



RS Global
Journals

Scholarly Publisher
RS Global Sp. z O.O.
ISNI: 0000 0004 8495 2390

Dolna 17, Warsaw, Poland 00-773
Tel: +48 226 0 227 03
Email: editorial_office@rsglobal.pl

JOURNAL	World Science
p-ISSN	2413-1032
e-ISSN	2414-6404
PUBLISHER	RS Global Sp. z O.O., Poland

ARTICLE TITLE	THE HEAVY SNOWFALL IN THE LVIV REGION
AUTHOR(S)	Семергей-Чумаченко А. Б., Агайар Е. В., Біла В. С.
ARTICLE INFO	Семергей-Чумаченко А. Б., Агайар Е. В., Біла В. С. (2022) The Heavy Snowfall in the Lviv Region. <i>World Science</i> . 6(78). doi: 10.31435/rsglobal_ws/30122022/7908
DOI	https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30122022/7908
RECEIVED	16 December 2022
ACCEPTED	29 December 2022
PUBLISHED	30 December 2022

LICENSE	 This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License .
----------------	--

© The author(s) 2022. This publication is an open access article.

THE HEAVY SNOWFALL IN THE LVIV REGION

Семергей-Чумаченко А. Б.

к.геогр.н., доц., Україна, Одеса Одеський державний екологічний університет
ORCID ID: 0000-0001-8718-4073

Агайар Е. В.

к.геогр.н., доц., Україна, Одеса Одеський державний екологічний університет
ORCID ID: 0000-0003-3914-6288

Біла В. С.

Магістр, Україна, Одеса, Одеський державний екологічний університет

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30122022/7908

ARTICLE INFO

Received: 16 December 2022
Accepted: 29 December 2022
Published: 30 December 2022

KEYWORDS

Heavy Snow, Extreme Snow,
Occlusion Front, Trough, Instability.

ABSTRACT

The relevance of determining the type of circulation and thermodynamic conditions of heavy snowfall in the Lviv region is due to the significant complication of meteorological conditions for aircraft flight due to heavy snowfall.

Revealed the significant annual snowfall in the Lviv region from 2011 to 2021 at each station of the region with an increase in the number of cases towards the Carpathian Mountains. Established that heavy snowfall was observed at the stations of the Lviv region once every 3-5 years, with an increase in the number of cases after 2016, and the maximum of the annual flow occurred in February and December. Determined that heavy snowfalls were mainly formed under the influence of the occluded front during the movement or formation of the cyclone center over the north-west of Ukraine within the cold high-altitude baric basin at the level of 500 hPa during the north-west transport of air masses at altitudes from 750 to 3000 m.

Citation: Семергей-Чумаченко А. Б., Агайар Е. В., Біла В. С. (2022) The Heavy Snowfall in the Lviv Region. *World Science*. 6(78). doi: 10.31435/rsglobal_ws/30122022/7908

Copyright: © 2022 Семергей-Чумаченко А. Б., Агайар Е. В., Біла В. С. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

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. По-друге, виникають перешкоди через електризацію, коли через тертя крупинки 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 [1-3].

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.

Згідно [4] снігопад слід віднести до НМЯ I та вважати «значним снігом» при кількості опадів 7-19 мм за інтервал часу ≤ 12 год. Прі 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).

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

Матеріали дослідження. Основними джерелами інформації є стандартні спостереження на метеорологічних станціях Львівської області (Львів, Броди, Рава Руська, Дрогобич, Турка, Славське) з 2011 по 2021 рр. [5], дані радіозондування [6] та синоптичні матеріали [7-9].

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-часове узагальнення даних та синоптичний аналіз.

Результати досліджень. Сильні снігопади, що суттєво ускладнюють роботу транспортної і енергетичної інфраструктури, комунального господарства та зв'язку, спостерігаються на території Львівської області майже щорічно [10], тому підвищення точності прогнозів сильних снігопадів та покращення реагування на аварійні ситуації є дуже актуальним завданням.

Звісно [11-14], що на заході та півдні Україні 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 України явище такої інтенсивності повторюється кожні чотири-п'ять років. Причому кліматичні зміни проявляються у зменшенні кількості опадів при одночасному зростанні днів з сильними опадами [15] у вигляді дощу та снігу.

Для дослідження просторово-часового розподілу сильних та надзвичайних снігопадів у Львівській області використані дані ресурсу [5] за 2011-2021 рр. для станцій метеорологічних станцій Львів, Броди, Дрогобич, Славське, Турка, Рава Руська, які розташовані у різних фізико-географічних умовах (**рис. 1**).

Виявилось, 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. 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.



Рис. 1 – Просторовий розподіл середнього значення кількості днів зі значним снігом (НМЯ I) у Львівській області з 2011 по 2021 рр.

Найчастіше значний сніг випадав у Бродях – 52 випадки за 11 років (**рис. 2**), також відносно часто на станціях Турка та Дрогобич – 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 I виникали у Славському (4,0 %) та Турці (3,9 %), а менш за все у Львові (2,2%).

Випадіння сильного снігу відбувалося не щорічно та з різною частотою по області. Максимальна кількість сильних снігопадів спостерігалася (7 випадків) у Дрогобичі, по 4 випадки виявилася у Львові та Бродях. 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 2016 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).

