетики та комунального господарства. Температура повітря знизилася вночі до $-5...-1^{\circ}\text{C}$, в Карпатах до -10°C , вдень до $-2...3^{\circ}\text{C}$; у південній половині проходили дощі, 14 листопада з мокрим снігом, температура була вночі та вдень $1-6^{\circ}\text{C}$.

Починаючи з ночі 14 листопада в західних та подекуди південних областях відбувалося поступове припинення опадів, а під кінець доби 14 листопада вони припинилися на більшій частині території. Опади у вигляді снігу випадали переважно у західних і північних областях, дощу у більшості південних, східних, Дніпропетровській та Кіровоградській областях, мокрого снігу з дощем - на решті території. У західних, північних, Вінницькій, місцями Черкаській, Полтавській і Харківській областях утворився сніговий покрив висотою 1-40 см, на високогір'ї Карпат 41-55 мм. Переміщення циклону також супроводжувалося посиленням вітру до 15-20 м/с.

За даними карти АТ-700 вночі 11 листопада в обширній улоговині циклону з центром над північною Фінляндією, вісь якої була орієнтована із Скандинавії районі Центральної Франції, між Парижем та Берліном сформувався самостійний циклонічний вихор (геопотенціал в центрі 288 дам). Вдень 12 листопада він змістився на Адріатичне море (геопотенціал в центрі 294 дам), а далі на Балкани та на захід України, впродовж 13-14 листопада

циклон ще переміщувався територією України (геопотенціал 292 дам), а вночі 15 листопада вже був за її межами та заповнився (рис. 3.4).

