МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра метеорології та кліматології

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: Низькотропосферні течії над південним заходом України

Виконала студентка 2 курсу групи МНЗ-2м
спеціальності 103 - «Науки про Землю»
Слободяник Катерина Леонідівна

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

Рецензент к.ф.-м.н., доцент
Рубан Ігор Георгійович

Одеса 2018

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та аспірантської підготовки
Кафедра метеорології та кліматології
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 103 «Науки про Землю»
(шифр і назва)
Освітня програма Метеорологія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Івус Г.П.

"29" жовтня 2018 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Слободяник Катерині Леонідівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Низькотропосферні течії над південним заходом України*
керівник роботи *Семергей-Чумаченко Аліна Борисівна к. геогр. н., доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти *№271 «С» від 5 жовтня 2018 р.*

2. Строк подання студентом роботи *10 грудня 2018 року*

3. Вихідні дані до роботи *1. Дані радіозондування над ст. Одеса - ГМО з архіву кафедри у 00 UTC з 2016 по 2017 рр. 2. Синоптичні карти з архіву АРМСин 3.0. з 2016 по 2017 рр. 3.Супутникові знімки. 4. Дані моделі GFS з просторовим кроком 0,5 ^{o} меридіану. 5. Метеорологічні спостереження на ст. Одеса-ГМО.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *1. Огляд літературних джерел за темою дослідження та аналіз багаторічного режиму формування низьких струменів над Україною. 2. Характеристика повторюваності та основних структурних параметрів низькотропосферних струменів над Одесою у період 2016-2017 рр. 3. Визначення синоптичних умов утворення низьких течій над Одесою. 4. Аналіз формування низької течії перед теплим фронтом 13 серпня 2018 р.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень.) Рис. 1.1–1.5 – ілюстрації механізму виникнення низьких течій з літературних джерел. Рис. 2.1-2.5 – забезпеченість, повторюваність та структура низьких струменів. Рис. 3.1, 3.2 – розподіл формування низьких струменів за частинами баричних утворень. Рис. 3.3-3.6 – синоптичні типи та їх повторюваність, Рис. 3.7-3.11 – ілюстрації до механізму створення перед фронтального сильного низького струменю, Рис. 3.12-3.17 - синоптичні матеріали з електронних джерел. Рис. Б.1-Б.4 – вертикальні профілі вітру та температури над Одесою.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 29 жовтня 2018 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	*Вивчення літературних джерел за темою дослідження*	з 29 жовтня 2018 р.	95	відмінно
2.	*Збір та попередня обробка вихідної інформації, складання бази даних до дослідження*	листопад 2018 р.	95	відмінно
3.	*Розрахунок структурних параметрів струминних течій нижніх рівнів над Одесою 2016-2017 рр.*	листопад 2018 р.	95	відмінно
4.	*Аналіз повторюваності та структури низьких струменів 2016-2017 рр. над Одесою*	листопад 2018 р.	95	відмінно
5.	*Визначення циркуляційних умов при формуванні низьких течій*	листопад 2018 р.	95	відмінно
6.	*Рубіжна атестація*	19 – 24.11.2018	95	відмінно
7.	*Аналіз виникнення інтенсивної низької течії за даними моделі GFS ї*	грудень 2018 р.	95	відмінно
8.	*Підведення підсумків та підготовка рукопису до друку*	5 грудня 2018 р.	95	відмінно
9.	*Оформлення магістерської роботи.*	10 грудня 2018 р.	95	відмінно
10.	*Підготовка комп'ютерної презентації та доповіді до захисту магістерської роботи.*	грудень 2018	95	відмінно
11.	*Попередній захист магістерської роботи.*	грудень 2018	95	відмінно
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапах)		**95**	**відмінно**

Студент ______________ *Слободяник К.Л.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи ______________ *Семергей-Чумаченко А.Б.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема: «Низькотропосферні течії над південним заходом України»
Автор: Слободяник Катерина Леонідівна

Актуальність визначається необхідністю виявлення причин виникнення і розвитку такого небезпечного явища, як струминна течія нижніх рівнів. Оскільки ці явища утворюються у різноманітних синоптичних ситуаціях, то всебічний аналіз умов виникнення низьких струменів є одним з важливих етапів вдосконалення методів прогнозу посилення вітру біля землі.

Метою даної роботи є виявлення низьких струменів протягом року над ст. Одеса-ГМО у 2016-2017 рр. за даними радіозондування, визначення їх структури та оцінка сприятливості комплексу синоптичних умов створенню низьких течій, аналіз виникнення інтенсивної низької течії перед теплим фронтом за даними моделі GFS.

Відповідно до поставленої мети було розв'язано такі **задачі**:
- зроблено аналіз змін режиму та структури низько тропосферних струминних течій;
- визначені типи синоптичних процесів за наявністю низьких течій;
- виявлені умови виникнення інтенсивної низької течії перед теплим фронтом за даними моделі GFS.

Об'єкт дослідження – вітровий режим нижнього двокілометрового шару атмосфери над південним заходом України.

Предмет дослідження – піки швидкості вітру більший або рівний 15 $м \cdot с^{-1}$, у межах граничного шару атмосфери, якщо зменшення швидкості вітру в 300 м шарах вище та нижче рівня максимуму не менше ніж на 4 $м \cdot с^{-1}$.

Методи дослідження –
- Просторово-тимчасове узагальнення даних
- Синоптичний аналіз

Наукова новизна отриманих результатів.
В даній роботі *вперше* для території південного заходу України
- визначений сучасний режим утворення низьких течій;
- встановлені переважні синоптичні умови формування низьких течій;
- охарактеризований випадок виникнення інтенсивної низької течії перед теплим фронтом.

Практичне значення отриманих результатів. Врахування механізму формування «передфрональної несучої полоси» можна використовувати для вдосконалення прогнозу сильних поривів вітру.

Магістерська робота в обсязі 56 сторінок складається з 3 розділів, висновків, переліку посилань з 32 джерел, двох додатків, містить 31 рисунок та 6 таблиць.

Ключові слова: струминна течія нижніх рівнів, низька течія, несуча смуга, теплий фронт, інтенсивність течії

SUMMARY

Thesis Topic: „Low-Troposphere currents over the Southwest of Ukraine”
Author: Slobodianyk Kateryna

Urgency of the issue determined the need to identify the causes of the emergence and development of such dangerous phenomena as low level jet. As these phenomena are formed in various synoptic situations, the complete analysis of the conditions of low streams is one of the important stages of improving methods of forecasting strong surface wind.

Aim of this study detection of the low jets during the year at the Odessa Hydro-meteorological Observatory in 2016-2017 by the radio-sounding, determine their structure and favorable valuation of complex synoptic conditions to the formation of low flows, analysis of the occurrence of an intensive low current before of the warm front according to the GFS model

According to aim assigned **such tasks** are solved:
- analyzed of changes in regime and structure of low-troposphere jets;
- defined types of synoptic processes in the presence of low jet;
- analysis of the occurrence of an intensive low current before of the warm front according to the GFS model.

Object of scientific research is the wind regime of low two-kilometers layer of the atmosphere over Southwest of Ukraine.

Subject of scientific research peaks wind speeds greater than or equal 15 $m \cdot s^{-1}$ within the boundary layer of the atmosphere, if the decrease in wind speed of 300 m layers above and below the maximum for at least 4 $m \cdot s^{-1}$.

Methods of scientific research is spatiotemporal generalization of meteorological information, synoptic analysis.

Scientific novelty of results obtained.
In this study for the Ukraine for the first time
- a modern mode of formation of low currents is determined;
- defined types of synoptic processes in the presence of low jets;

characterized by the occurrence of an intensive low current before the warm front.

Practical importance of results obtained. Consideration of the mechanism of forming the "pre-frontal conveyor belt" can be used to improve the prediction of strong wind gusts.

The master thesis of 56 pages consists of three chapters, conclusions, bibliography of 32 sources, contains 31 figures and 6 tables.

Keywords: low level jet, low current, conveyor belt, warm front, intensity of the current.

ЗМІСТ

ВСТУП

Сильний вітер значно впливає практично на всі галузі життєдіяльності країни, особливо на безпеку авіації. Низькотропосферні струмені утворюються у різноманітніших синоптичних умовах в широкому спектрі характеристик різних полів метеорологічних величин і причиняють значні труднощі для авіаперевезень та інших галузей економічної діяльності.

Актуальність проблеми визначається необхідністю виявлення причин виникнення і розвитку такого небезпечного явища, як струминна течія нижніх рівнів (СТНР). Оскільки ці явища утворюються у різноманітних аеросиноптичних умовах, то всебічний аналіз фізичних механізмів виникнення низьких струменів та явищ різних масштабів, що передують і супроводжують СТНР, є одним з важливих етапів вдосконалення методів прогнозу небезпечних погодних явищ.

Метою дослідження є виявлення низьких струменів протягом року над ст. Одеса-ГМО у 2016-2017 рр. за даними радіозондування, визначення їх структури та оцінка сприятливості комплексу синоптичних умов створенню низьких течій.

Об’єкт дослідження – вітровий режим нижнього двокілометрового шару атмосфери над південним заходом України.

Предмет дослідження – піки швидкості вітру більший або рівний 15 $м \cdot с^{-1}$, у межах граничного шару атмосфери, якщо зменшення швидкості вітру в 300 м шарах вище та нижче рівня максимуму не менше ніж на 4 $м \cdot с^{-1}$.

Методи дослідження – просторово-часове узагальнення метеорологічної інформації, синоптичний аналіз.

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

По вступу формулюються мета та завдання роботи.

Перший розділ містить в собі загальну інформацію про струминні течії нижніх рівнів, їх вплив на діяльність суспільства та зв'язок з сильним вітром біля землі.

Другий розділ присвячений аналізу структури струминних течій нижніх рівнів над Одесою у 2011-2015 рр. у порівнянні з багаторічними даними про режим струминних течій нижніх рівнів над Україною.

Третій розділ складається з характеристики синоптичних процесів при формуванні струминних течій нижніх рівнів та аналізу випадку виникнення інтенсивної низької течії .

У висновках представлені результати виконаної роботи.

Перелік посилань складається з 30 літературних джерел.

У додатках наведені допоміжні матеріали.

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 «Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (2015-2019 рр., ДР № 0115U006532).

1 ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ НИЗЬКОТРОПОСФЕРНИХ ТЕЧІЙ

1.1 Визначення та основні структурні параметри феномену

Дослідження температурно-вітрових аномалій (струминеподібних посилень вітру та інверсійного розподілу температури повітря) являє собою вивчення розподілу швидкості і напрямку вітру та температури по вертикалі в межах граничного шару атмосфери. Таким чином, розглядається вертикальний профіль метеорологічних величин, в формуванні якого беруть участь тип циркуляції синоптичного масштабу, термічна стратифікація, ступінь бароклінності нижньої частини атмосфери, впорядковані і конвективні вертикальні рухи, адвекція на нижніх рівнях, ступінь турбулізації граничного шару атмосфери (ГША) і особливості фізико-географічного положення пункту (рельєф, водні об˒єкти, великі міста). Різний вклад перерахованих факторів обумовлює різноманіття профілів вітру.

Струминні течії нижнього рівня (СТНР) – це пік швидкості вітру більший або рівний 15 $м \cdot с^{-1}$, у межах граничного шару атмосфери, якщо зменшення швидкості вітру в 300 м шарах вище та нижче рівня максимуму не менше, ніж на 4 $м \cdot с^{-1}$ [1-5].

Існує деяка невизначеність з самою назвою явища. Так, термін СТНР вперше ввів Л.Л. Мінс [3] в 1944 р. Крім того використовується термін "мезострумінь", так як явище зазвичай відноситься за своїм просторовим і часовим масштабом до мезо-діапазону β (за шкалою І. Орланскі [2] від 25 до 250 км і від 1 год до 1 доби). Однак СТНР може зберігатися протягом декількох діб і, таким чином, виходити за часові рамки мезомасштабу. Тому застосована термінологія може бути не завжди коректною.

Однак, незважаючи на розбіжності у визначеннях цих течій звичайно використаються наступні параметри, що характеризують просторову і динамічну структуру СТНР (рис. 1.1):

- потужність СТНР – різниця між висотами в ГША, де швидкість вітру не менше ніж 15 $м \cdot с^{-1}$ (ΔH, м);
- висота осі СТНР – рівень максимуму швидкості вітру (H_0, м);

- інтенсивність СТНР – швидкість вітру на осі струменя (V_0, м·с$^{-1}$).

Для розрахунку структурних характеристик СТНР оптимальним варіантом є комплексне використання даних висотних метеорологічних веж, радіолокаційних і радіозондових спостережень. При цьому у зв'язку з недостатньою щільністю мережі радіозондування, має сенс застосування різних методик інтерполяції полів метеорологічних величин і облік супутникової інформації (за оцінками дрейфу хмарних полів, за картиною хвилювання, шляхом фіксації синоптичної обстановки за результатами нефаналізу або за допомогою математичної обробки супутникових даних).