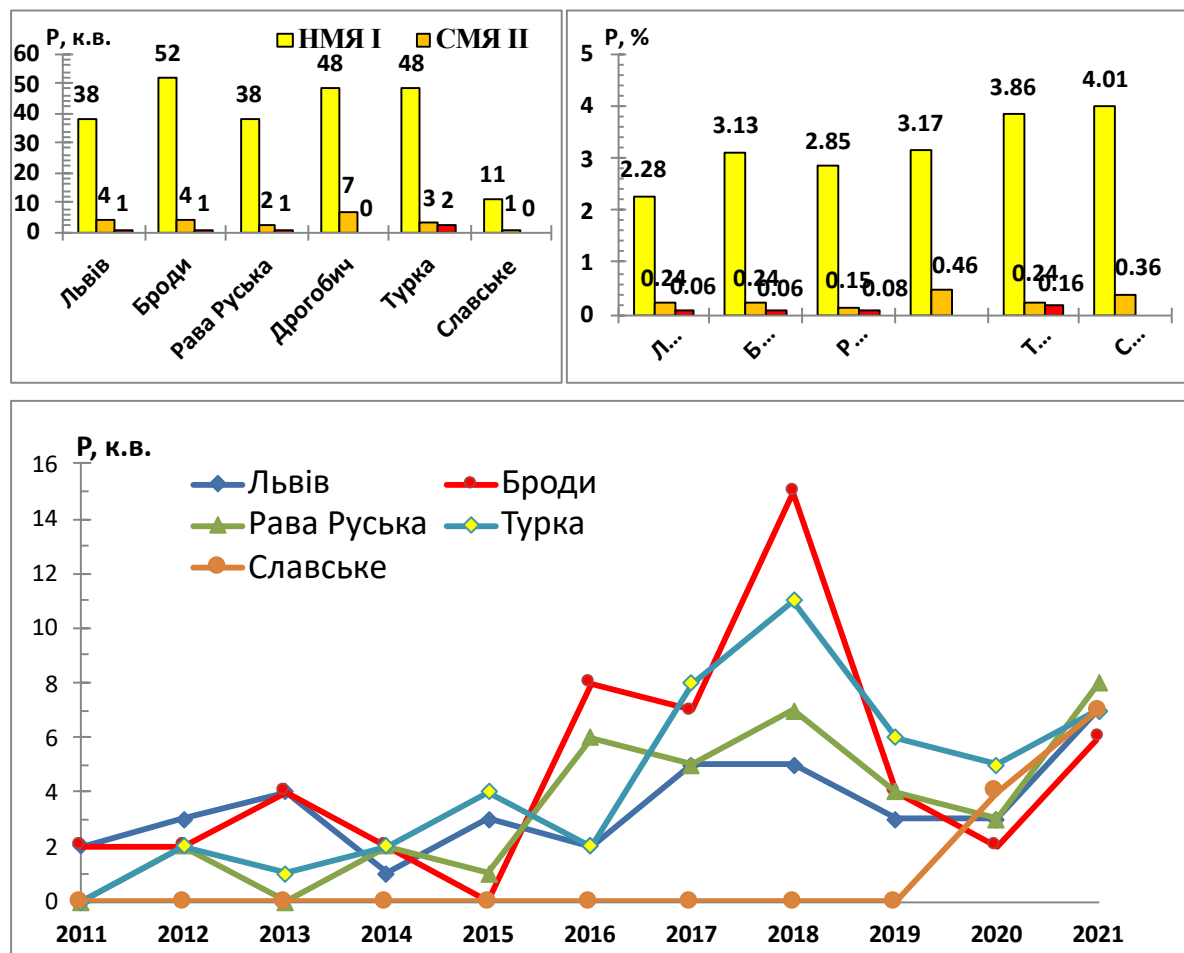


Рис. 2 – Повторюваність (P, к.в. та P, %) значного (НМЯ I), сильного (СМЯ II), надзвичайного (СМЯ III) снігу та міжрічна мінливість кількості випадків НМЯ I у Львівській області з 2011 по 2021 рр.

У річному ході відносно частіше НМЯ I утворювалися у грудні (рис. 3), у січні та лютому активність була майже однакова, а мінімум припадав на листопад.

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 листопаду 2016 р. спостерігався у Львові та Бродях, 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

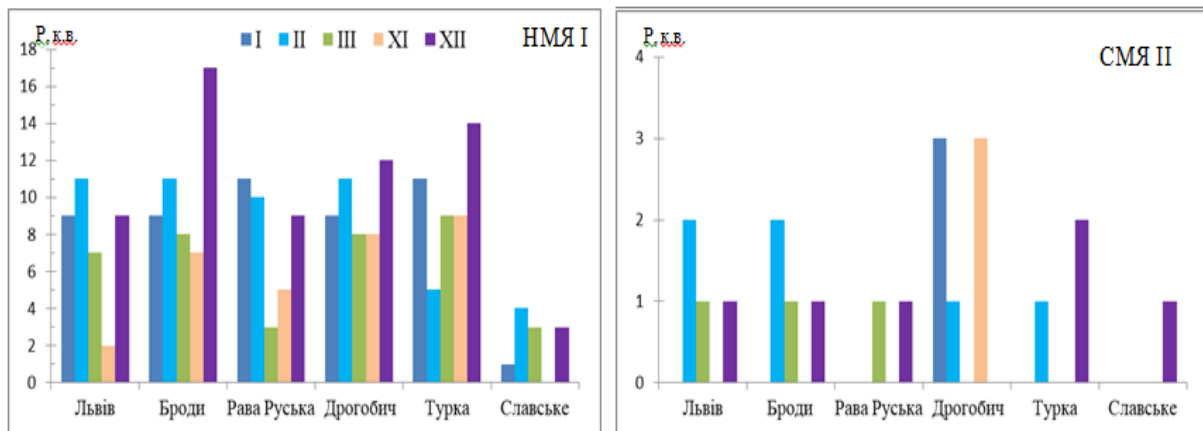


Рис. 3 – Річний хід утворення НМЯ I та СМЯ II у Львівській області з 2011 по 2021 рр.

Посилення снігопадів до рівня СМЯ II та СМЯ III [16-18] 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. 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.