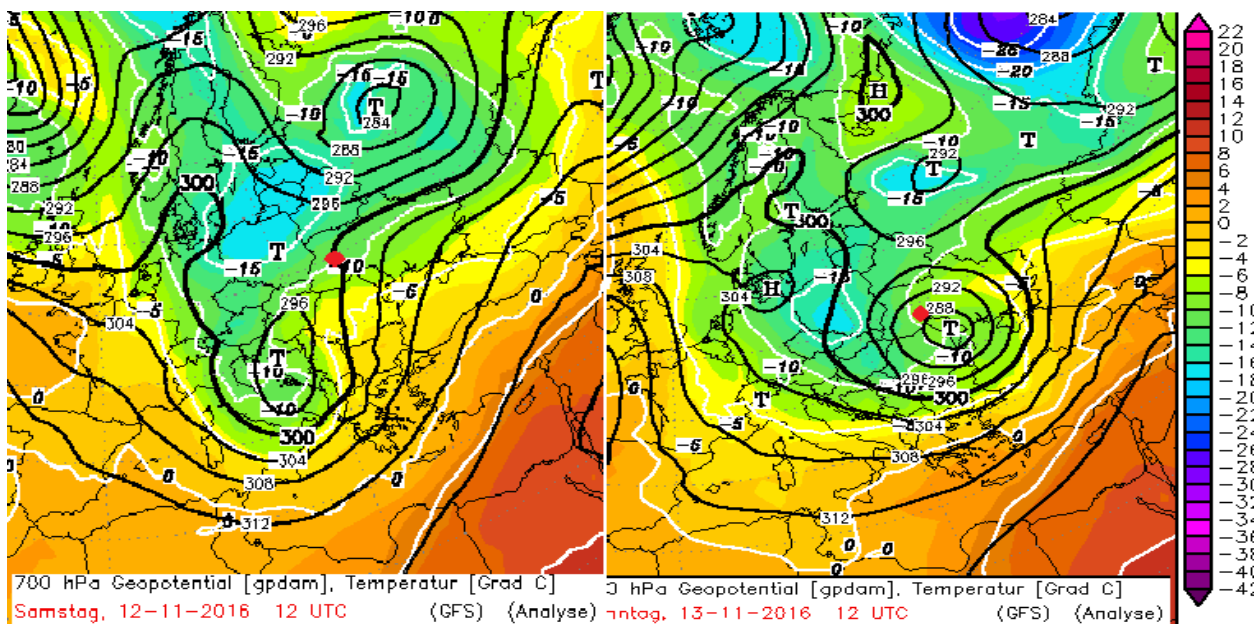


Рисунок 3.4 – Карта АТ-700. 12-13.11.2016 р. 00.00 UTC

За даними карти АТ-850 циклони сформувався вночі 12 листопада (геопотенціал в центрі 141 дам), вдень 13 листопада він окреслювався двома замкнутими ізогіпсами і поширився на територію України (геопотенціал в центрі 138 дам). Циклон переміщувався повільно (рис. 3.5), оскільки його блокував баричний гребінь, що пролягав з Кавказу через Лівобережжя України на Білорусь. Впродовж всього періоду з циклоном було пов'язано дві активні фронтальні системи - полярна і арктична. 13 листопада в (00)02 год на більшій частині території України за даними АТ-850 температура становила від -2° до 6°C . До 00 (02) год 14 листопада, за рахунок переміщення циклону та затоку арктичного повітря, тепло витіснилося на південний схід і вся територія України опинилася в холодній повітряній масі з $-9...0^{\circ}\text{C}$.

Максимальні контрасти температури спостерігались над Україною 13 листопада в 00(02) год та становили на ВТ-500/1000 18 дам/1000 км, на АТ-850 $9-11^{\circ}/500$ км (рис. 3.5). Висотна фронтальна зона розташовувалася широтно та проходила через всю Європу. У висотній фронтальній зоні

максимальна швидкість вітру спостерігалася від 12(14) год 12 листопада до 00(02) год 14 листопада і становила: на АТ-850 15-22 м/с, АТ-700 20-25 м/с, АТ-500 20-35 м/с