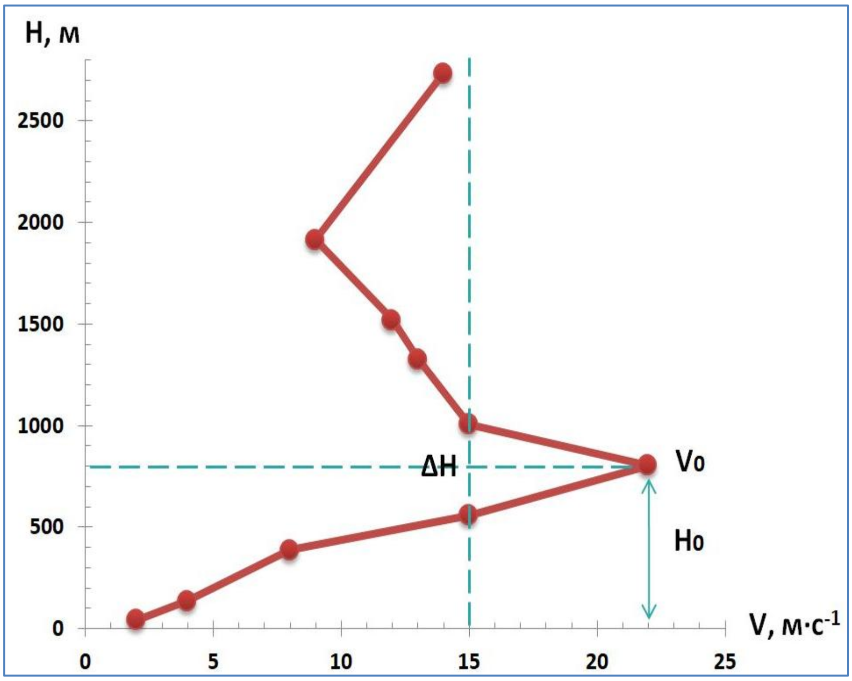


Рис. 1.1. Схема структурних параметрів низькотропосферних течій [2]

З 1992 р. і до сьогодні в США для діагнозу СТНР застосовуються щогодинні дані радарних спостережень системи Wind Profiler Network, організованої Лабораторією прогностичних систем (Forecast Systems Laboratory), що входить до складу NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, USA). Більшість платформ цієї системи розташована у центральній частині Сполучених Штатів (рис. 1.2). Вимірювання здійснюються за допомогою акустичних вітрових профілерів (SODAR - SOnic Detection And Ranging) і лідарів, тобто допплерівських лазерів з високим розрішенням (LIDAR - Light Detection and Ranging). Використання інформації з такою дискретністю за часом (рис. 1.3) надає можливість більш ретельного дослідження структури і динаміки СТНР, оскільки частина струменів спостерігається між стандартними строками зондувань. Однак, і ця методика не позбавлена деяких недоліків: по-перше, нижня межа вимірювань становить 500 м і, отже, найбільш низькі струмені можуть бути пропущені, по-друге, радіолокаційний сигнал у ряді випадків відбивається не від гідрометеорів, що позначається на точності визначення вертикального профілю швидкості і напряму вітру.

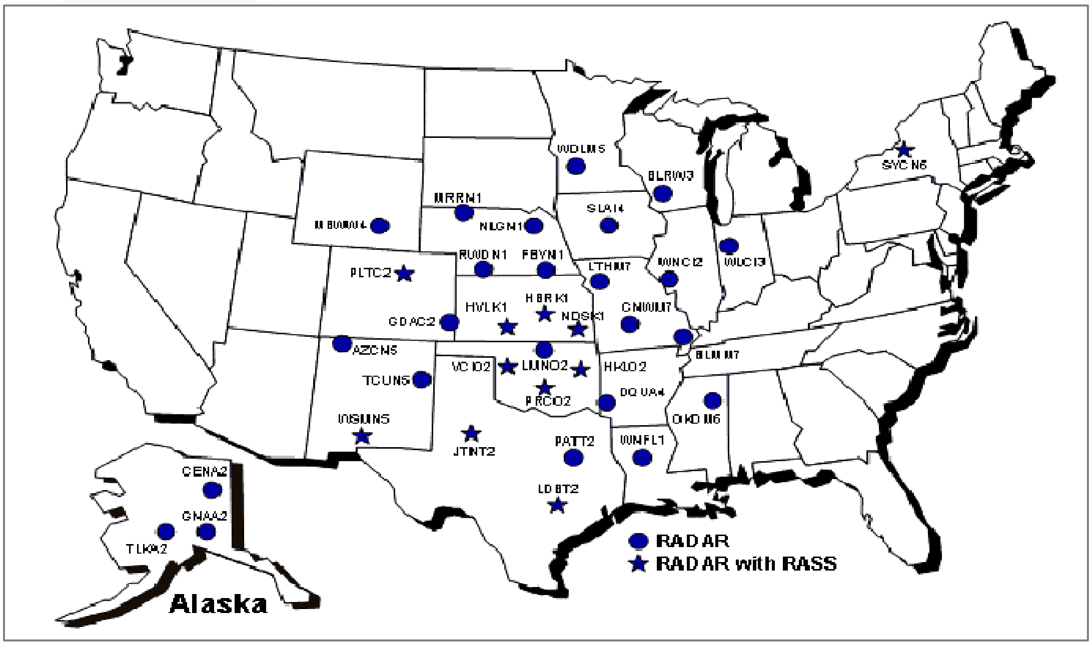


Рис.1.2. Схема розташування елементів системи Wind Profiler Network у США, де RASS – експериментальна Radio Acoustic Sounding System [13]

Крім вищевказаних способів спостережень, у США активно використовуються радіозонди, що опускаються на парашуті з певної висоти - дропзонди (dropsonde), тому що при достатньо повільному спуску існує можливість більш детального вимірювання метеорологічних величин в нижніх шарах атмосфери.

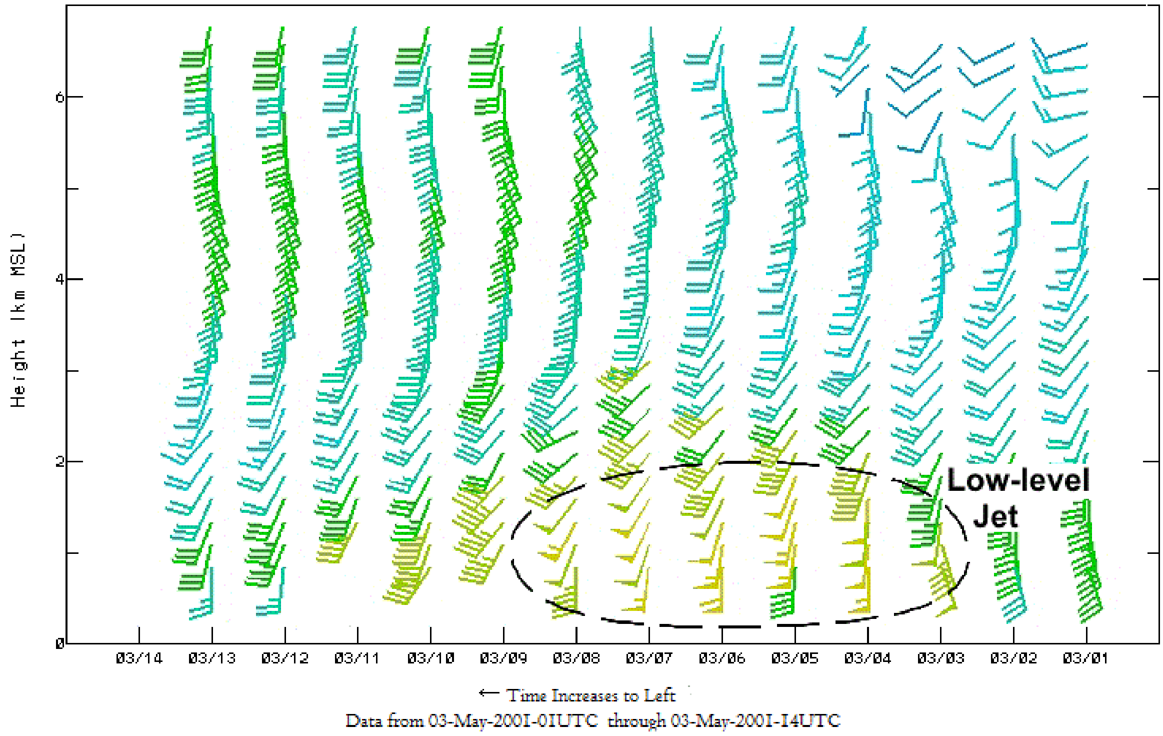


Рис.1.3. Приклад формування СТНР над станцією Персель 3 травня 2010 р., штат Оклахома, США [14]

В 2007 р. вперше в Україні в аеропорту Бориспіль було встановлено допплерівський метеорологічний локатор нового покоління „Метеор-Метеоячейка”, основне призначення якого – одержання інформації про небезпечні метеорологічні явища (грози, град, шквал, смерч, сильні опади, зсуви вітру, турбулентність, обледеніння та інші характеристики), які впливають на безпеку польотів літаків, а також для визначення швидкості і напрямку переміщення небезпечних осередків та своєчасне попередження про їх виникнення [24].

Отже для розрахунку структурних характеристик СТНР оптимальним варіантом є комплексне використання даних висотних метеорологічних веж, радіолокаційних і різноманітних радіозондових спостережень. При цьому у зв'язку з недостатньою густотою мережі радіозондування, має сенс застосування різних методик інтерполяції полів метеорологічних величин і врахування супутникової інформації (за оцінками дрейфу хмарних полів, за картиною хвилювання, шляхом фіксації синоптичної обстановки за результатами нефаналізу або за допомогою математичної обробки супутникових і модельних даних).

1.2 Низькі струмені як географічний феномен

Струмінні течії нижніх рівнів спостерігаються практично над усіма районами Землі [16, 18, 19 та ін.], проте можна виділити деякі географічні особливості формування цього феномена.

Найбільш дослідженими є низькі струмені, що виникають над Великими рівнинами США (Great Plains LLJ), де вони значно впливають на режим опадів і формування стихійних гідрометеорологічних явищ. Активні низькотропосферні струмені виявляються над штатами Техас, Оклахома, Канзас, Небраска, Айова, Міссурі та Арканзас. Характерною рисою зазначених течій є південний напрямок, потужність 200-300 км, відносно невелика їх швидкість 15-18 $м \cdot с^{-1}$ з максимумом 30 $м \cdot с^{-1}$ на висоті 500-1000 м і зниження інтенсивності вище осі на 50-75% [20]. Більшість випадків СТНР характеризується перевищенням швидкості на осі струменя відносно геострофічного вітру.

Переважно над Великими рівнинами СТНР утворюються навесні і влітку на тлі значного денного коливання з найбільшою швидкістю на осі в районі нічного інверсії.

Найбільш сприятливими синоптичними умовами для їх формування є значний градієнт тиску із заходу на схід через Великі рівнини і наявність потужного потоку повітря від Мексиканської затоки [21].

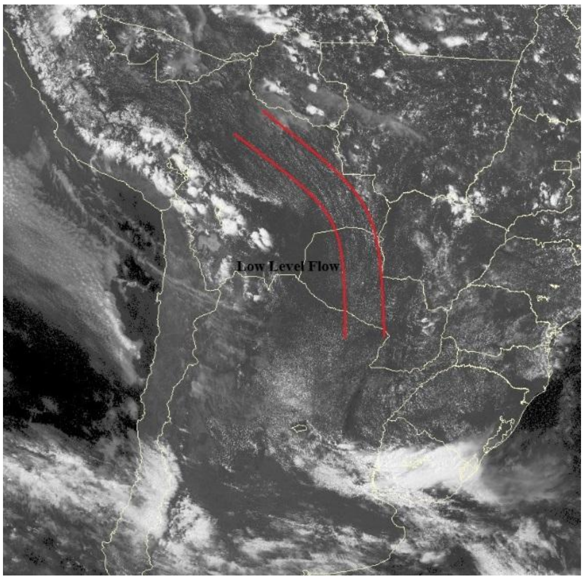
Наявність СТНУ над Великими рівнинами призводить до:

- підвищення транспортування вологи на рівні струменя;
- посилення конвергенції потоків близько осі струменя;
- сприяє виникненню нічний грозової діяльності.

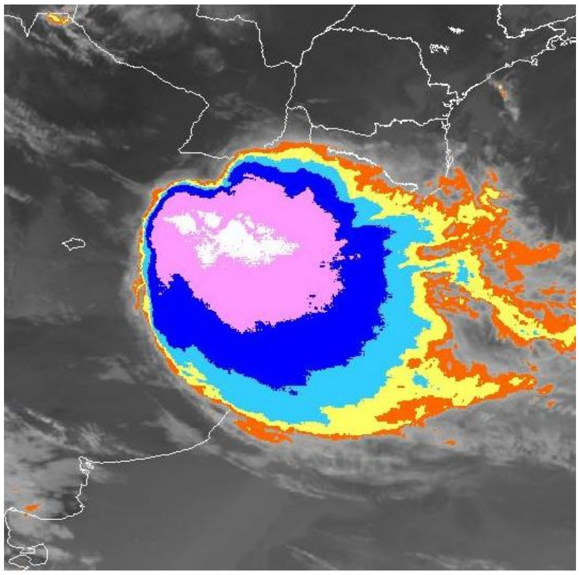
Отже, низькі струменеві течії над Великими рівнинами є механізмом, завдяки якому вологе і нестійке повітря з Мексиканської затоки пересувається на північ США і дає опади.

Важається, що мезомасштабні конвективні системи (МКС) є основним джерелом опадів на Великих рівнинах та Середньому Заході в літні місяці. Розвиток та подальше існування МКС у нічні строки майже завжди пов'язано з наявністю СТНР, максимальна швидкість вітру яких простежується на висоті 300-1000 м [15].

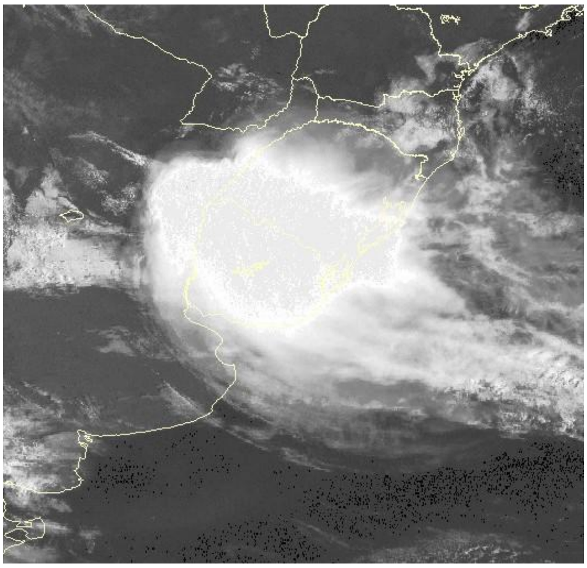
Наявність низького струменя можна побачити на зображеннях геостаціонарних супутників (GOES) у видимому діапазоні перед утворенням МКС. На рис.1.4 показаний розвиток МКС, який відбувся з 17 листопада до 18 листопада 2009 року.