За період з 2011 по 2021 роки у Львівській області 235 випадків значного снігу, 20 випадків сильного та три випадка надзвичайного снігу. Для всебічної характеристики циркуляційних підчас сильних та надзвичайних снігопадів були застосовані синоптичні матеріали ресурсів [7-9] та побудовані зворотні траєкторії переміщення повітряних мас від пункту дослідження на висотах 750, 1500 та 3000 м за допомогою модельного розрахунку тривимірних траєкторій HYSPLIT [9]. Пунктами для відліку траєкторії були координати пунктів Львівської області, де спостерігався сильний або надзвичайний снігопад, якщо сніг фіксувався на одній 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. 4). 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. 5) був 3 квітня 2015 р., коли також Східна Європа перебувала під впливом висотної баричної улоговини з віссю від Гренландії до Чорного моря, у межах якої розвивалася активна циклонічна діяльність біля землі.

Впродовж двох діб 2-3 квітня 2015 р. над Словаччиною на хвилі полярного фронту утворився циклон, 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.

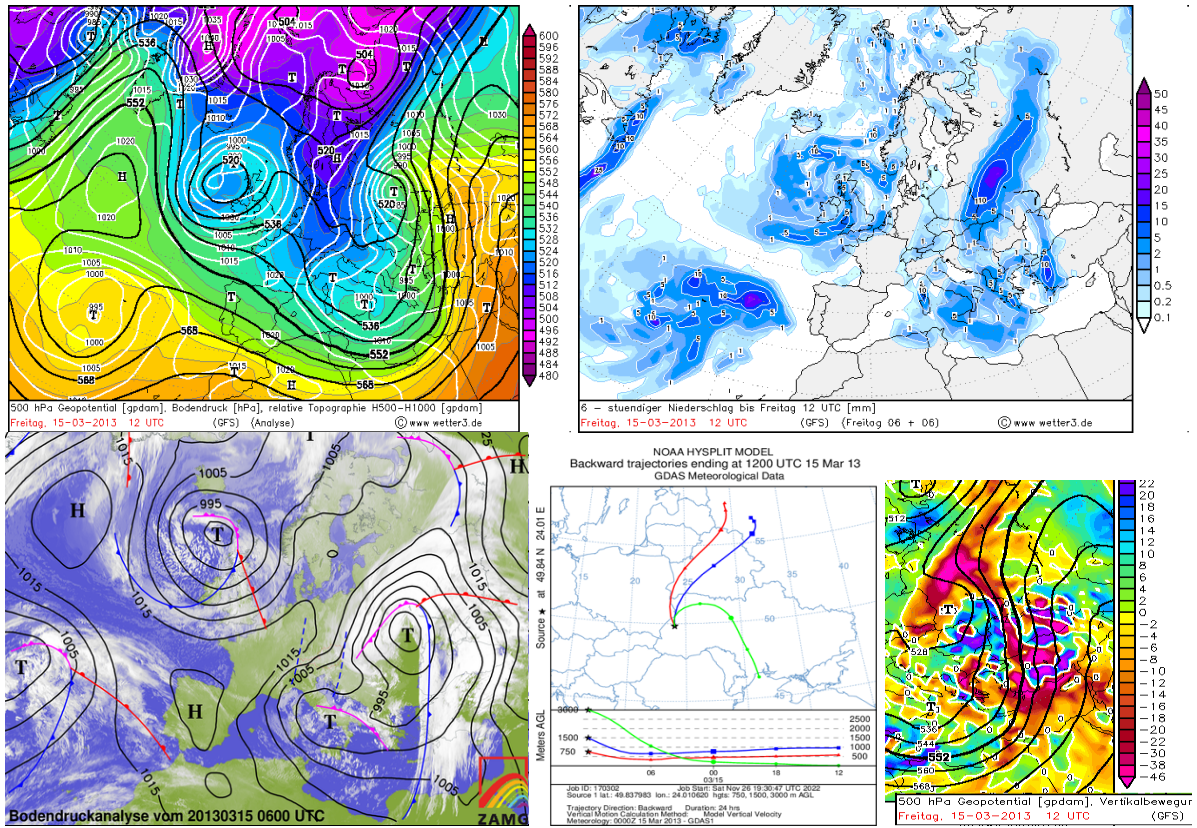


Рис. 4 – Синоптичний аналіз, поле опадів, вертикальних рухів та траєкторії на 12 год. при сильному снігопаді у Львові та Бродях 15.03.2013 р.