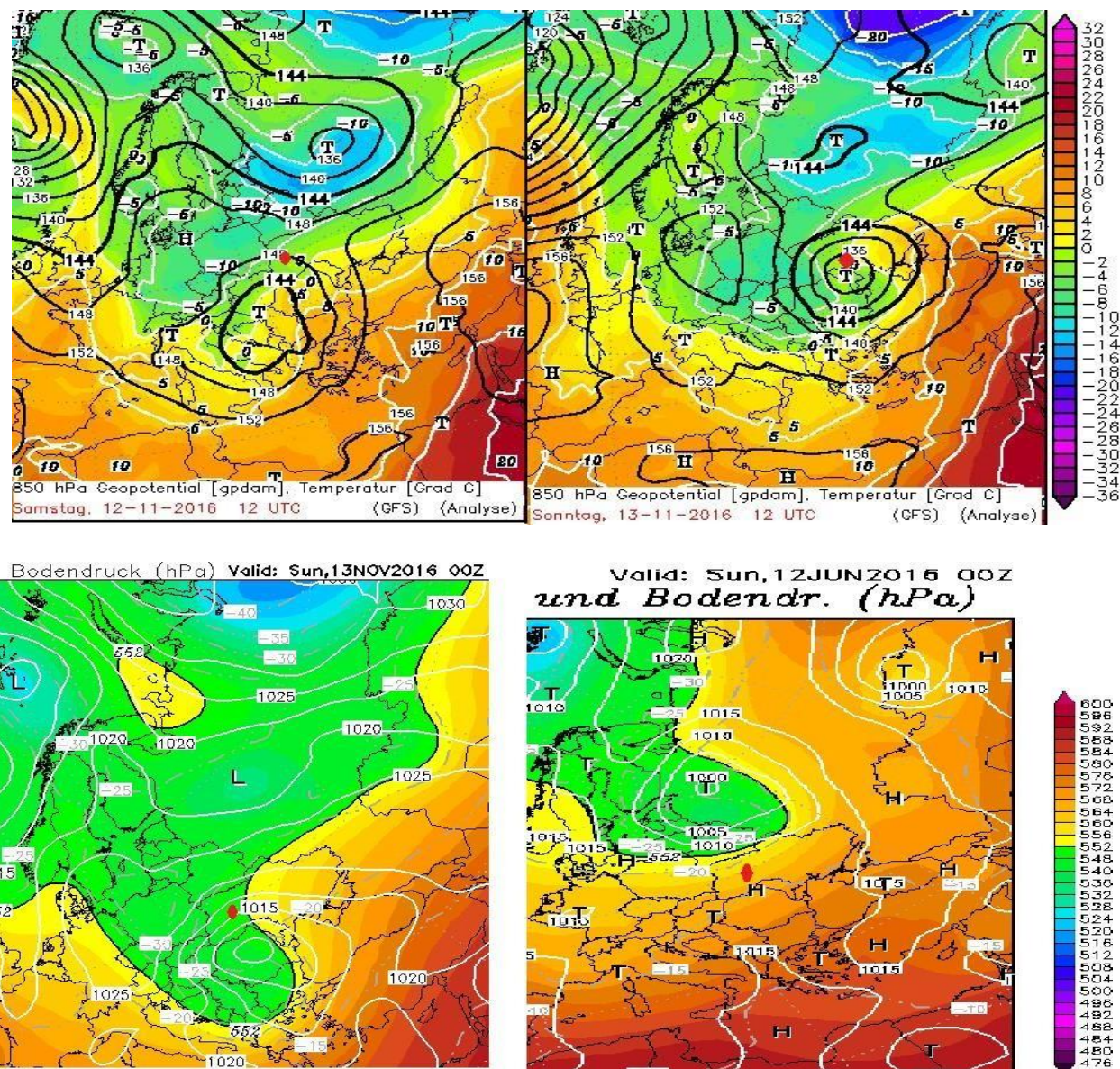


Рисунок 3.5 – Карта АТ-850 та АТ-500 за 12-13.11.2016 р. 00.00 UTC

Біля поверхні землі циклон утворився на хвилі полярного фронту над північчю Італії 11 листопада о 12(14) год і окреслювався двома замкнутими ізобарами (мінімальний тиск в центрі 1010 гПа). Чіткої ізалобаричної пари не відмічалася (рис. 3.6). 12 листопада о 12(14) год його центр змістився на східне узбережжя Адріатичного моря. Тиск в центрі не змінився.