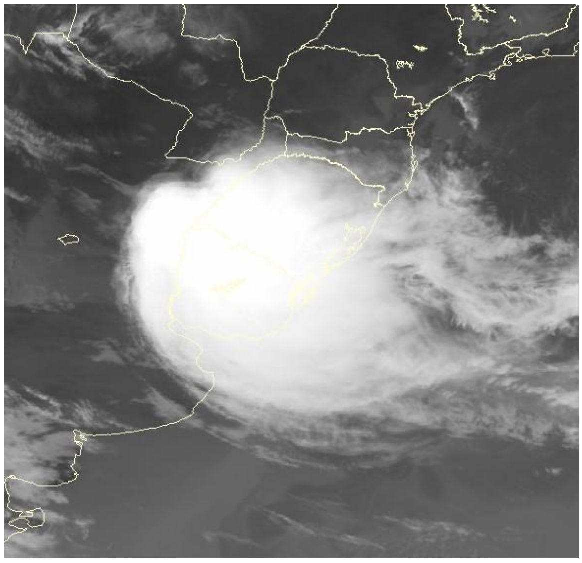
17 November 2009, 18:00 UTC - GOES 10 - Channel 1 (0.65 μm) Visible Image.



18 November 2009, 11:15 UTC - GOES 10 - Channel 4 (11.0 μm) Enhanced IR image.



18 November 2009, 11:15 UTC - GOES 10 - Channel 1 (0.65 μm) Visible image.



18 November 2009, 11:15 UTC - GOES 10 – Channel 5 (6.0 μm) WV image.

Рис.1.4. Приклад формування МКС при наявності СТНР над Південною Америкою 17-18 травня 2009 р.[26]

На початкових етапах розвиток МКС головним чином викликаний наявністю інтенсивної СТНР. На заключних етапах конвективний комплекс рухається на північ у зв’язку з наближенням холодного фронту (рис.1.5).

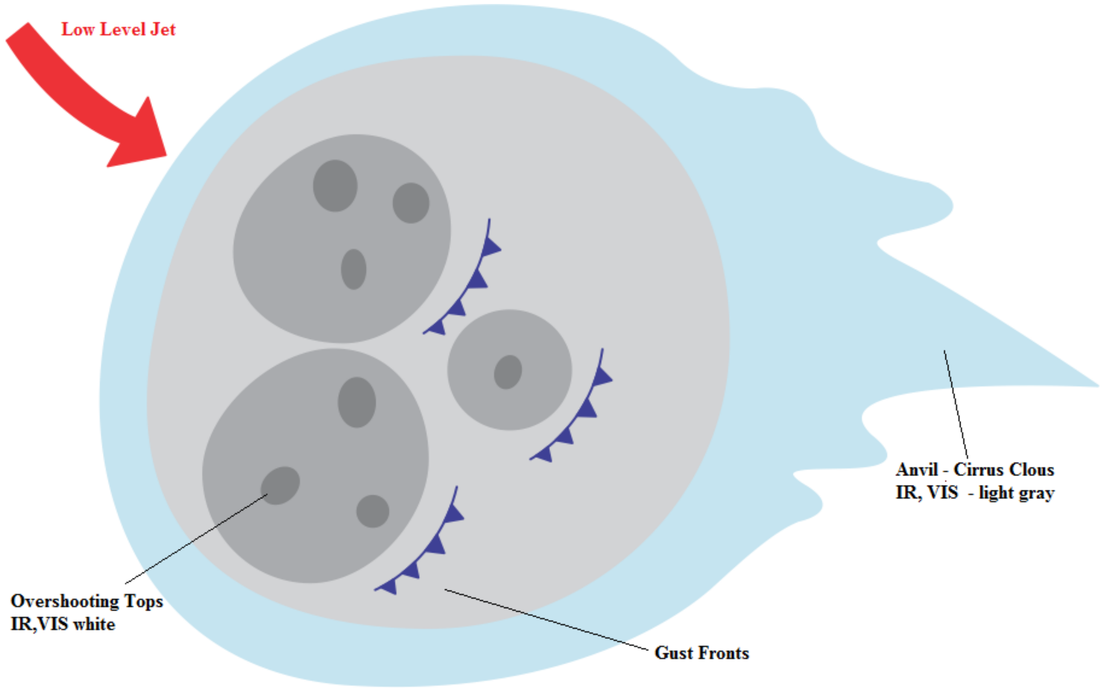


Рис.1.5. Загальна схема МКС за наявності СТНР [26]

Також відомими географічними феноменами є нічний струмінь Курін в Австралії (Koorin Jet), денний австралійський південний Бастер (Southerly Buster) і перуанське СТНР (Paracas LLJ). Дослідження граничного шару атмосфери над пустелею Атакама (Чилі) виявило формування двох максимумів швидкості вітру: південно-західного в післяполудневі години і північно-східного вночі.

Існування субтропічного антициклону над південним сходом Тихого Океану забезпечує формування низького струменя південного напрямку над західним узбережжям Південної Америки [22] в районі 26-36^{o} пд.ш. Зазначене СТНР в 60% випадків спостерігається навесні і влітку і призводить до апвелінга біля узбережжя, що впливає на рибні ресурси регіону.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА НИЗЬКОТРОПОСФЕРНИХ СТРУМЕНІВ НАД ПІВДЕННИМ ЗАХОДОМ УКРАЇНИ

2.1 Просторово-часова мінливість структурних параметрів струминних посилень вітру над Україною

При вивченні того чи іншого метеорологічного явища традиційно проводять аналіз його повторюваності залежно від пори року й доби, певних метеорологічних умов і синоптичних ситуацій. Такий підхід дозволяє виявити деякі закономірності, що характеризують досліджуване явище, його генезис і еволюцію.

Струминні посилення вітру в нижніх шарах атмосфери поширені практично повсюди і відзначаються відносно рідко – від 2 до 15% від загального числа радіозондувань протягом року. Як правило, СТНР зберігаються впродовж 1-2 строків зондування, і лише в окремих випадках - 24 год і більше. Час існування СТНР визначається типом і тривалістю наявної синоптичної ситуації. Так, рекордна тривалість цього явища - більше 4 діб (102 год) була зафіксована над Сімферополем у 1979 р. [3] в умовах стаціонарного антициклону, що зберігався протягом цього періоду.

Добовий хід повторюваності вітрових аномалій над більшістю досліджених регіонів приблизно однаковий – вночі вони спостерігаються частіше.

За матеріалами багаторічних досліджень цього питання над більшістю регіонів Землі характерною рисою процесів розвитку СТНР є річний хід його повторюваності та основних структурних параметрів. Особливо ця закономірність властива для України і європейської частини Росії – максимум переважно приходиться на зимові місяці, а мінімум – на літні. Так, над Сімферополем, Харковом, Шепетівкою і Києвом взимку СТНР спостерігаються у 3-8 разів частіше, ніж влітку, що, імовірніше за все, обумовлено або наявністю в холодний період року могутніх радіаційних інверсій в антициклоні, або проходженням над територією України активних південних та атлантичних циклонів.

Потужність низьких струменів коливається від 200-300 влітку до 500-600 м взимку (табл. 2.1), інтенсивність – 16-17 $м \cdot с^{-1}$ влітку і 18-19 $м \cdot с^{-1}$ взимку. Найчастіше низькі струмені розташовуються на висотах 400-500 м, у залежності від рельєфу місцевості. В цілому, над Україною переважають струмені західних напрямків.

Таблиця 2.1 – Повторюваність (Р) та середні значення структурних параметрів СТНР над Україною (1975-1995 рр.) [3]

Пункт	Р, %		V_0, $м \cdot с^{-1}$		V_{max}, $м \cdot с^{-1}$		ΔН, м		H_0, м	
	ніч	день	ніч	день	ніч	день	ніч	день	ніч	день
Київ	6	5	21	20	30	29	460	500	840	900
Кривий Ріг	7	4	19	20	38	34	590	450	450	440
Львів	7	8	19	19	36	36	330	310	620	670
Одеса	9	8	20	19	36	33	540	460	590	730
Сімферополь	4	4	20	19	34	34	500	460	800	790
Ужгород	6	4	18	21	32	55	500	580	1180	1380
Харків	3	6	20	19	31	33	600	520	740	850
Чернівці	6	4	21	19	37	29	590	450	860	850
Шепетівка	7	4	20	20	34	30	570	560	990	1040

В області низького струменя, як правило, формуються слабкі вертикальні зсуви вітру, хоча в окремих випадках можуть виникати сильні і дуже сильні.

Інтенсивність низькотропосферних струменів збільшується від літа до зими – 17-20 і 18-22 $м \cdot с^{-1}$, відповідно. Над Україною виникнення найбільш інтенсивних СТНР в холодне півріччя, як правило, спостерігається при виході південних і проходженні активних північно-західних циклонів. Для порівняння, над північними районами Східноєвропейської рівнини формування інтенсивних низьких струменів пов'язано з перебудовою баричного поля в перехідні сезони. Таким чином, тип і активність баричних утворень, що визначають погодні умови над окремою територією, в значній мірі обумовлює інтенсивність низьких струменів.

2.2 Короткий опис вихідної інформації

В ході дослідження використані дані над ст. Одеса-ГМО у 2016–2017 рр. у 00 UTC та синоптичні карти з архіву пакету АРМСин 3.0 та [31]. Протягом вказаного періоду виконано 673 радіозондування, тобто здійснено 92 % від нормативної кількості аерологічних спостережень (табл. 2.1).

Таблиця 2.2 – Забезпеченість вихідною аерологічною інформацією на ст.Одеса-ГМО та повторюваність наявності швидкості більш ніж 15 м·с$^{-1}$ та низьких течій у 2016-2017 рр.

Місяці	число РЗ		число V>15м/с		СТНР	
	к.в	%	к.в	%	к.в	%
2016						
I	31	100	6	19	3	10
II	29	100	3	10	4	14
III	29	94	4	14	1	3
IV	30	100	2	7	2	7
V	29	94	3	10	1	3
VI	30	100	0	0	0	0
VII	31	100	1	3	1	3
VIII	31	100	1	3	3	10
IX	30	100	2	7	0	0
X	26	84	3	12	0	0
XI	29	97	4	14	0	0
XII	30	97	7	23	1	3
Рік	355	97	36	10	16	4,5
2017						
I	31	100	3	10	1	3
II	28	100	4	14	0	0
III	31	100	1	3	1	3
IV	30	100	3	10	3	10
V	11	35	0	0	0	0
VI	30	100	2	7	0	0
VII	27	87	0	0	2	7
VIII	25	81	1	4	1	4
IX	16	53	2	13	0	0
X	28	90	5	18	1	4
XI	30	100	0	0	2	7
XII	31	100	7	23	0	0
Рік	318	87	28	9	11	3,5

Порівнюючи період дослідження з попереднім п’ятиріччям (2011–2015 рр.) [11], можна помітити значне зростання якості вихідної інформації, а саме від 67 до 92 % здійсненних радіозондувань.

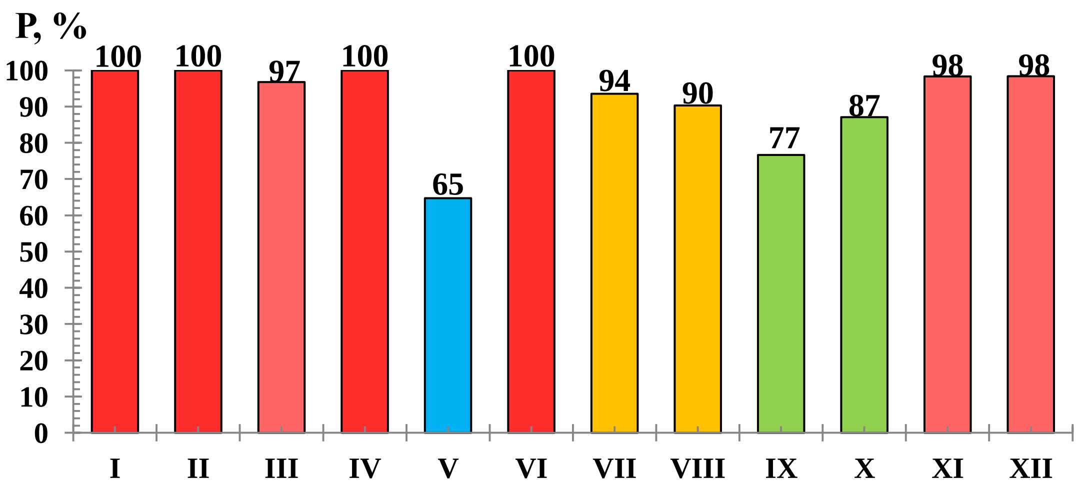


Рис. 2.1. Середня забезпеченість (%) даними радіозондування на ст. Одеса-ГМО у 2016-2017 рр.

Як видно рис. 2.1, найкраща забезпеченість даними у приходилася на всі зимові місяці, березень, квітень, червень та досягала 97-100 %, також вона була значною у липні та серпні – більше 90 %. Менш за все радіозондів випускали у травні – 65 %.

2.3 Повторюваність та структура низьких течій в 2016-2017 рр.