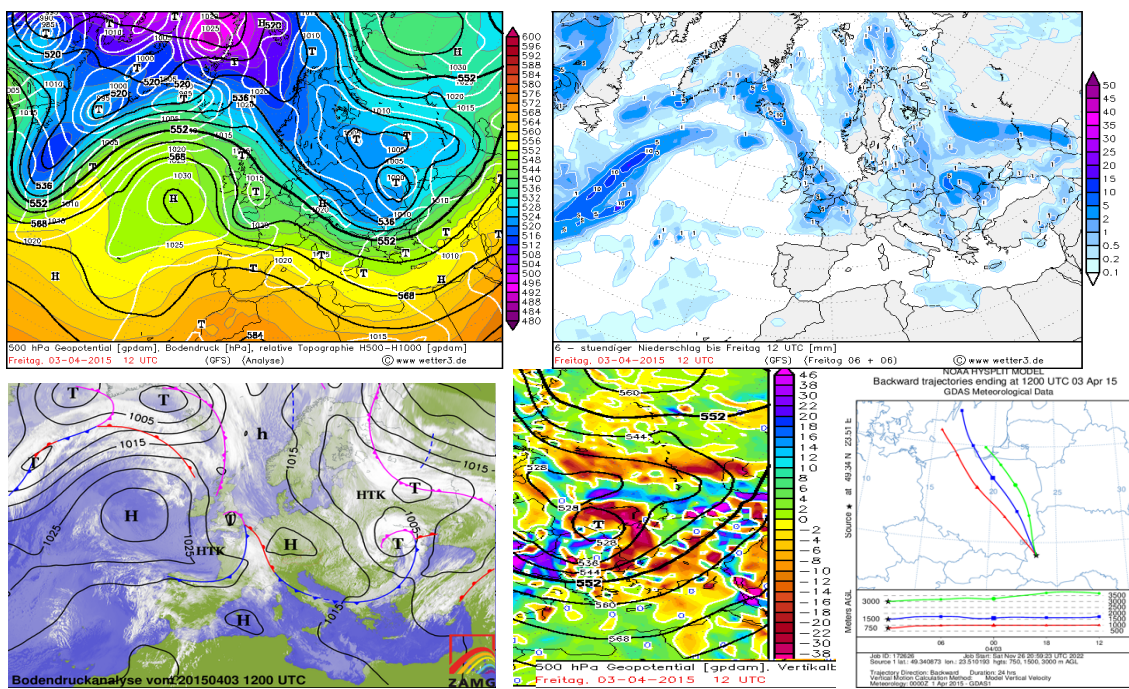


Рис. 5 - Синоптичний аналіз, поле опадів, вертикальних рухів та траєкторії на 12 год. при сильному снігопаді у Раві Руській 3.04.2015 р.

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.

Північна та Східна Європа перебувала під впливом холодної висотної баричної улоговини з віссю від Гренландії то Чорного моря на всіх рівнях від землі до 500 гПа (рис. 6), 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 улоговини, але виявилось переміщення повітря з північних напрямків у тилу циклону з центром над заходом України.

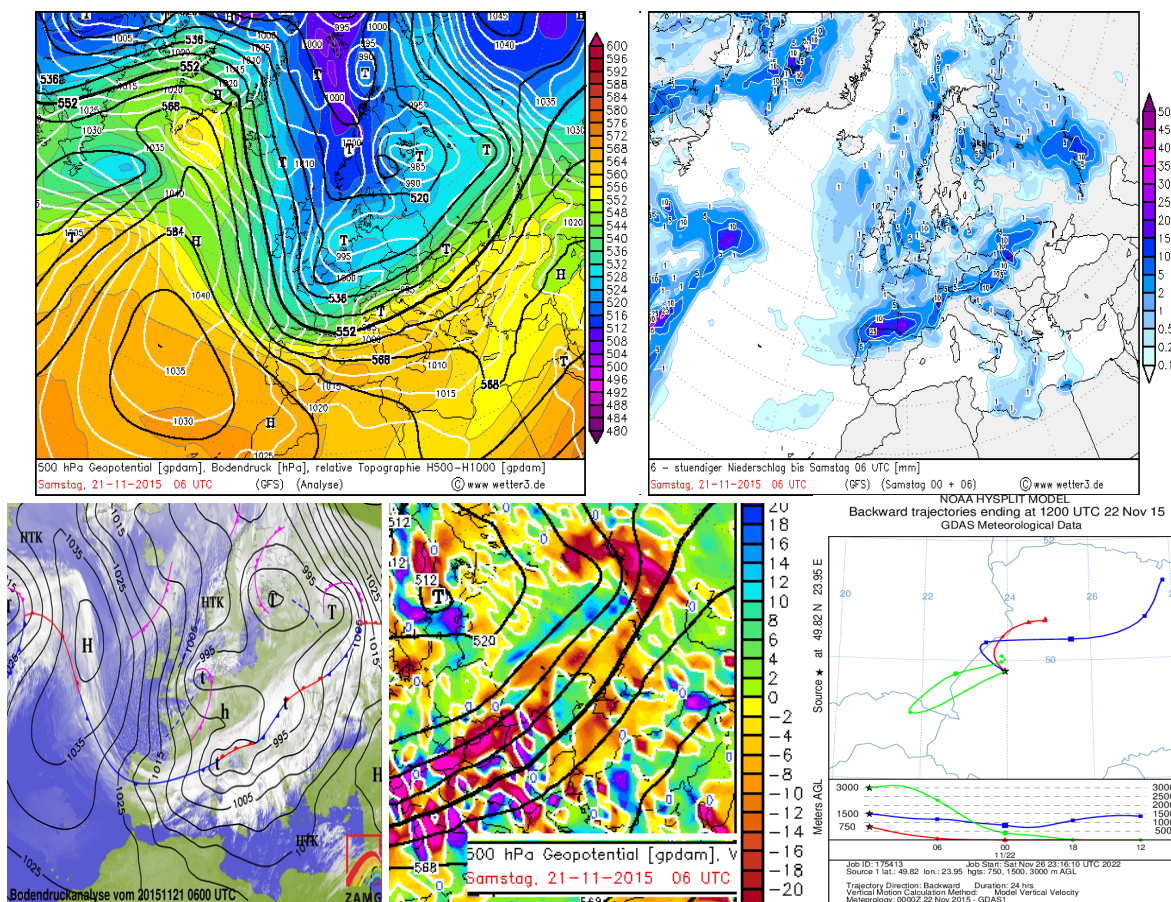


Рис. 6 - Синоптичний аналіз, поле опадів, вертикальних рухів та траєкторії на 12 год. при сильному снігопаді у Львові та Дрогобичі 21.11.15 р.

Надзвичайний сніг спостерігався на Львівщині 13 листопада 2016 р. у 18.00 за місцевим часом. Інтенсивність опадів складала 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. 7).

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.