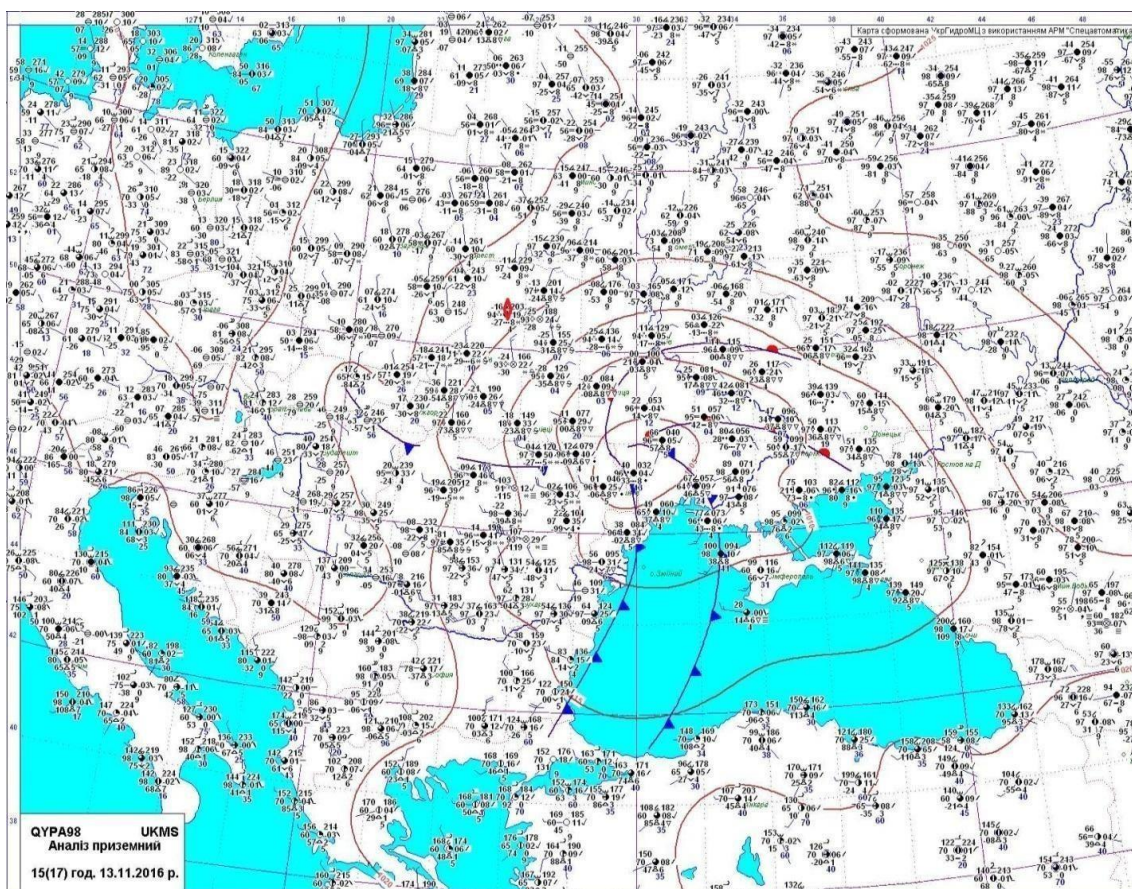
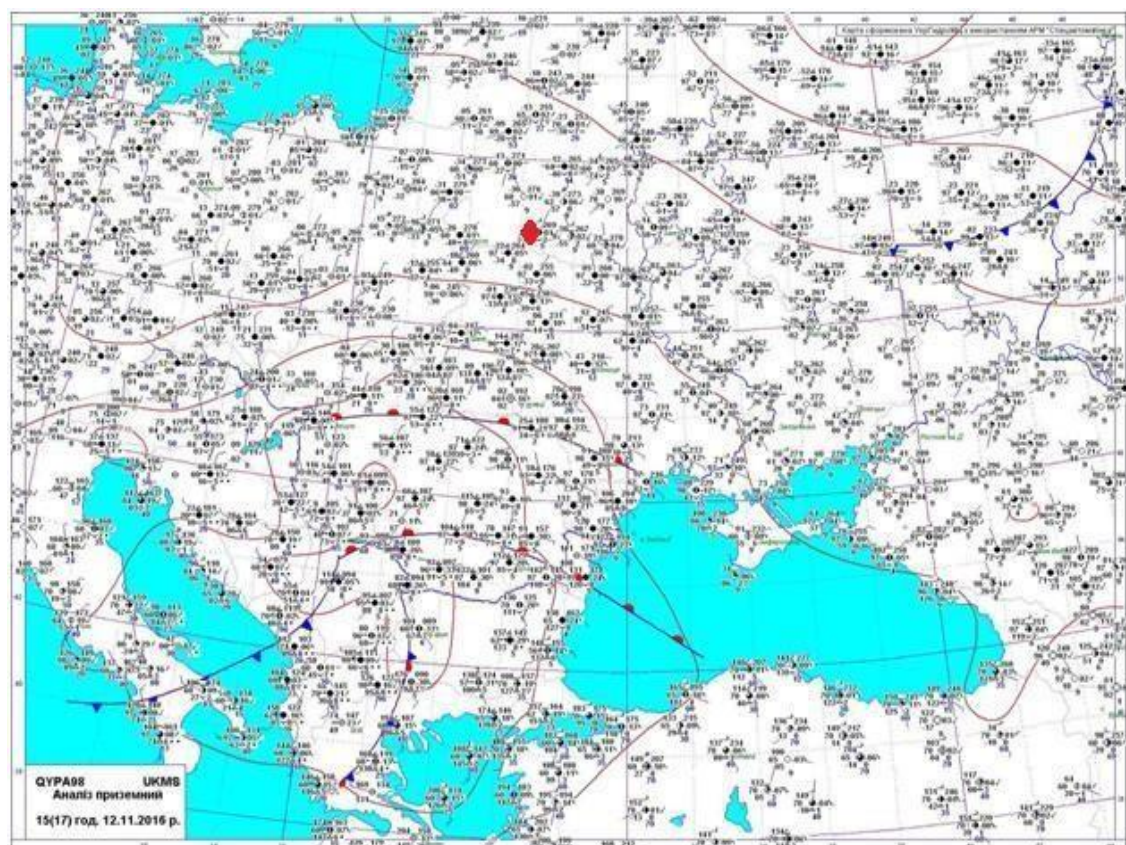