Таким чином, в рамках проведення дослідження проаналізовані 673 радіозонди та виявлено 91 випадок, коли швидкість вітру у нижньої тропосфері перевищувала 15 м·с$^{-1}$, з яких 27 можна віднести до низько-тропосферних течій, при яких вертикальний профіль швидкості вітру відповідав визначенню явища [3].

На рис. Б.1-Б.4 представлені профілі вертикального розподілу швидкості вітру та температури, за допомогою яких виявлялися СТНР та розраховувалися їх структурні параметри.

Більшість течій над Одесою в 2016-2017 рр. спостерігалася взимку, а саме 9 випадків або 33 % від кількості радіозондувань. Незначно меншою їх повторюваність виявилася навесні та влітку – 8 та 7 випадків відповідно, або 30 та 26 %. Найменша їх кількість була зафіксована навесні – 11%, так як восени 2016 р. їх на станції взагалі не спостерігалось (рис. 2.2 та 2.3).

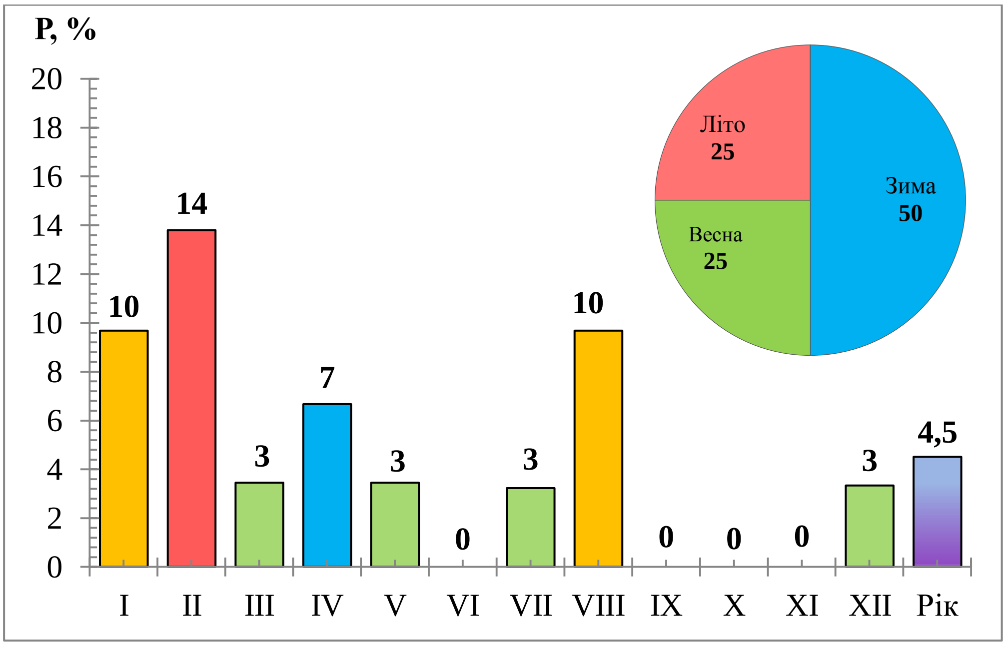


Рис. 2.2. Повторюваність СТНР на ст. Одеса-ГМО у 2016 р.

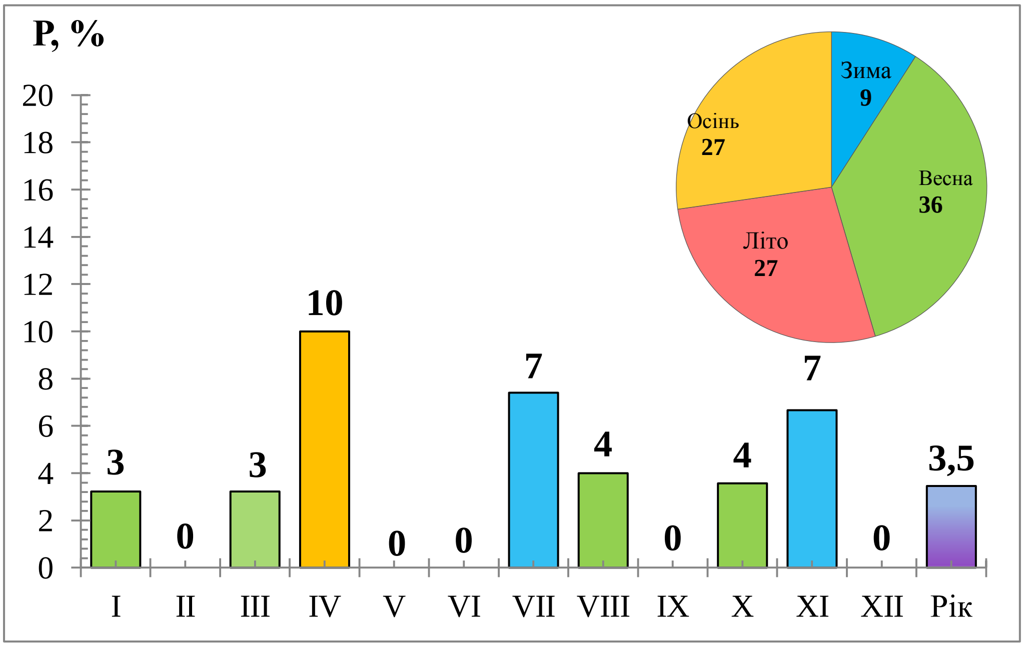


Рис. 2.3. Повторюваність СТНР на ст. Одеса-ГМО у 2017 р.

Протягом 2016 р. половина низьких течій формувалися взимку (рис. 2.2), переважно у лютому – 4 випадки або 14 %, у січні їх було незначно менше – 3 випадки (27 % відносно 2017 р.). Навесні та влітку активність утворення СТНР була однаковою – по 4 випадки на сезон або 25 % від всіх епізодів на рік. Якщо навесні радіозонди виявляли 1 або 2 низьких струменя на місяць, то влітку вони виникали нерівномірно – жодної течії у червні, один випадок у липні та три СТНР у серпні.

У 2017 р. нічні радіозонди виявляли низькі струмені у кожному сезоні, але максимум їх повторюваності припадав на весну – 13 випадків або 36 %, а саме на квітень, коли виявилося формування трьох СТНР (рис. 2.3). Взимку низькі течії утворювалися лише одного разу у січні. Відносно активним було формування низьких течій у липні та листопаді – по 2 випадки на місяць.

В цілому, виникнення низьких струменів майже порівну розподілилося між теплим то холодним півріччям, але у 2016 р. спостерігалася відносна перевага їх утворення з листопаду по березень (56 %), а у 2017 р. 55 % низьких течій виявилося у теплий період.

Таким чином, повторюваність СТНР у період 2016-2017 рр. становила 4 %, тобто зменшилась вдвічі від її багаторічного значення – 8% [3].

Як видно з табл. 2.3 протягом періоду 2016-2017 рр. інтенсивність СТНР у середньому на рік на 3-4 м/с слабкіше (18-19 м/с), ніж у 2001-2010 рр.. Відносно більш інтенсивні струмені у грудні (22 м/с), а також у січні (21 м/с) та в лютому – 20 м/с (рис. 2.4), а максимальні значення швидкостей вітру на осі СТНР досягали 30 м/с (11 лютого 2016 р. та 13 серпня 2016 р.), тобто не перевищили багаторічний максимум – 33 $м \cdot с^{-1}$ [3].

Якщо проаналізувати сезонний розподіл інтенсивності СТНР за 2016-2017 рр., то виявиться формування найбільш інтенсивних течій в зимові місяці, а найменш інтенсивні – восени та влітку.

Отже, протягом дворічного періоду дослідження середньорічна швидкість вітру на осі СТНР значно зменшилися у порівнянні з 2001-2010 рр. та 2011-2015 рр. – з 18-19 до 15 $м \cdot с^{-1}$.

Що стосується просторового розташування СТНР над Одесою, то вони у 2001-2017 рр. (табл. 2.3) спостерігалися нижче на 320 м, ніж у 1975-1995 рр. [2]. Потужність низьких течій над Одесою також зменшилась, у порівнянні з попереднім періодом на 180 м (табл. 2.1).

Таблиця 2.3 – Структурні параметри СТНР над Одесою, 2001-2010 рр. [3], 2011-2015 рр. [11] та 2016-2017 рр.

Місяць	Вісь СТНР			ΔH, м	$H_{нг}$, м
	V_o, м·с$^{-1}$	V_{max}, м·с$^{-1}$	Ho, м		
2001-2010 рр.					
I	19	29	1360	670	760
II	20	27	980	840	710
III	20	32	890	560	750
IV	17	31	1170	760	1350
V	17	25	1280	940	880
VI	18	34	750	550	640
VII	19	25	880	560	670
VIII	17	22	820	380	0
IX	18	30	1140	640	810
X	18	25	960	830	500
XI	18	35	850	470	660
XII	18	24	750	320	630
Рік	18	34	960	630	730
2011-2015 рр.					
I	22	30	1360	970	510
II	21	37	1230	850	990
III	20	26	1230	910	400
IV	21	29	810	920	720
V	16	24	1040	650	550
VI	18	19	1130	540	450
VII	18	21	1390	850	700
VIII	17	18	1020	380	390
IX	18	25	1120	870	840
X	20	24	930	1010	690
XI	19	27	950	950	750
XII	19	29	1040	630	230
Рік	19	37	1100	800	600

Продовження табл. 2.3

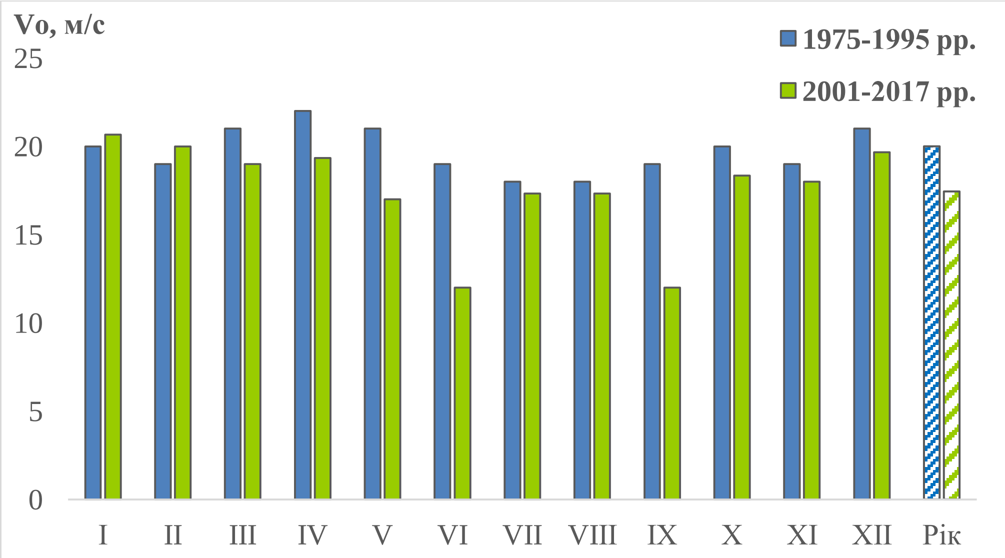
2016-2017 рр.					
I	21	25	960	580	670
II	19	30	940	740	670
III	17	19	870	360	740
IV	20	29	1140	670	760
V	18	18	860	660	710
VII	15	16	800	310	590
VIII	18	30	740	400	580
X	17	17	800	780	500
XI	17	17	1470	730	1070
XII	22	22	800	880	230
Рік	15	19	780	510	540

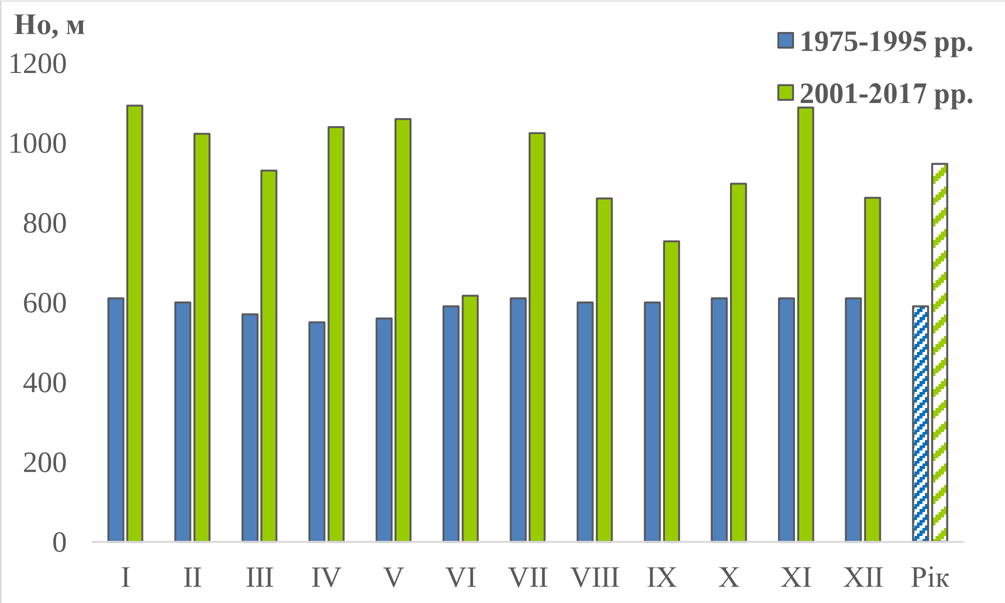
Отже, у період дослідження 2001-2017 рр. низькі струмені у середньому стали менш інтенсивними (на 3-4 м/с), менш високими та менш потужними (рис. 2.4).

Для ретельного аналізу динаміки формування структурних параметрів СТНР залучені їх середньомісячні значення з [3, 11] за 2001-2010 рр. та 2011-2015 рр., доповнені новою інформацією за 2016-2017 рр. та розраховане значення ковзного середнього з періодом у п’ять років для холодного (з жовтня по березень) та теплого (з квітня по вересень) півріч.