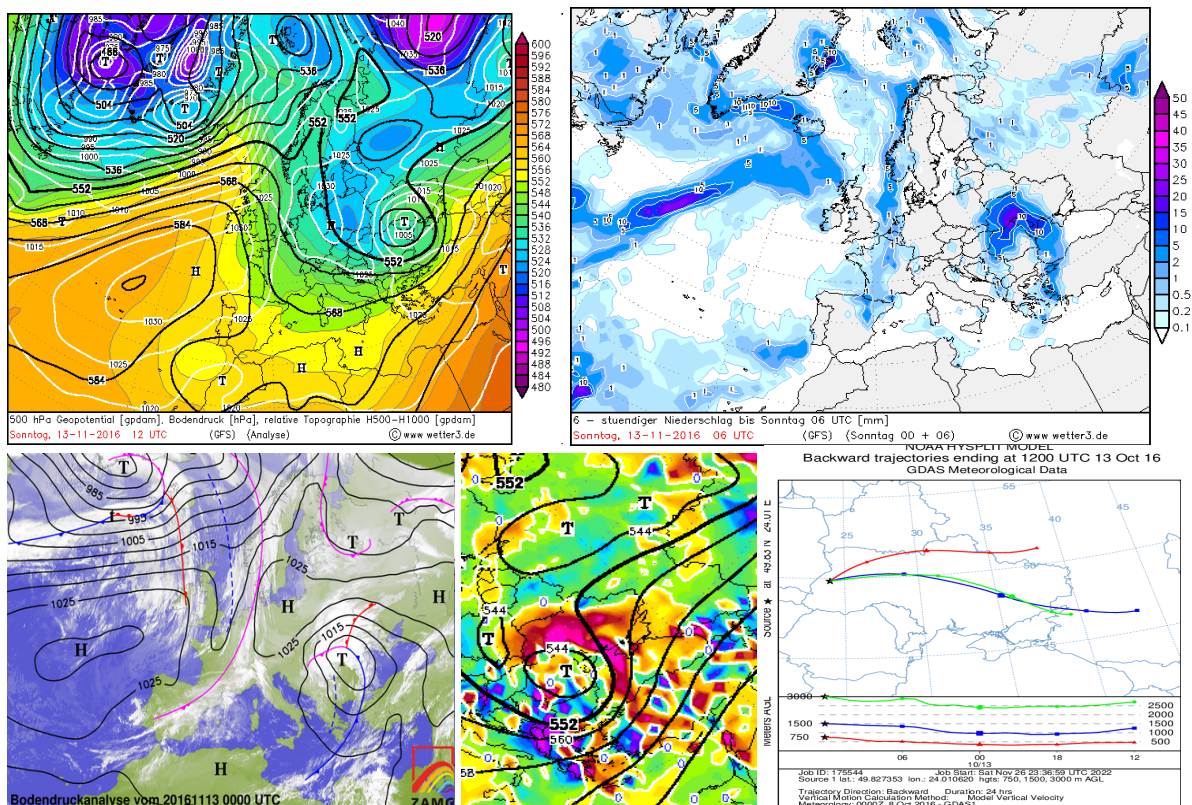


Рис. 7 - Синоптичний аналіз, поле опадів, вертикальних рухів та траєкторії на 12 год. при надзвичайному снігопаді у Львові та Бродях 13.11.16

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. 8) 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, північною Молдовою та Естонією.

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. 1, де узагальнені відомості про характер баричного поля на різних рівнях тропосфери, тип фронтального розділу та напрямок 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 улоговини на рівні 500 гПа.