Рисунок 3.6 – Приземний аналіз 12. 11.16 та 13.11.2016. 15.00 UTC

На 18(20) год циклон перемістився на Болгарію, трохи поглибившись (мінімальний тиск в центрі 1007 гПа), а на 03(05) год 13 листопада він поглибився до 1001 гПа і перемістився на Румунські Карпати. На цей час його плив вже відчувався в Україні. 13 листопада о 12(14) год центр циклону вже був над північню Одещини (мінімальний тиск 1003 гПа), зона опадів поширилася на західні, центральні, південні та місцями північні області. 14 листопада в 00(02) год центр циклону був над Дніпропетровською областю (мінімальний тиск 1009 гПа).

Далі циклон повільно рухався у північно-східному напрямку, поступово заповнюючись, і ввечері 14 листопада вийшов за межі України. Максимальне падіння атмосферного тиску (5,7 гПа/3 год), відмічалось 13 листопада в 00(02) год, його максимальний ріст (5,0 гПа/3 год) - цього дня о 15(17) год.

В систему циклону входило два фронтальні розділи - арктичний та полярний. 13 листопада вранці тепла ділянка арктичного фронту проходила зі сходу України через її північні області на захід до хвилі над Румунськими Карпатами; далі від хвилі, з Румунії на Болгарію, пролягала холодна ділянка фронту. Опади на фронті були у вигляді снігу та мокрого снігу, також спостерігалися пориви вітру, хуртовини, ожеледь, налипання мокрого снігу.

Тепла ділянка полярного фронту проходила через південь України, хвиля розташовувалася над кордоном між Молдовою та Румунією, холодна йшла через Молдову та захід Чорного моря і далі на Босфор. Температура в зоні фронту коливалася від 4 до 13° тепла. Опади були у вигляді дощу.

За супутниковими даними положення хмарності відповідало положенню та типу фронтів в циклоні (рис. 3.7).

За даними карти інтенсивності опадів 13 листопада 2016 р на 06.00 зона інтенсивних снігопадів знаходилася над всією територією Західної України. Але найбільш інтенсивні осередки відзначалися в районі м. Львів (30 мм за 12 год) та у Чернівецької області (31-35 мм /12 год) (рис. 3.7).