Як видно з рис. 2.5, низькі струмені (Vo, м/с) у холодне півріччя виявилися більш інтенсивними ніж у теплому (на 1-2 м/с), та незалежно від пори року з 2001 по 2017 рр. спостерігалося поступове посилення швидкості вітру на осях СТНР, причому у тепле півріччя швидкість вітру на осі зростала більш активно.

Аналіз розподілу потужності СТНР (рис. 2.5) виявив її зниження від 2002 по 2007 рр., яке потім переходить у поступове зростання до 2015 р. включно, проте за останні два роки вказаний параметр істотно зменшився. Тепле півріччя характеризувалося значною потужністю у 2002-2009 рр., а далі вона зменшувалася. Лінійний тренд середньомісячних значень потужності низьких течії у холодне півріччя мав майже рівний вигляд з незначним зниженням, а у тепле показав різке зменшення цього параметру.





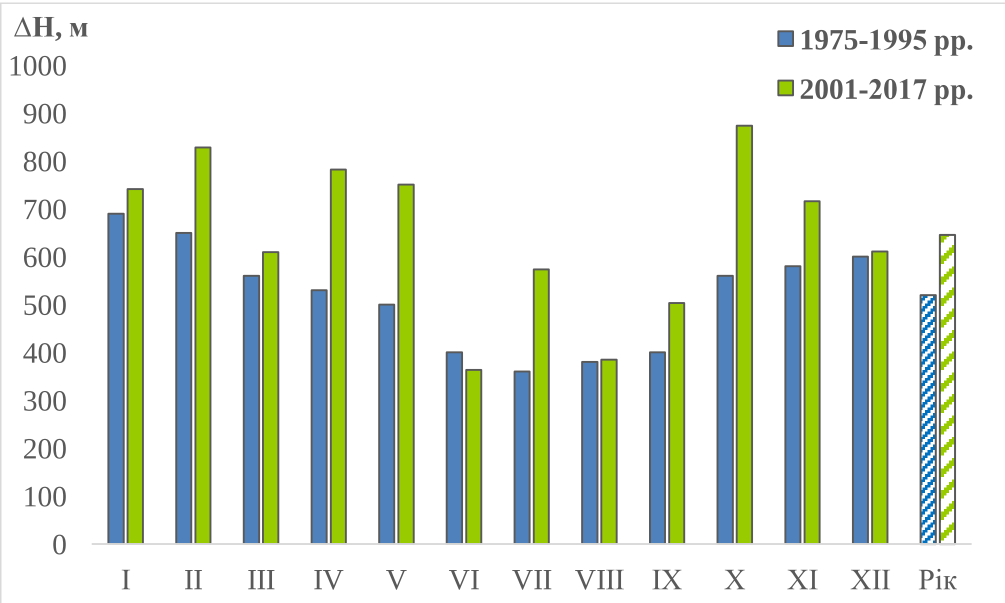


Рис. 2.4. Основні структурні параметри СТНР над Одесою

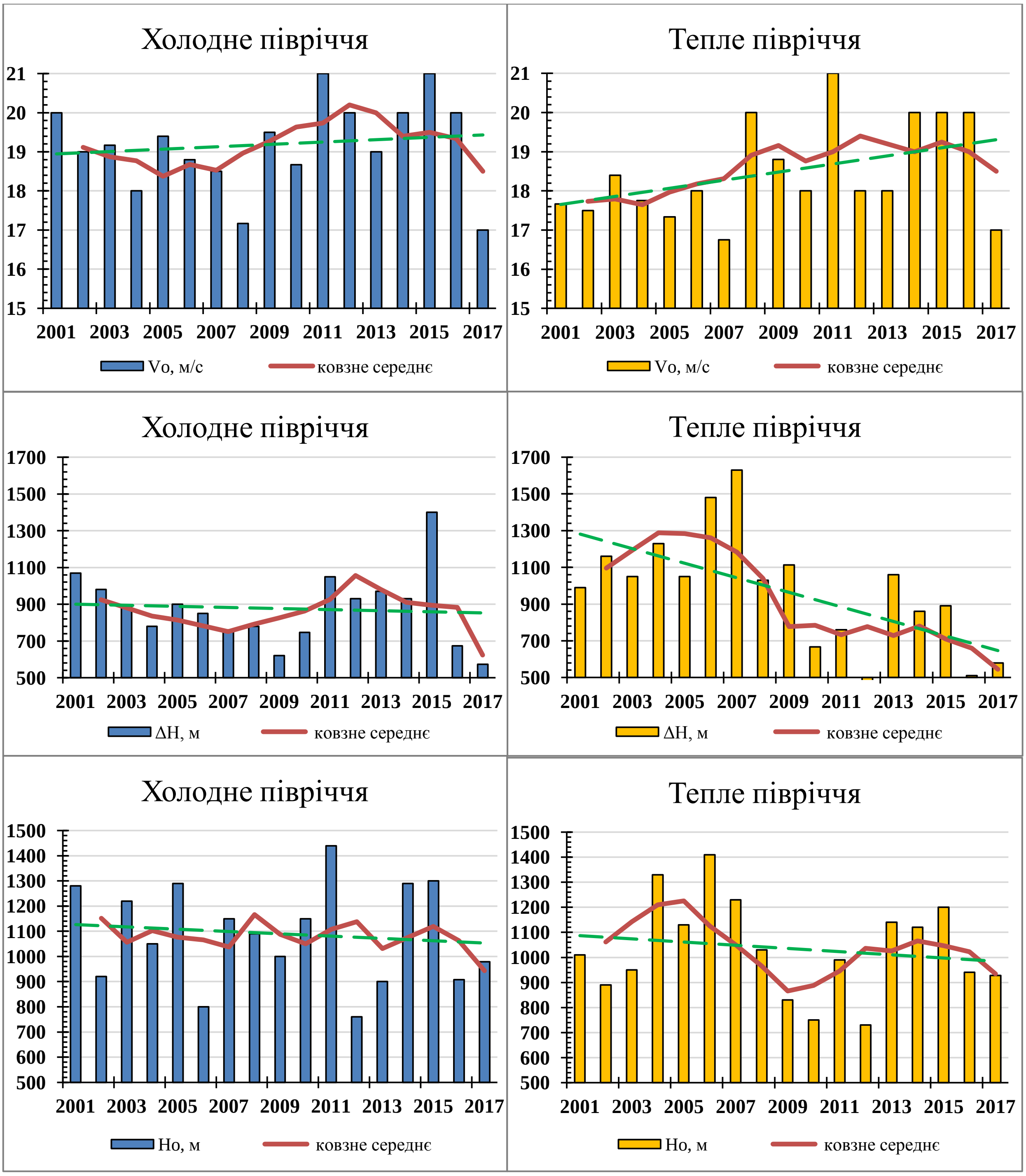


Рис. 2.5. Середньомісячні значення основних параметрів СТНР над Одесою та ковзне середнє з 2001 по 2017 рр. (00 UTC)

Отже зростання потужності у 2011-2015 рр. відбулося завдяки процесам холодного півріччя через переважне утворення СТНР в цей період (64 %).

При розгляді висоти осі СТНР (рис. 2.5), помітно, що у холодний період більшість струменів формується вище середнього рівня (500 м), особливо у 2011 р., але за останні роки величина параметру висота осі дещо знижується, про що і свідчить лінія тренду (зелена пунктирна лінія). Тепле півріччя виявило хвилеподібний розподіл ковзного середнього з мінімумом з 2008 по 2012 рр., а починаючи з 2015 р. висота осі СТНР знижувалась.

Таким чином, у період 2016-2017 рр. виявилося зниження активності формування низьких течій 4 %, що вдвічі менш ніж у [3], але низькі струмені у середньому стали менш інтенсивними, але більш високими та більш потужними. У вказані роки не прослідкується певної сезонної залежності у формуванні СТНР, що може визначатися особливостями циркуляційних умов кожного року.

3 ЦИРКУЛЯЦІЙНІ УМОВИ НАД ПІВДЕННИМ ЗАХОДОМ УКРАЇНИ ПРИ ФОРМУВАННІ НИЗЬКИХ СТРУМЕНІВ

3.1 Повторюваність синоптичних ситуацій, які сприяли виникненню низькотропосферних течії

Низькотропосферні струмені фіксуються за різних макроциркуляційних умов. В основному СТНР (у середньому по Україні від 65 до 70% випадків) спостерігаються при циклонічному характері циркуляції: у тиловій, передній частинах і теплому секторі циклону, улоговини. У південному напрямку збільшується відсоток антициклональних струменів. У Сімферополі, найпівденнішому пункті радіозондування в Україні, в гребені відмічено найбільший відсоток СТНР – 20% випадків протягом року. Крім того, низькі струмені виникають в малоградієнтному полі та перехідній зоні між областями високого і низького тиску (від 4 до 15% випадків).

Різноманітність макроциркуляційних умов формування низько-тропосферних струменів свідчить про те, що у створенні струменів беруть участь різні фізичні механізми. Це підтверджує залежність структурних параметрів СТНР від синоптичної ситуації. Так, над територією України в циклонах швидкість вітру на осі та потужність струменів у середньому більше ніж в антициклонах.

Багаторічні спостереження показують, що в 55-65% випадків СТНР над Україною пов'язані з фронтальними розділами, і ця залежність збільшується від теплого сезону до холодного. Найчастіше низькі струмені утворюються на теплих фронтах. Так, для Одеси у холодне півріччя 30% СТНР відмічені на теплих фронтах, 25 - на холодних і 8 - на фронтах оклюзії. У тепле півріччя відповідно: 26, 21 і 7%.

Низькотропосферні струмені, що супроводжують фронтальні розділи, як правило, розташовуються перед холодними і теплими фронтами паралельно їм, однак нерідко струмені спостерігаються в зафронтальній повітряній масі. У більшості випадків вони не пов'язані із струминною течією верхньої тропосфери і являють собою самостійне явище.

Найбільш інтенсивні СТНР формуються в області холодних фронтів, а найбільш потужні - в області теплих [2, 3]. Взагалі структура фронтальних СТНР визначається типом атмосферного фронту, орієнтацією, швидкістю пересування, відстанню від фронту та географічним фактором.

В процесі дослідження виявлено, що в цілому за всі місяці 2016-2017 рр. СТНР переважно утворювалися (59%) під впливом циклонічної циркуляції, причому її частка більш значна у тепле півріччя ніж у холодне – 69 проти 31 % (табл. 3.1 та рис. 3.1).

Таблиця 3.1 – Розподіл (%) СТНР над Одесою з 2016 по 2017 рр. за частинами баричних утворень

Півріччя	Тип синоптичної ситуації								
	циклон					антициклон			
	передня частина	теплий сектор	центр	тил	улоговина	передня частина	центр	тил	гребінь
холодне	15	7	0	4	15	11	0	0	0
тепле	4	4	0	0	11	22	0	0	7
Рік	19	11	0	4	26	33	0	0	7

Незалежно від сезону найчастіше низькотропосферні течії формувалися в передній частині антициклону (33%) та улоговині (26%), також значні частки припадали на передню частину циклону та теплий сектор – 19 та 11 %, відповідно.

У холодне півріччя, а саме з жовтня по березень, найчастіше струмені утворювалися під впливом улоговини та передньої частини антициклону – по 15 %. Антициклонічні СТНР формувалися переважно (11 %) у передній частині антициклону в холодне півріччя (рис. 3.1). Частка інших частин баричних утворень не перевищувала 7%, а найменшим виявився тил циклону – 4 %.

Тепле півріччя характеризувалося перевагою антициклонічних струменів, що формувалися переважно в передній частині антициклону

(22%). Циклонічні СТНР створювалися найчастіше (11 %) в улоговині. На решту частин баричних утворень приходилось менш ніж 7 %.

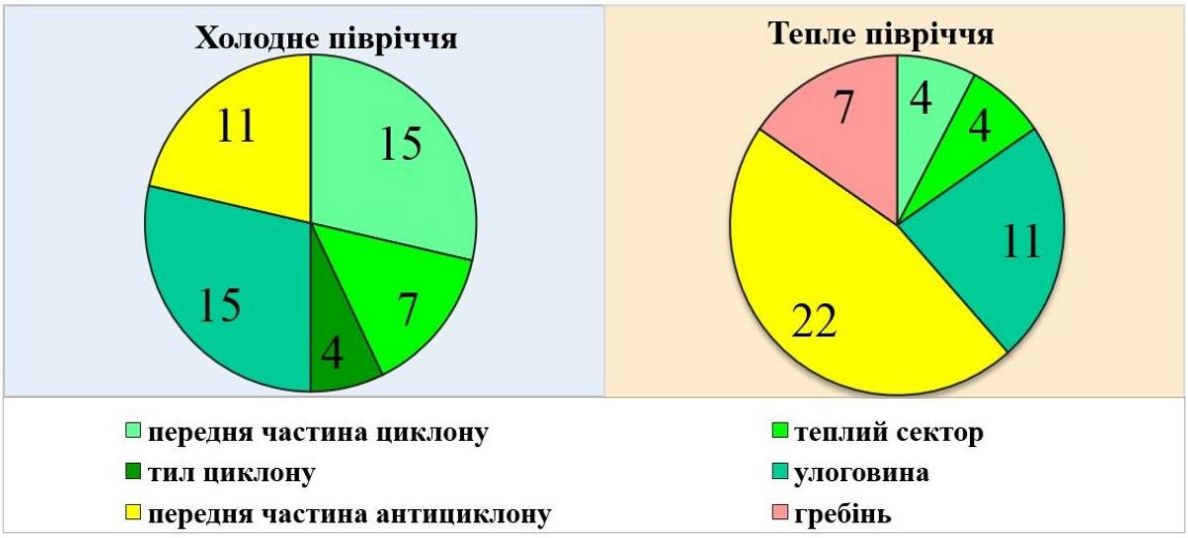


Рис. 3.1. Розподіл (%) формування СТНР над Одесою за частинами баричних утворень (2016-2017 рр.)