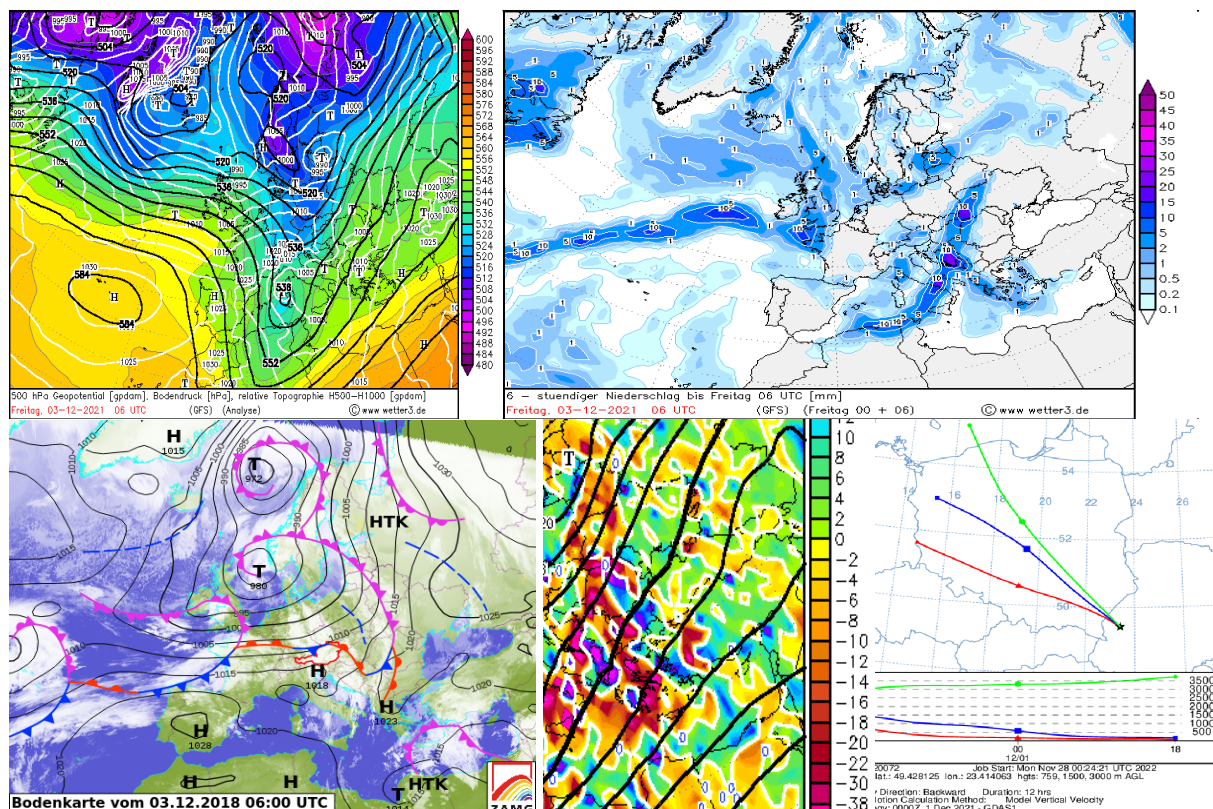


Рис. 8 - Синоптичний аналіз, поле опадів, вертикальних рухів та траєкторії на 12 год. при сильному снігопаді у Турції 3 грудня 2021 р.

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 небезпечно. Залучимо до дослідження ресурс ThunderR [6], 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 р. метеорологами-дослідниками, які спеціалізуються на сильних конвективних штормах, і постійно оновлюється. 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 [6] 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 (рис. 9 та рис. 10) за даними моделі ERA5 показують наявність сухобайдужої та вологонестійкої стратифікації повітря в нижньому 3-х кілометровому шарі ($\gamma_a = \gamma > \gamma_{ва}$).

Таблиця 1– 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	улоговина	ФО	ПнСх	ПнСх	ПдСх
21.11.2015	Львів, Дрогобич	26	центр циклона	улоговина	ХФ,хвиля	ПнСх	ПнСх	ПнЗх
03.04.2015	Рава Руська	20	центр циклона	улоговина	ФО	ПнЗх	ПнЗх	ПнЗх
02.12.2016	Львів	20	центр циклона	улоговина	ФО	Пн	Пн	Пн
29.11.2017	Броди	27	центр циклона	улоговина	ФО	ПдЗх	ПдЗх	ПдЗх
22.01.2018	Дрогобич	20	улоговина	улоговина	ТФ	ПнЗх	ПнЗх	ПнЗх
28.11.2018	Дрогобич	21	улоговина	улоговина	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	улоговина	улоговина	ХФ,хвиля	ПдЗх	ПдЗх	ПдСх
08.02.2021	Львів	21	улоговина	улоговина	ХФ,хвиля	ПнЗх	ПнЗх	ПнЗх
11.02.2021	Турка	20	центр циклона	улоговина	ФО	ПнЗх	ПнЗх	ПнЗх
03.12.2021	Славське	20	центр циклона	улоговина	ФО	ПнЗх	ПнЗх	ПнЗх
СМЯ III								
13.11.2016	Львів, Броди	32	центр циклона	улоговина	ФО	Сх	Сх	Сх
11.12.2018	Рава Руська,Турка	32	центр циклона	улоговина	ФО	Сх	Сх	Сх
03.12.2021	Турка	30	центр циклона	улоговина	ФО	ПнЗх	ПнЗх	ПнЗх