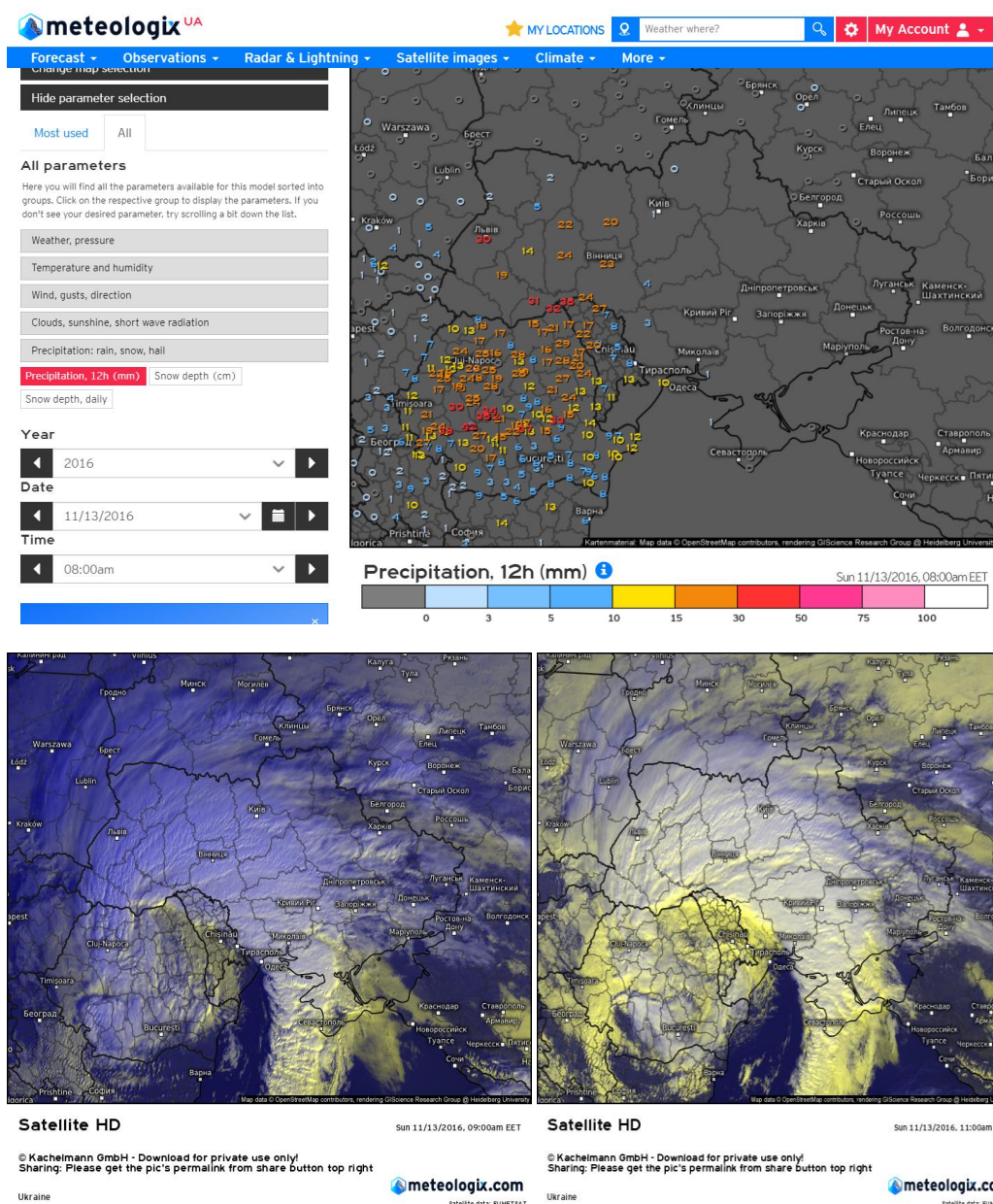


Рисунок 3.7 – Інтенсивність опадів (мм/12 год.) та супутникові знімки 13.11.2016 р. о 09 та 11 UTC [27]

Отже, причиною надзвичайного снігопаду – СМЯ-III (30 мм/12 год) у Львівської області 12-13 листопада 2016 року було проходження оклюдованої ділянки полярного фронту, пов'язаного з південним циклоном, що пересувався з Балкан центральними та північно-західними областями України та завдав значних збитків роботі авіатранспорту.

ВИСНОВКИ

В результаті виконаного дослідження, слід відмітити, що врахування відомостей про сучасні циркуляційні та термодинамічні умови посилення снігопадів у Львівській області дозволить суттєво покращити якість прогноз опадів у холодний період, та можна зробити наступні висновки:

1. На всіх станціях Львівської області спостерігалось підвищення середньо-річної температури повітря у 1979-2021 рр., яке найбільш активно відбувалося у Львові та Турці. Середньорічна сума опадів у 1979-2021 рр. показала від'ємний тренд у Бродах та Славському, а на станціях Дорогобич та Турка не було виявлено змін у режимі опадів.

2. Значний сніг у Львівській області з 2011 по 2021р. спостерігався майже щорічно на кожній станції регіону зі збільшенням кількості випадків у бік Карпатських гір.