В центральній частині циклону та антициклону, а також в тилу антициклону за два роки не знайдено жодної низької течії.

Варто зазначити, що із 27 випадків СТНР над Одесою в 2016-2017 рр. – 17 випадків (65%) створювалися у зоні впливу атмосферних фронтів, з яких більша частина приходилася на тепле півріччя (10 випадків або 59 % всіх фронтальних СТНР) (табл. 3.2 та рис. 3.2).

Таблиця 3.2 – Розподіл (%) СТНР над Одесою з 2016 по 2017 рр., що пов’язані з атмосферними фронтами

Півріччя	Тип атмосферного фронту								
	холодний			теплий			оклюзії		
	за	перед	на	за	перед	на	за	перед	на
холодне	0	11	0	0	4	0	4	0	7
тепле	11	11	0	4	4	4	4	0	0
Рік	11	22	0	4	8	4	8	0	7

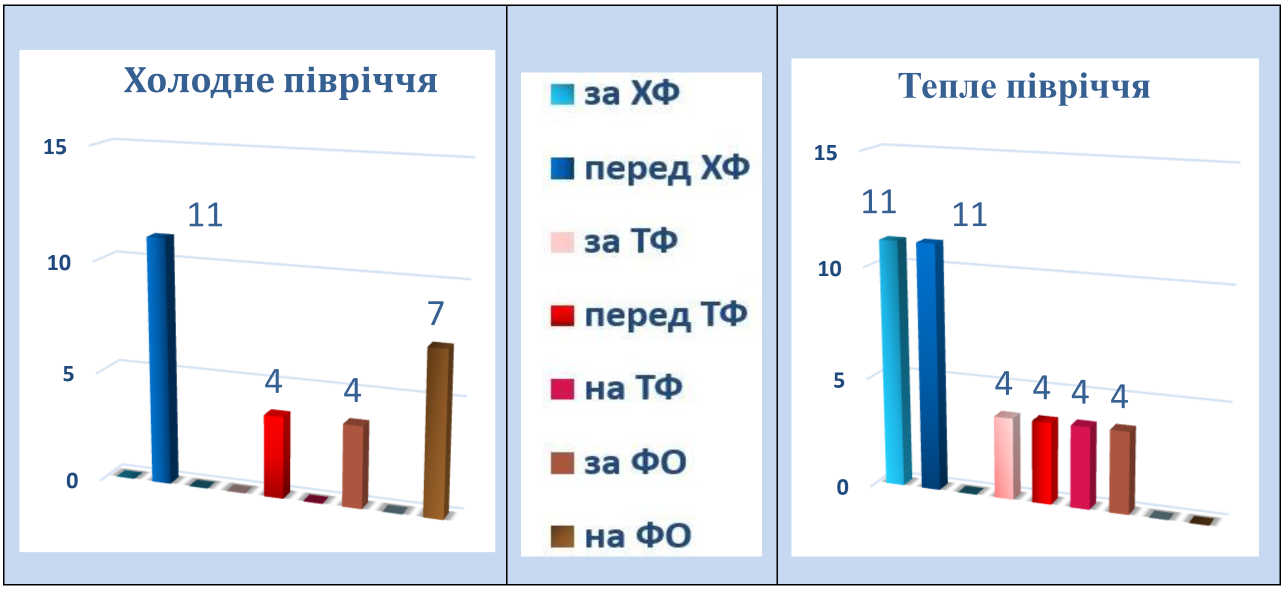


Рис. 3.2. Розподіл (%) СТНР над Одесою з 2016 по 2017 рр., що пов’язані з атмосферними фронтами

Впродовж 2016-2017 рр. більшість низьких течій, що пов’язані з фронтальними розділами, утворювалися біля холодного фронту (18 та 35 %) у холодне та тепле півріччя. З теплим фронтом СТНР були пов’язані як в тепле, так і у холодне півріччя – 6 та 18 % та переважно виявлялися перед лінією теплої ділянки фронту. Щодо фронту оклюзії, то за ним та на ньому спостерігалося – по 3 %, перед лінією фронту – жодної СТНР.

3.2 Типізація синоптичних процесів за наявності низьких течій над Одесою у 2016-2017 рр.

Південь України відзначається специфічними особливостями циркуляції і впливом Чорного та Азовського морів. Відомо, що циклони помірних широт, що переміщуються з заходу та північного заходу не впливають на погоду півдня України. Розвиток циклонів такого типу над Україною супроводжується проходженням через південні райони улоговин або утворенням перехідної зони між циклонами та розташованими на півдні областями високого тиску. У таких перехідних областях спостерігається, головним чином, незбуджене перенесення повітряних мас, напрямок якого залежить від взаємного розташування циклонів та антициклонів.

Через південь України центральною частиною переміщуються циклони, що виникають у басейнах Середземного або Чорного морів, а також невеликі циклони, що утворюються на холодних фронтах, які переміщуються з заходу та північного заходу. Периферійні атмосферні процеси характерні для півдня України і при розвитку над Європою антициклонів, що своєю центральною частиною іноді переміщуються над півднем України і Чорним морем.

Для аналізу синоптичних умов, які сприяють утворенню СТНР, використовувалась типізація синоптичних процесів, яка розроблена Івус Г.В. і співробітниками кафедри метеорології та кліматології [4, 5, 6 та 7].

В ході дослідження для кожного типу і підтипу підрахована кількість випадків низьких струменів за 00 UTC, а потім визначена їх повторюваність в від числа радіозондування при тому або іншому типі синоптичного процесу. Виявилося, що жодного разу СТНР не виникали при малоградієнтних периферійних процесах (тип 1), циклонічної циркуляції з невеликими градієнтами (тип 2) та у розмитих баричних полях (тип 4), отже, формуванню СТНР сприяли тип 3, 5 та 6 (табл. 3.3 та рис. 3.3).

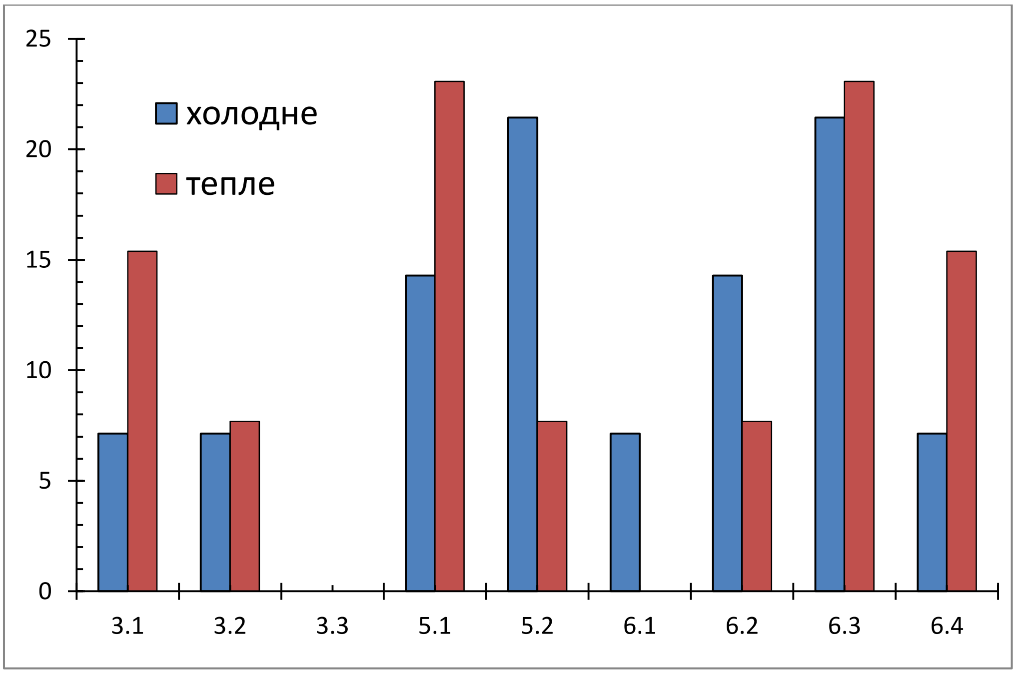


Рис. 3.3. Повторюваність (%) підтипів синоптичних процесів за наявністю СТНР над Одесою (2016-2017 рр.)

Таблиця 3.3 - Повторюваність (к.в./%) типів (підтипів) синоптичних процесів формування низьких течій над Одесою у 2016-2017 рр.

Типи синоптичних процесів	Підтипи синоптичних процесів	Півріччя			
		холодне		тепле	
		к.в.	%	к.в.	%
3 Анти-циклонічна циркуляція	3	**2**	**14**	**3**	**23**
	3.1	1	7	2	15
	3.2	1	7	1	8
	3.3	0	0	0	0
5 Периферійні процеси з проходженням фронтів	5	**5**	**36**	**4**	**31**
	5.1	2	14	3	23
	5.2	3	21	1	8
6 Циклонічна циркуляція з великими баричними градієнтами	6	**7**	**50**	**6**	**46**
	6.1	1	7	0	0
	6.2	2	14	1	8
	6.3	3	21	3	23
	6.4	1	7	2	15
Загальна кількість		**14**	**100**	**13**	**100**

При антициклонічній циркуляції (тип 3), яка характеризується в загальному випадку послабленою швидкістю вітру, низхідними вертикальними рухами і малохмарною погодою, створюються, сприятливі умови для виникнення нічних посилень вітру над шаром температурної інверсії.

Протягом 2016-2017 рр. при антициклонічній циркуляції (рис. 3.4) низькі течії утворювалися лише п’ять разів з перевагою у тепле півріччя (23 %) за всієї імовірністю через нічне радіаційне охолодження (рис. 3.3). У холодне півріччя антициклональні струмені виникали по одному разу при підтипі 3.1 та 3.2.

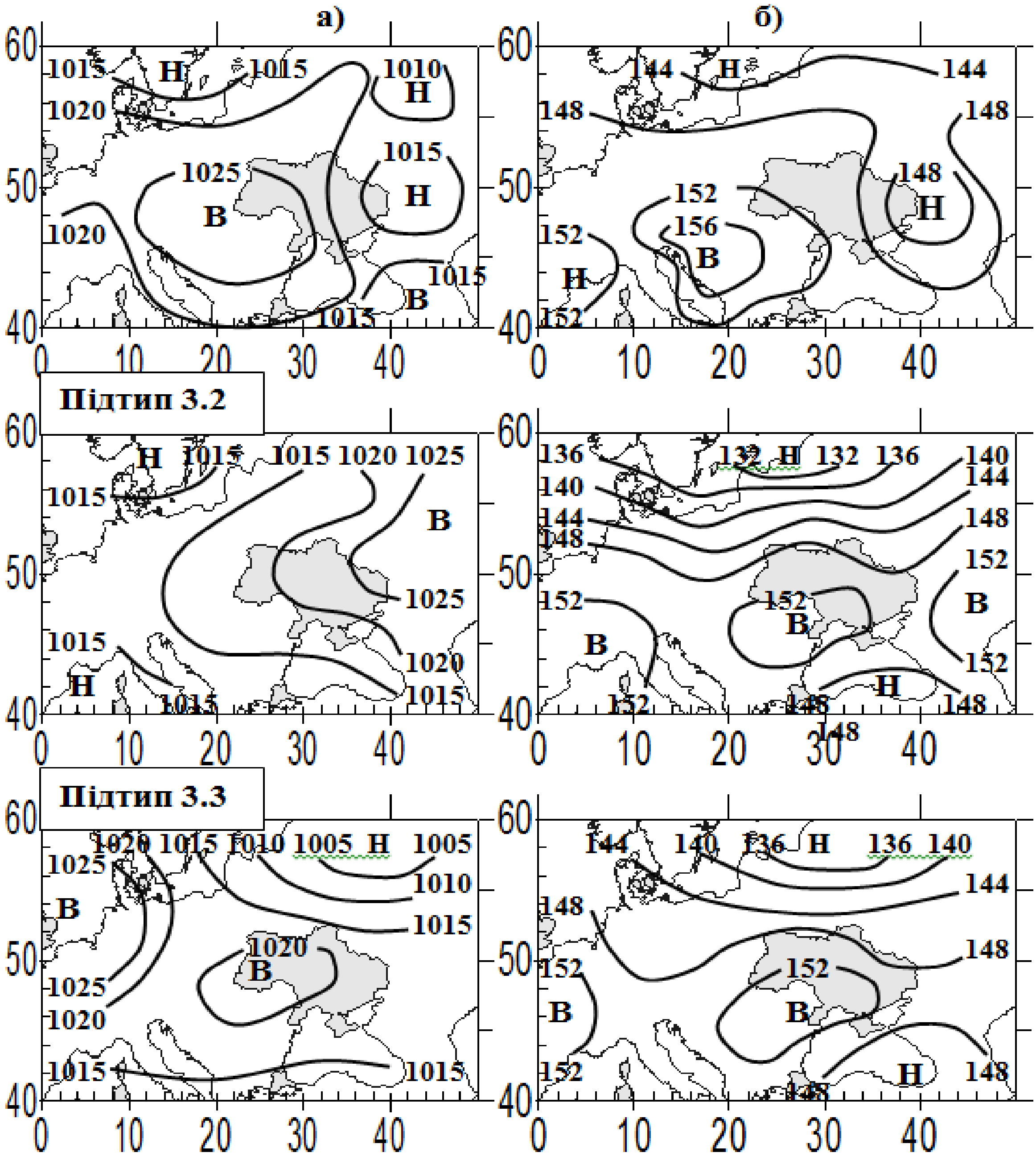


Рис. 3.4. Підтипи синоптичного типу 3.