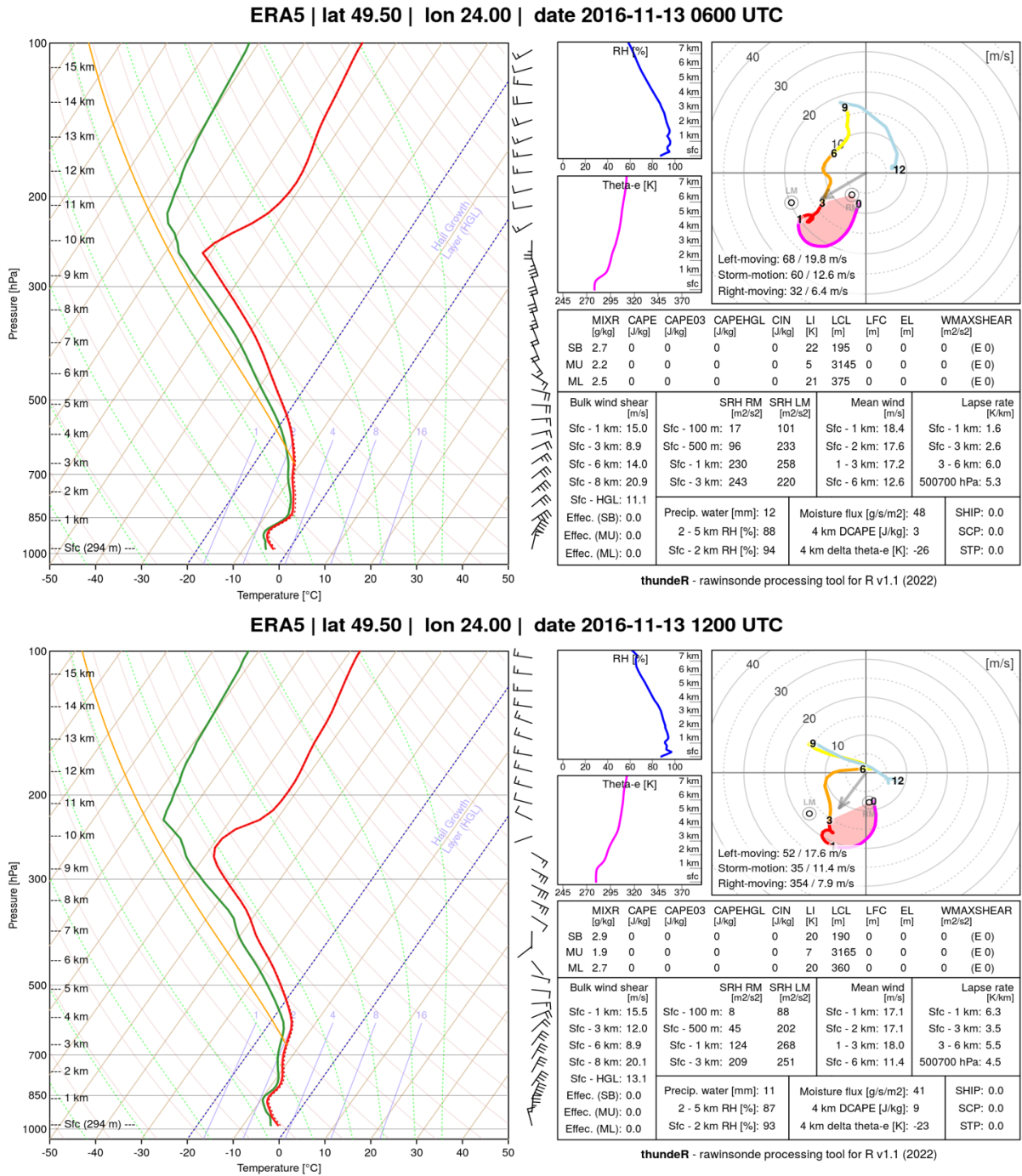


Рис. 9 – Аерологічна діаграма і годограф вітру 13.11.2016 р. о 06 та 12 UTC у Львові.

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. 9) і 13 та 12 мм у Бродях (рис. 10), тобто запаси вологи зменшувалися підчас сильних опадів.

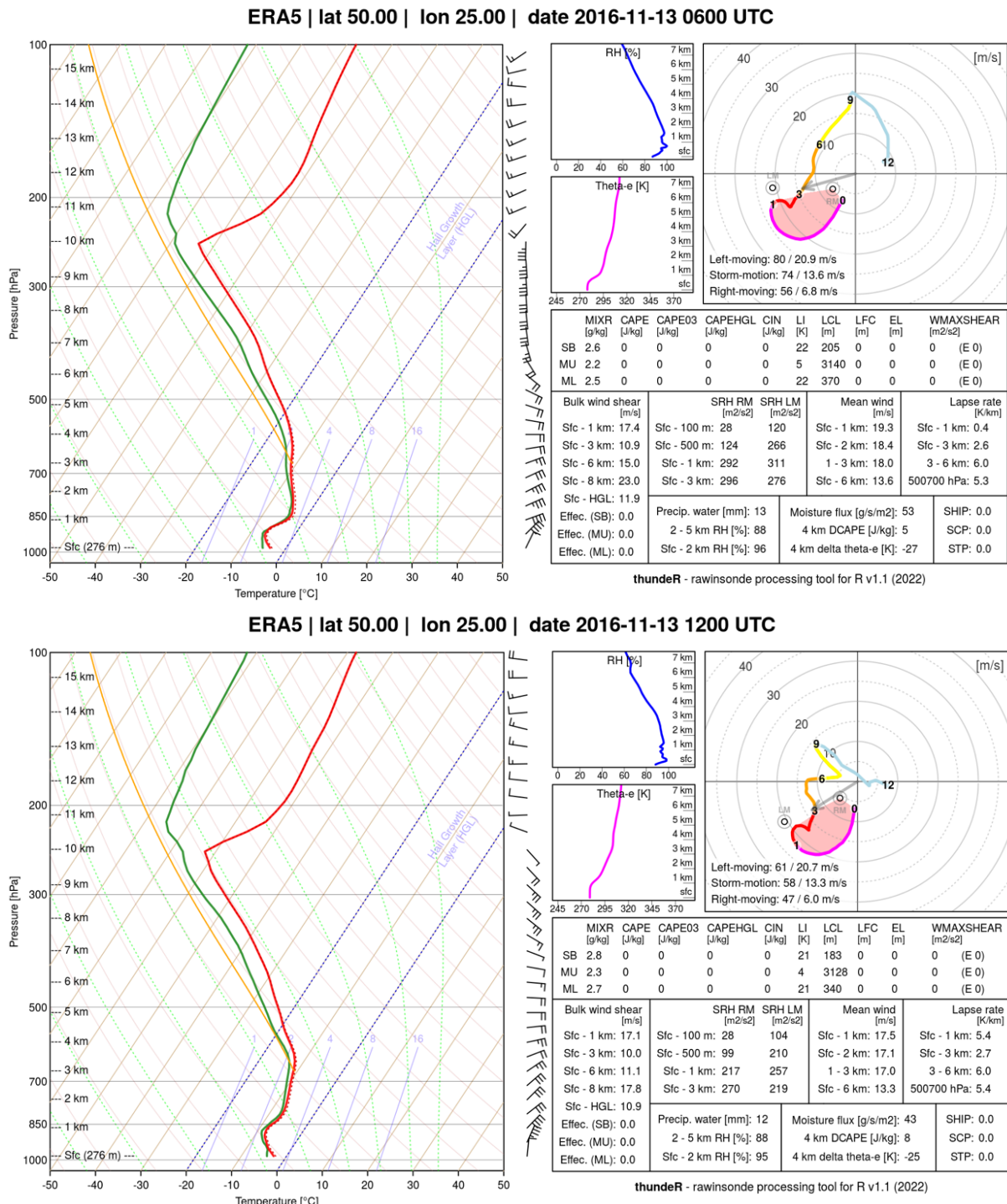


Рис. 10. – Аерологічна діаграма і годограф вітру 13.11.2016 р. о 06 та 12 UTC у Бродях.

Подібним образом змінювався параметр Moisture_Flux_02km ($\text{г/с}\cdot\text{м}^{-2}$), 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 $\text{г/с}\cdot\text{м}^{-2}$ 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.

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 вітру 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.

Висновки.