3. Випадіння сильного снігу відбувалося не щорічно, та частіше спостерігалось у Дорогобичі та у Львові і Бродах. Сильний сніг утворювався, в середньому, на станціях Львівщини один раз на 3-5 років зі зростанням кількості випадків після 2016 р., а максимум річного ходу припадав на лютий та грудень.

4. Сильні опади переважно утворювалися під впливом фронту оклюзії при пересуванні або утворенні центру циклону над північним заходом України у межах холодної висотної баричної улоговини на рівні 500 гПа.

5. Сильні снігопади на Львівщині виникли у вологонестійкому повітрі зі значними зсувами вітру.

6. Причиною надзвичайного снігопаду у Львівській області 13 листопада 2016 року було проходження оклюдованої ділянки полярного фронту, пов'язаного з південним циклоном, що пересувався з Балкан центральними та північно-західними областями України.



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 21.10.2022 р.)
2. Зміни до Авіаційних правил України: Метеорологічне обслуговування цивільної авіації. 2021, 88 с. [Електронний ресурс] http://www.drs.gov.ua/wp-content/uploads/2021/07/dokument-6292_0_19-21.pdf (дата звернення 1.11.2022)
3. Івус Г. П., Озимко Р. Р., Агайар Е. В., Міщенко Н. М., Семергей-Чумаченко А. Б. Циркуляційні умови формування сильних опадів на Закарпатті взимку // Український гідрометеорологічний журнал, 2018. № 22. С. 28-35.
4. Івус Г.П., Семергей-Чумаченко А.Б. Авіаційна метеорологія: конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2019. 120 с.
5. Івус Г.П., Семергей-Чумаченко А.Б., Агайар Е.В. Авіаційні прогнози погоди: навчальний посібник. Одеса:ОДЕКУ, 2020. 136 с.
6. Клімат України. - К.: Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
7. Львівська область. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%8C%D0%B2%D1%96%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C
8. Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Випуск 3, частина 1: Метеорологічні спостереження на станціях / Державна гідрометеорологічна служба. К.: Ніка-Центр. 2011. 279 с.
9. 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.
10. Розточчя. <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D0%B7%D1%82%D0%BE%D1%87%D1%87%D1%8F>

11. Семергей-Чумаченко А. Б., Слободяник К. Л. Просторово-часовий розподіл сильних опадів над Україною протягом 1979-2019 рр. за даними реаналізу ERA5 // Український гідрометеорологічний журнал, 2020, № 26, С. 50-59. <https://doi.org/10.31481/uhmj.26.2020>
12. Семергей-Чумаченко А. Б., Озимко Р. Р. Динаміка виникнення стихійних опадів на території Закарпатської області з 1990 по 2019 рр. // International Academy Journal «Web of Scholar». 5(47), 2020, Р. 23-26. https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/31052020/7090.
13. Семергей-Чумаченко А. Б., Озимко Р. Р. Розподіл стихійних дощів в Закарпатській області за останнє двадцятиріччя (1999-2018 рр.) // Український географічний журнал, 2019, № 4. С.11-17. <https://doi.org/10.15407/ugz2019.04.011>
14. Шаблій О.І., Муха Б.П., Гурин А.В., Зінкевич М.В. Географія: Львівська область. https://geoknigi.com/book_view.php?id=26 (дата звернення 19.10.2022 р.).
15. Шаблій О.І., Муха Б.П., Гурин А.В., Зінкевич М.В. Географія: Середня кількість опадів у Львові і містах Львівської області. https://geoknigi.com/view_stat.php?id=37 (дата звернення 19.10.2022 р.).
16. Archive of meteorological data. Retrieved from: <https://meteopost.com/weather/archive/> (дата звернення: 20.10.2022).
17. Archiv-Version des Animationstools [Електронний ресурс] http://www1.wetter3.de/archiv_gfs_dt.html (дата звернення 10.11.2022 р.).
18. Balabukh V., Lavrynenko O., Bilaniuk V., Mykhnovych, A., Pylypovych O. Extreme Weather Events in Ukraine: Occurrence and Changes // Open access peer-reviewed chapter, 2018. Retrieved from <https://www.intechopen.com/chapters/61828/>.
19. Climate Change Lviv, Lviv Oblast, Ukraine, https://www.meteoblue.com/en/weather/historyclimate/change/lviv_ukraine_702550 (дата звернення 22.10.2022 р.)