Карти-схеми: приземна (а) і АТ$_{850}$ (б)

Розглядаючи тип 5 (периферійні процеси з проходженням атмосферних фронтів) можна помітити, що даний тип синоптичних процесів (рис. 3.5) не є характерним для Одеси, але при ньому утворювалося приблизно третина низьких течій теплого та холодного (36 та 31 %, відповідно) півріч. Для холодної частини року більш сприяли формуванню СТНР підтип 5.2, а у теплу пору – підтип 5.1.

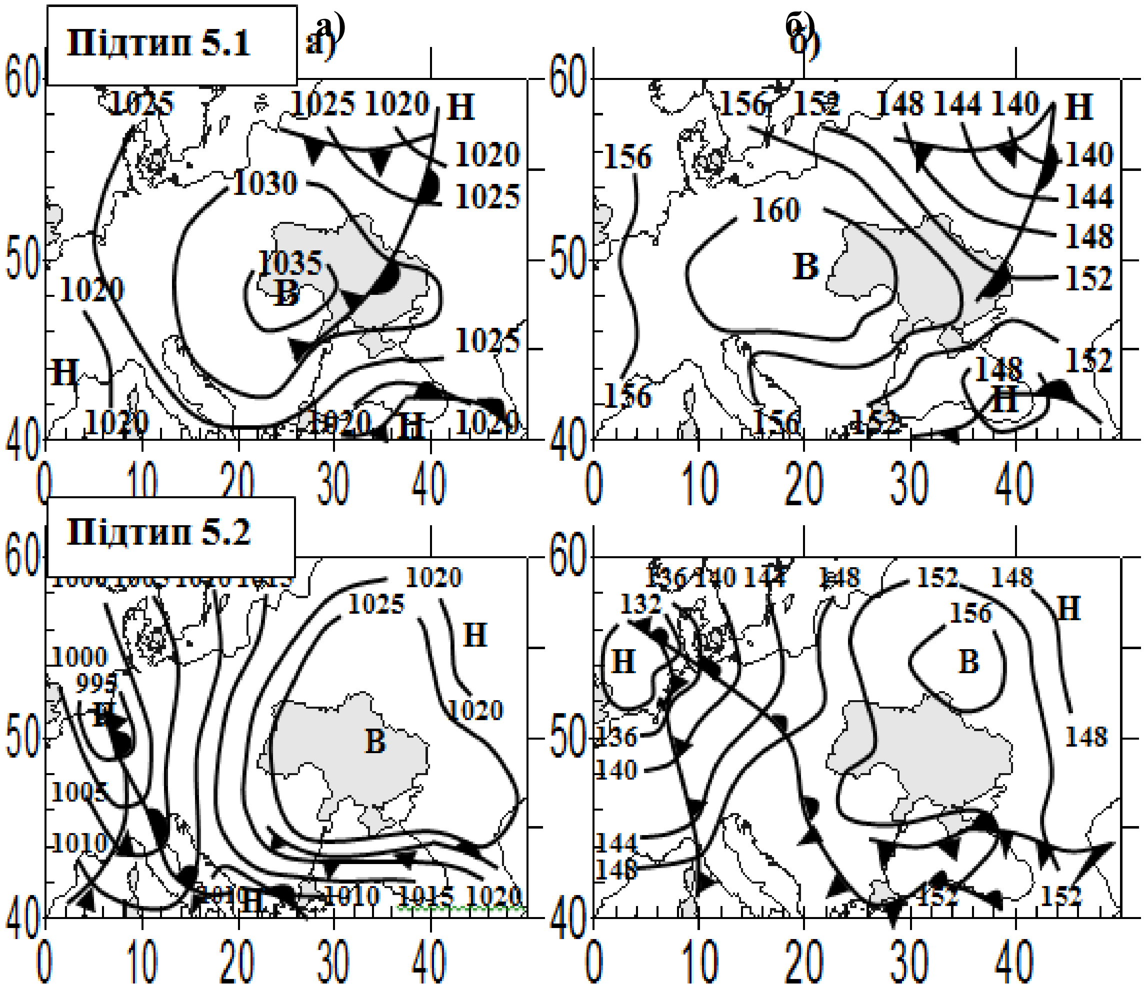


Рис. 3.5. Підтипи синоптичного типу 5.

Карти-схеми: приземна (а) і $АТ_{850}$ (б)

Синоптичний тип 6, тобто циклонічна циркуляція з великим баричними градієнтами (рис. 3.6) були часто пов’язані з низьких течій, особливо у холодне півріччя (50 %), коли відносна перевага припадала на підтип 6.2 та 6.3, а саме 14 та 21 %, відповідно. У тепле півріччя з типом 6 пов’язані майже половина (46 %) низьких течій, причому максимум припадав на підтипи 6.3 - 23 %.

Отже, переважно СТНР над Одесою формувалися під впливом улоговини з фронтами, яка зумовлює вітри різних напрямків в залежності від своєї орієнтації.

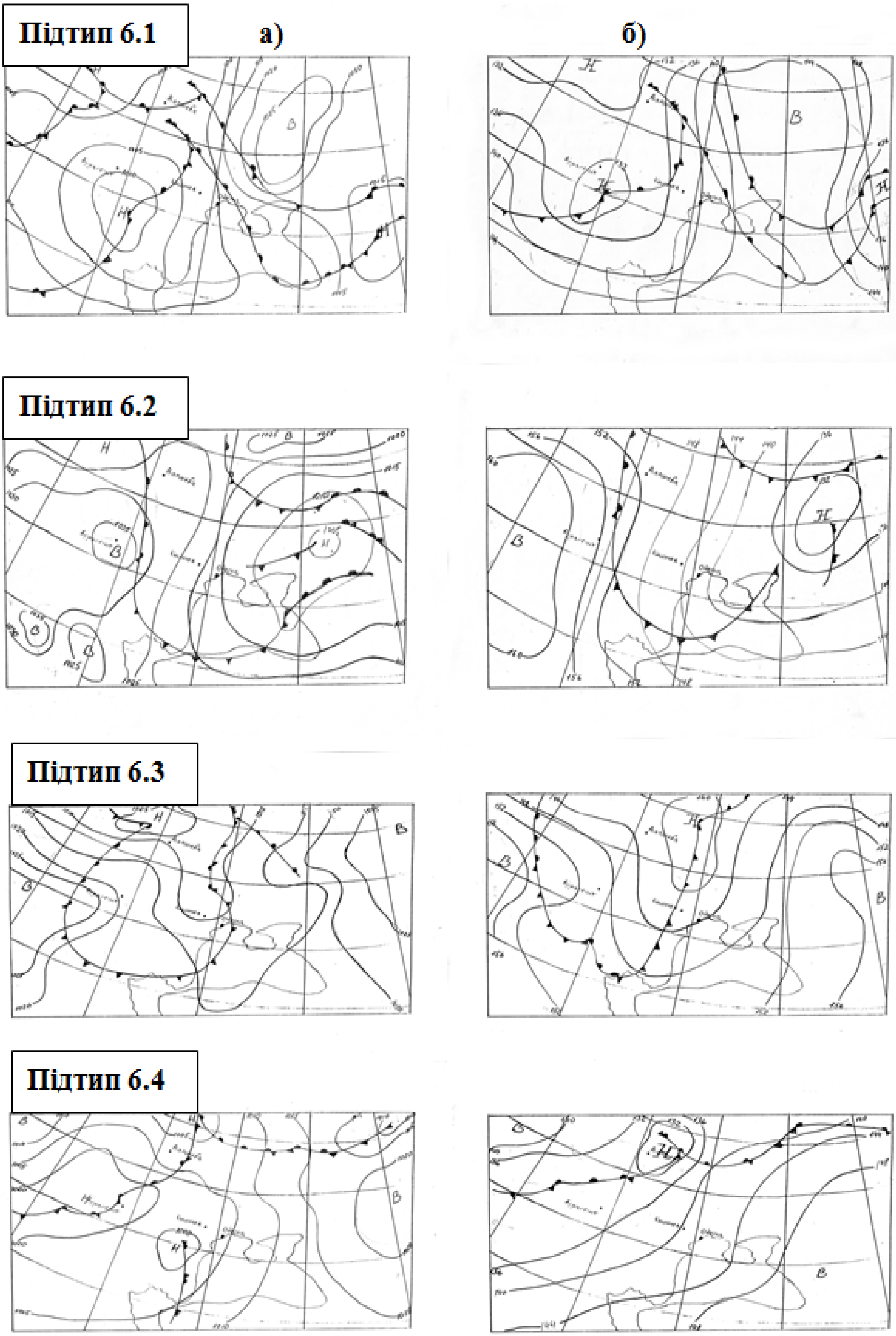


Рис. 3.6. Підтипи синоптичного типу 6.

Карти-схеми: приземна (а) і AT_{850} (б)

Таким чином, над південним заходом України у 2016-2017 рр. низькі течії виникали найчастіше при циклонічної циркуляції з великими баричними градієнтами та в улоговинах циклонів з фронтальними розділами.

3.3 Механізм формування сильної передфронтальної течії

В [27] розглядається сучасний стан досліджень про інтенсивні та вузькі потоки повітря у позатропічних циклонах, які отримали назву «sting jets» (SJs). Вони були офіційно ідентифіковані в 2004 р. [30] завдяки новаторській роботі Кейта Браунінга в 1987 р.

Зараз SJ визначають як цілісний повітряний потік, який спускається з середніх рівнів всередині «голови» хмари в область фронтального зламу циклону Шапіро-Кейсера [29] протягом декількох годин, що призводить до утворення області сильних вітрів біля поверхні землі. Тому він лежить над холодною несучою смугою (conveyor belt) протягом певного етапу свого існування, але в деяких випадках, спускається, щоб досягти вершини граничного шару попереду холодної смуги.

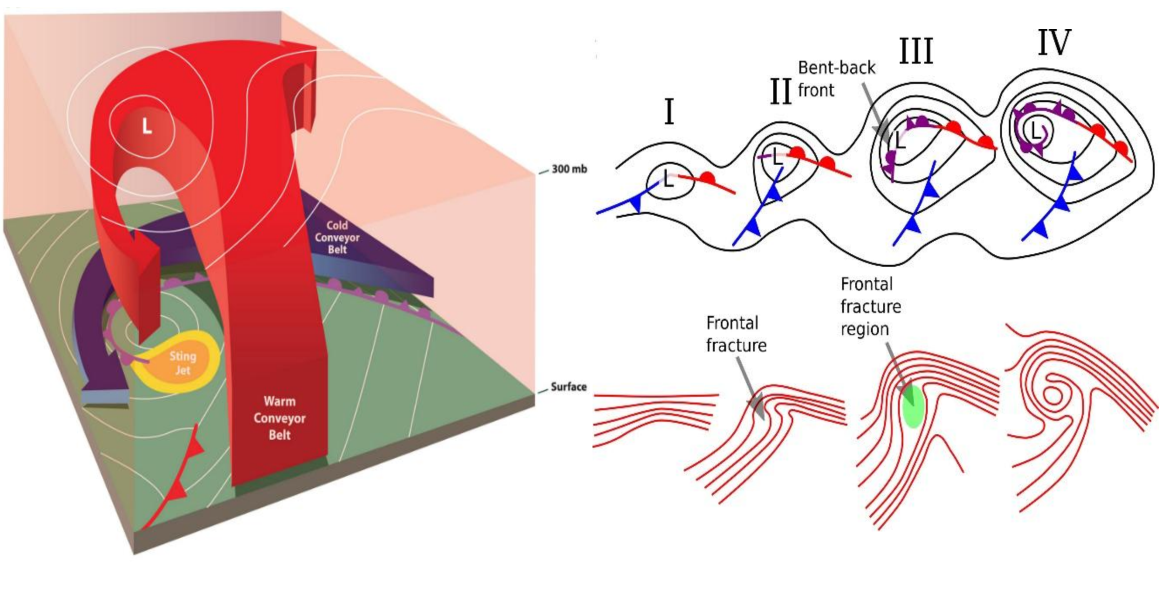


Рис. 3.7. Механізм утворення сильної «несучої смуги» [29]

Можливо, зниження течії частково пов'язане з фронтолізом в області «фронтального зламу». Може мати місце більш слабке горизонтальне і більш сильне фронтальне зниження, пов'язане із слабкою стійкістю до конвективних низхідних рухів. Глобальна кліматологія SJs та взаємодія між граничним шаром атмосфери та SJs потрібують додаткових досліджень.

Отже, sting jet - це відносно локалізований струмінь холодного повітря, що швидко опускається всередині глибокого позатропічного циклону. Він впливає на невелику область, в порівнянні з розміром циклону і триває всього кілька годин. Руйнівні вітри над Західною та Центральною Європою зі швидкістю вище 150 км/год або 42 м/с пов'язані саме з sting jets [28].

Типовий позатропічний циклон складається з двох фронтальних систем: теплого фронту і холодного фронту. Сильний потік, так звана «несуча смуга», формується попереду обох фронтів. Сильний потік холодного повітря розвивається в циклоні перед теплим фронтом, який називається холодним «conveyor belt». За холодним фронтом в циклон проникає холодне і сухе повітря, утворюючи сухе вторгнення (рис. 3.8).