1. Виявлено щорічне випадіння значного снігу у Львівській області з 2011 по 2021 р. на кожній станції регіону зі збільшенням кількості випадків у бік Карпатських гір.

2. Встановлено, що випадіння сильного снігу на станціях Львівщини спостерігалось один раз на 3-5 років зі зростанням кількості випадків після 2016 р., а максимум річного ходу припадав на лютий та грудень

3. Визначено, що сильні снігопади 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 при північно-західному переносу повітряних мас на висотах від 750 до 3000 м.

REFERENCES

1. *Zminy do Aviatsiynykh pravyl Ukrayiny: Meteorolohichne obsluhovuvannya tsyvil'noyi aviatsiyi (Changes to the Aviation Rules of Ukraine: Meteorological maintenance of civil aviation)* (2021). Retrieved from: http://www.drs.gov.ua/wp-content/uploads/2021/07/dokument-6292_0_19-21.pdf (in Ukrainian)
2. Ivus, HP, Semerhei-Chumachenko, AB. (Ed.). (2019). *Aviatsiyna meteorolohiya: konspekt lektsiy (Aeronautic meteorology: synopsis of lectures)*. Odessa: ODEKU. <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/6221/> (in Ukrainian)
3. Ivus, HP, Semerhei-Chumachenko, AB, Agayar, EV (Ed.). (2020). *Aviatsiyni prohozy pohody: navchal'nyy posibnyk (Aviation weather forecasts: a study guide)*. Odessa: ODEKU. <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/4649/> (in Ukrainian)
4. Humonenko, LV, Zhuk, NH, Savchenko, LI, Tkach, VO (2019). *Nastanova z meteorolohichnoho prohozuvannya (Guidelines for meteorological forecasting)*. Kyiv: UkrHMTS https://meteo.gov.ua/files/content/docs/meteo_kerdoc/настанова%20з%20метеорологічного%20прогнозування.pdf (in Ukrainian)
5. Archive of meteorological data (2022). Retrieved from: <https://meteopost.com/weather/archive/>
6. Rawinsonde in Europe (2022). Retrieved from: http://rawinsonde.com/ERA5_Europe/
7. The World in Weather Charts (2022). Retrieved from: http://www2.wetter3.de/archiv_gfs_dt.html
8. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (2022). Retrieved from: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/wetter/wetterkarte>
9. NOAA Air Resources Laboratory: HYSPLIT Trajectories (2022). Retrieved from: https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php
10. Lipinsky, VM, Dyachuk, VA, Babichenko, VM (Ed.). (2003). *Klimat Ukrayiny (Climate of Ukraine)*. Kyiv: Vydavnytstvo Rayevs'koho. (in Ukrainian)
11. Semerhei-Chumachenko, AB, Slobodanyk, KL (2020), "Prostorovo-chasovyy rozpodil syl'nykh opadiv nad Ukrayinoyu protyhom 1979-2019 rr. za danymy reanalizu ERA5" ("Spatio-temporal distribution of heavy precipitation over Ukraine during 1979-2019 according to the ERA5 reanalysis") *Ukrayins'kyi hidrometeorolohichnyy zhurnal (Ukrainian Hydrometeorological Journal)*, 26, 50-59. <https://doi.org/10.31481/uhmj.26.2020> (in Ukrainian)
12. Semerhei-Chumachenko, AB, Ozymko, RR (2020), "Dynamika vynyknennya stykhiynykh opadiv na terytoriyi Zakarpat-s'koyi oblasti z 1990 po 2019 rr." ("Dynamics of natural precipitation in the Transcarpathian region from 1990 to 2019") *International Academy Journal «Web of Scholar»* 5(47), 23-26. (in Ukrainian) https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/31052020/7090.
13. Ozymko, R., Semerhei-Chumachenko, A. Manivchuk, V. (2021), "Spatiotemporal distribution of heavy and extreme snowfalls in the Transcarpathian region," *Időjárás - Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service (OMSZ)*, 125 (3), 477-490. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2021.3.7>.
14. Semerhei-Chumachenko, AB, Ozymko, RR (2019) "Syl'ni doshchi ta zlyvy u Zakarpat-s'kiy oblasti yak stykhiyni meteorolohichni yavyscha (1999-2018 rr.)" ("Heavy rains and showers in the Transcarpathian region as natural meteorological phenomena (1999-2018)") *Ukrayins'kyi heohrafichnyy zhurnal (Ukrainian Geographical Journal)*, 4 (108), 11-17. (in Ukrainian)
15. Balabukh, V., Lavrynenko, O., Bilaniuk, V., Mykhovych, A., Pylypovych, O. (2018), "Extreme Weather Events in Ukraine: Occurrence and Changes," *Open access peer-reviewed chapter*. Retrieved from <https://www.intechopen.com/chapters/61828/>.

16. Івус, Г. П., Озимко, Р. Р., Агайар, Е. В., Міщенко, Н. М., Семергей-Чумаченко, А. Б. (2018), “Циркуляційні умови формування сильних опадів на Закарпатті взимку,” *Український гідрометеорологічний журнал*, 22, 28-35.
17. D’Errico1, M., Yiou1, P., Nardini, C., Lunkeit, F., Faranda, D. (2020), “A dynamical and thermodynamic mechanism to explain heavy snowfalls in current and future climate over Italy during cold spells,” *Earth System Dynamics*, 61, <https://doi.org/10.5194/esd-2020-61>, <https://esd.copernicus.org/preprints/esd-2020-61/esd-2020-61.pdf>.
18. Lian, Liu, Yaoming, Ma, Nan, Yao, Weiqiang, Ma. (2021), “Diagnostic analysis of a regional heavy snowfall event over the Tibetan Plateau using NCEP reanalysis data and WRF,” *Climate Dynamics*, 56:2451–2467, <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05598-4/>.