20. Climate Change Brody, Lviv Oblast, Ukraine,
https://www.meteoblue.com/en/weather/historyclimate/change/brody_ukraine_711416

(дата звернення 22.10.2022 р.)

21. Climate Change Drohobych, Lviv Oblast, Ukraine
https://www.meteoblue.com/en/weather/historyclimate/change/drohobych_ukraine_709611

(дата звернення 22.10.2022 р.)

22. Climate Change Slavs'ke, Lviv Oblast, Ukraine,
https://www.meteoblue.com/en/weather/historyclimate/change/slavs%27ke_ukraine_693582

(дата звернення 22.10.2022 р.)

23. Climate Change Rava Ruska, Lviv Oblast, Ukraine,
https://www.meteoblue.com/en/weather/historyclimate/change/rava-ruska_ukraine_695781

(дата звернення 22.10.2022 р.)

24. Climate Change Turka, Lviv Oblast, Ukraine,
https://www.meteoblue.com/en/weather/historyclimate/change/turka_ukraine_690960

(дата звернення 22.10.2022 р.)

25. D'Errico¹ M., Yiou¹ P., Nardini C., Lunkeit F., Faranda D. A dynamical and thermodynamic mechanism to explain heavy snowfalls in current and future climate over Italy during cold spells // Earth System Dynamics, 2020, <https://doi.org/10.5194/esd-2020-61>, <https://esd.copernicus.org/preprints/esd-2020-61/esd-2020-61.pdf> .

26. EUMeTrain: SEVIRI 24-hour Microphysics RGB: Quick Guide, 2 p.
http://eumetrain.org/rgb_quick_guides/quick_guides/24MicroRGB.pdf

27. <https://meteologix.com/ua/satellite/ukraine/satellite-hd-5min/20161113-0900z.html> (дата звернення 12.11.2022 р.).

28. Lian Liu, Yaoming Ma, Nan Yao, Weiqiang Ma. Diagnostic analysis of a regional heavy snowfall event over the Tibetan Plateau using NCEP reanalysis data and WRF // Climate Dynamics, 2021, 56:2451–2467,
<https://doi.org/10.1007/s00382-020-05598-4/>

29. NOAA Air Resources Laboratory: HYSPLIT Trajectories [Електронний ресурс] https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php (дата звернення 12.11.2022 р.).

30. Ozymko, R., Semerhei-Chumachenko, A. Manivchuk, V. Spatiotemporal distribution of heavy and extreme snowfalls in the Transcarpathian region // Időjárás - Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service (OMSZ), 2021, 125 (3), p. 477-490. DOI:10.28974/idojaras.2021.3.7.

31. http://rawinsonde.com/ERA5_Europe/ (дата звернення 15.11.2021 р.)

32. <https://www.ventusky.com/> (дата звернення 12.11.2021 р.).

33. <https://www.zamg.ac.at/cms/de/wetter/wetterkarte> (дата звернення 12.11.2022 р.).

Додаток А

Довідка

кафедри метеорології та кліматології
на кваліфікаційну роботу магістра II курсу гр. МЗМ-21
Навчально-наукового гідрометеорологічного інституту ОДЕКУ

Білої Василюни Степанівни

Тема магістерської кваліфікаційної роботи:

«Циркуляційні та термодинамічні умови утворення сильних
снігопадів у Львівській області»

Кваліфікаційна робота магістра виконана в рамках науково-дослідної роботи «Розробка та вдосконалення методів прогнозу небезпечних та стихійних метеорологічних явищ над Україною» (2020-2024 рр.) ДР № 0120U100487).

Завідувач кафедри
метеорології та кліматології



доц. Прокоф'єв О.М.