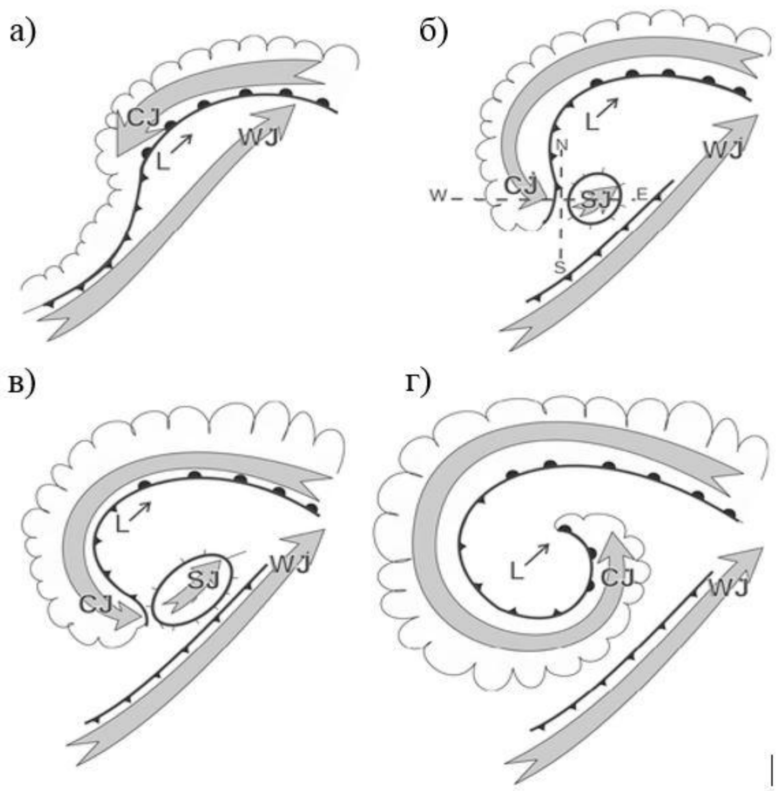


Рис. 3.8. Модель приземних течій у позатропічному циклоні [27].

На рис. 3.8 а зображена рання стадія розвитку фронтальної хвилі циклону, де L позначає центр низького тиску з напрямком руху. Сірими стрілками показано системи течій низького рівня, де WJ – це теплий струмінь (warm jet) і CJ – холодний струмінь (cold jet); 3.8 б – фаза фронтального зламу, на якій з'являється SJ біля поверхні землі; 3.8 в – обертання «голови» хмари та збільшення області SJ; 3.8 г - зникнення чіткої області SJ.

Холодний «conveyor belt» приносить холодне, вологе повітря до центру циклону, приносячи з собою опади - дощ і сніг. Сухе вторгнення дає холодне, сухе повітря в циклон. Коли опади з холодного «conveyor belt» потрапляють в сухе повітря сухого вторгнення, вони випаровується і додатково охолоджують повітря через випарне охолодження (evaporative cooling).

Все це відбувається приблизно на висоті до 3-4 км. Охолоджене повітря щільніше, ніж навколишнє повітря, і воно швидко спускається до поверхні, створюючи ще сильніші вітри всередині інтенсивного вітрового поля циклону. Вся область цього охолодженого, прискореного повітря є вузькою, що і утворює струмінь - sting jet (рис. 3.9).

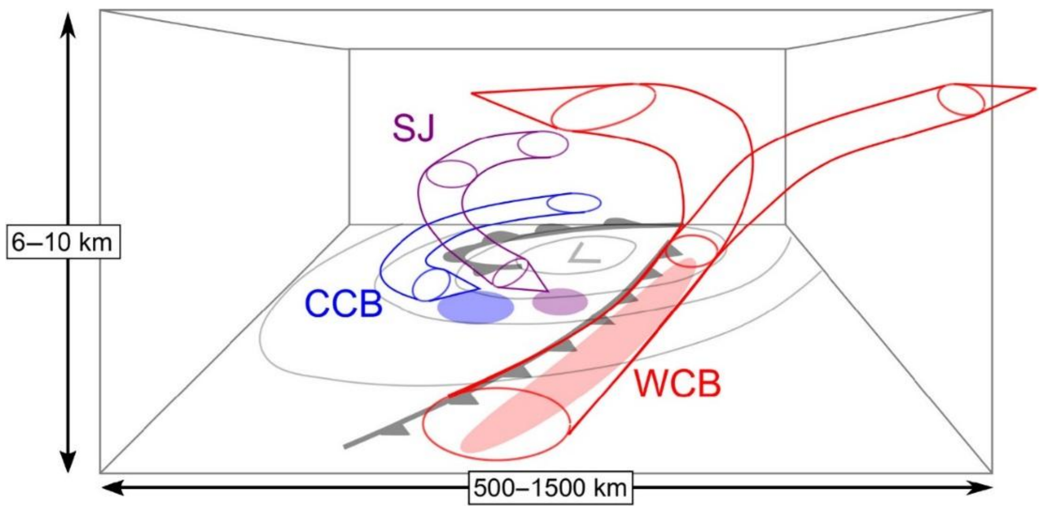


Рис. 3.9. Модель тривимірної структури позатропічного циклону [27].

Термін «sting jets» пов'язаний з його виникненням на супутникових зображеннях: вони формують «смугасті хмарні голови», сильно вигнуті в циклон, утворюючи форму хвоста і жало скорпіона.

На супутниковому знімку (рис. 3.10) зображений позатропічний циклон «Офелія» в Ірландії 16 жовтня 2017 р. Слід звернути увагу на «смугасту хмарну голову», гілки якої зміщуються на північно-західну частину Ірландії, що свідчить про ймовірний розвиток структури SJ.

У південній частині країни швидкість вітру вранці була 14 м/с. Її пікові значення очікувалися з 12 до 15 години за місцевим часом. Пориви вітру в цей час в деяких частинах країни досягали 33-42 м/с.

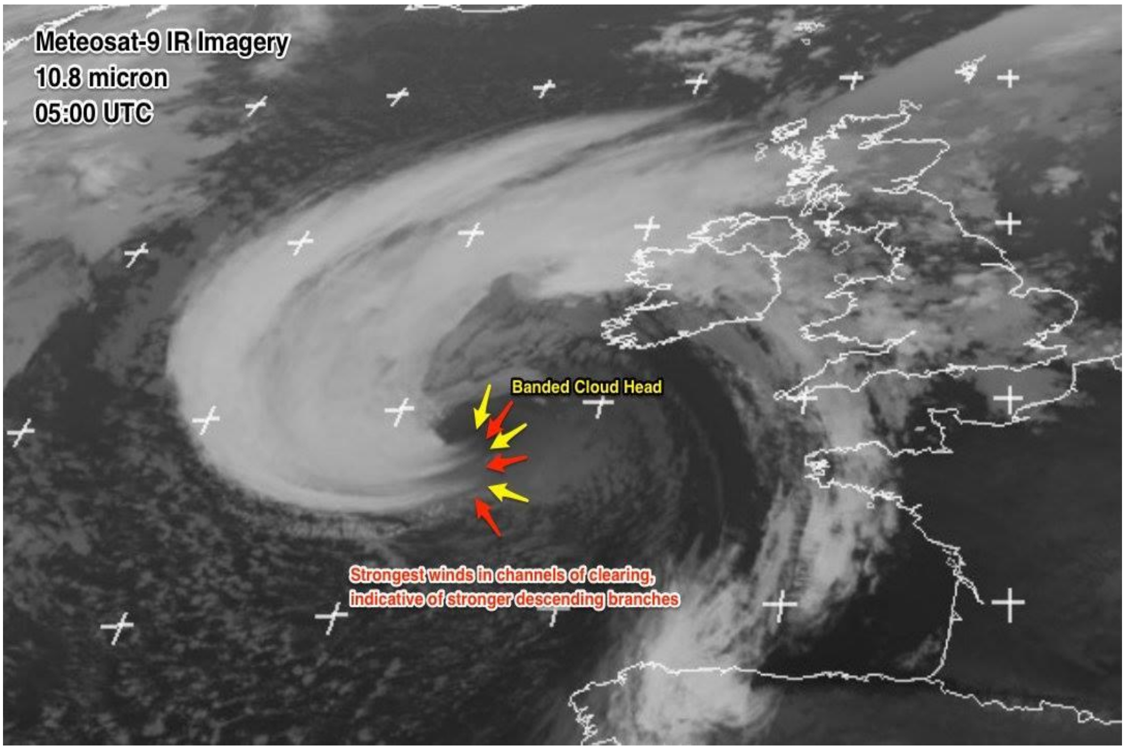


Рис. 3.10. Супутниковий знімок позатропічного циклону «Офелія» 16 жовтня 2017 р., 05 UTC [28].

Не кожен глибокий позатропічний циклон розвиває такий струмінь. Насправді sting jets – це рідкісне явище. Вони досі були підтверджені на менш ніж в 10 циклонах над Західною та Центральною Європою. Великий шторм 1987 року випустив sting jet з поривами вітру, що досягали 60 м/с (зазначено в Pointe Du Roc, Grancille, France). Cyclone Oratia (Тора в Норвегії) в кінці жовтня та на початку листопада 2000 року викликав вітер до 49 м/с (Camaret-sur-Mer, France). На початку січня 2012 р. шторм Уллі спричинив вітер до 48 м/с в Іммуйдені, Нідерланди (рис 3.12).

Одним з мотивів вивчення Великого шторму (рис 3.11 а) було створення аменографів з високою роздільною здатністю. Для багатьох більш пізніх випадків приземні дані з високою часовою роздільною здатністю були не доступні, оскільки синоптичні спостереження все частіше здійснювалися за допомогою повністю автоматизованих метеорологічних станцій. Крім того, протягом більшої частини свого існування SJ знаходиться на висоті 3-4 км, тому для ідентифікації SJ необхідні інші джерела даних. Ситуація з отриманням приземних даних поступово покращується, так у недавньому дослідженні [30] використовували приземні дані з роздільною здатністю в 1 хвилину, а також дані допплерівського радару з обсерваторії Чілболтон, Гемпшир, Англія.

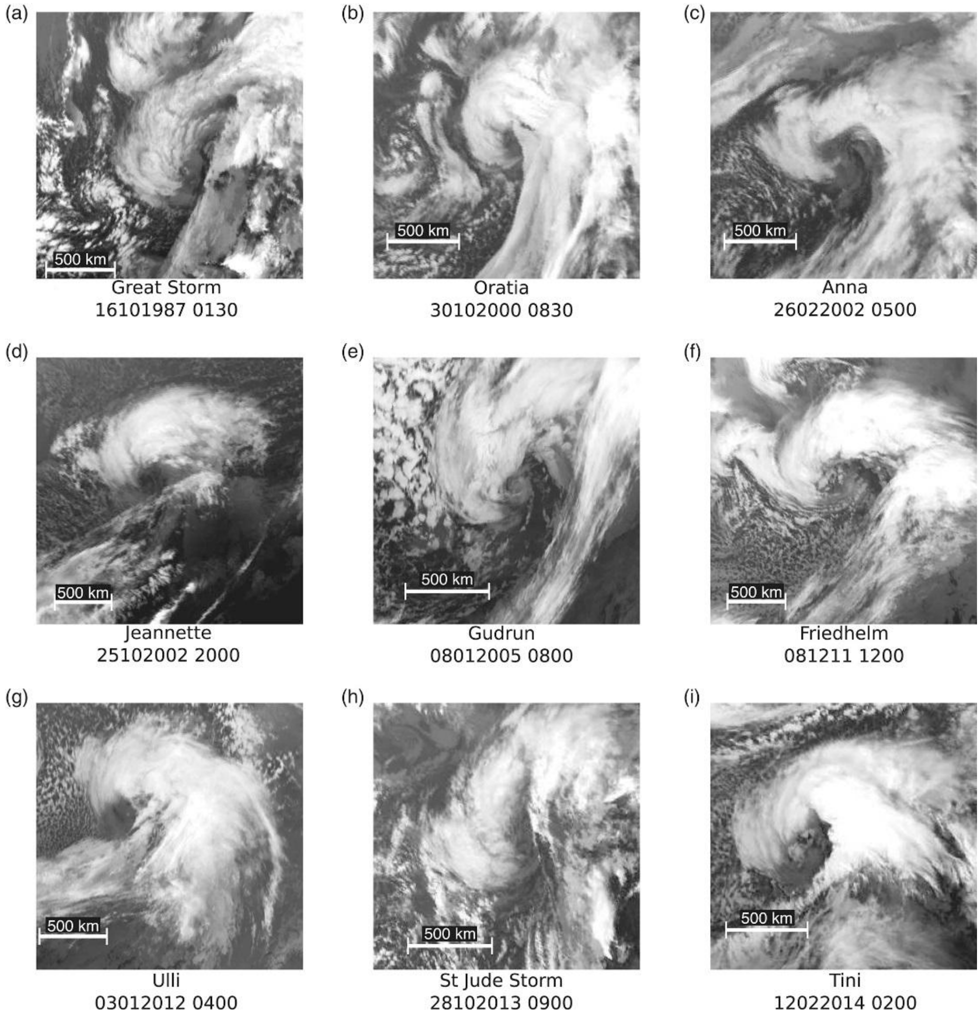


Рис. 3.11. ІЧ-супутникові знімки основних Західно-атлантичних штормів, отримані з супутника METEOSAT [32].

Наведені презентативні ІЧ-супутникові знімки основних Західно-атлантичних штормів, в яких SJ були виявлені в детальних дослідженнях. Зображені циклони знаходяться приблизно на стадії «фронтального зламу», коли SJ досягає земної поверхні.

3.4 Аналіз синоптичних процесів 12-13 серпня 2016 р.

Погода на півдні України на 00 (03) 12.08.2016 року біля поверхні землі визначалась улоговиною, орієнтованою по лінії Мурманськ, Петрозаводськ, Твер, Брянськ, Суми, Херсон.

В баричній улоговині пов’язані два холодних атмосферних фронти з хвилями – арктичний пролягав від точки оклюзії поблизу Мурманська, далі через Санкт-Петербург, Львів, Відень, далі через територію Бельгії теплий фронт в циклон над Ісландією. Полярний фронт проходив від точки оклюзії поблизу Вологди, далі через Москву, Брянськ, Кіровоград, Миколаїв, Софію, Туніс, Алжир.

На рис. 3.12 представлені приземна карта, карти швидкості та напряму вітру над Європейським континентом на рівнях 10 м, 925 гПа, 850 гПа 12 серпня 2016 р.

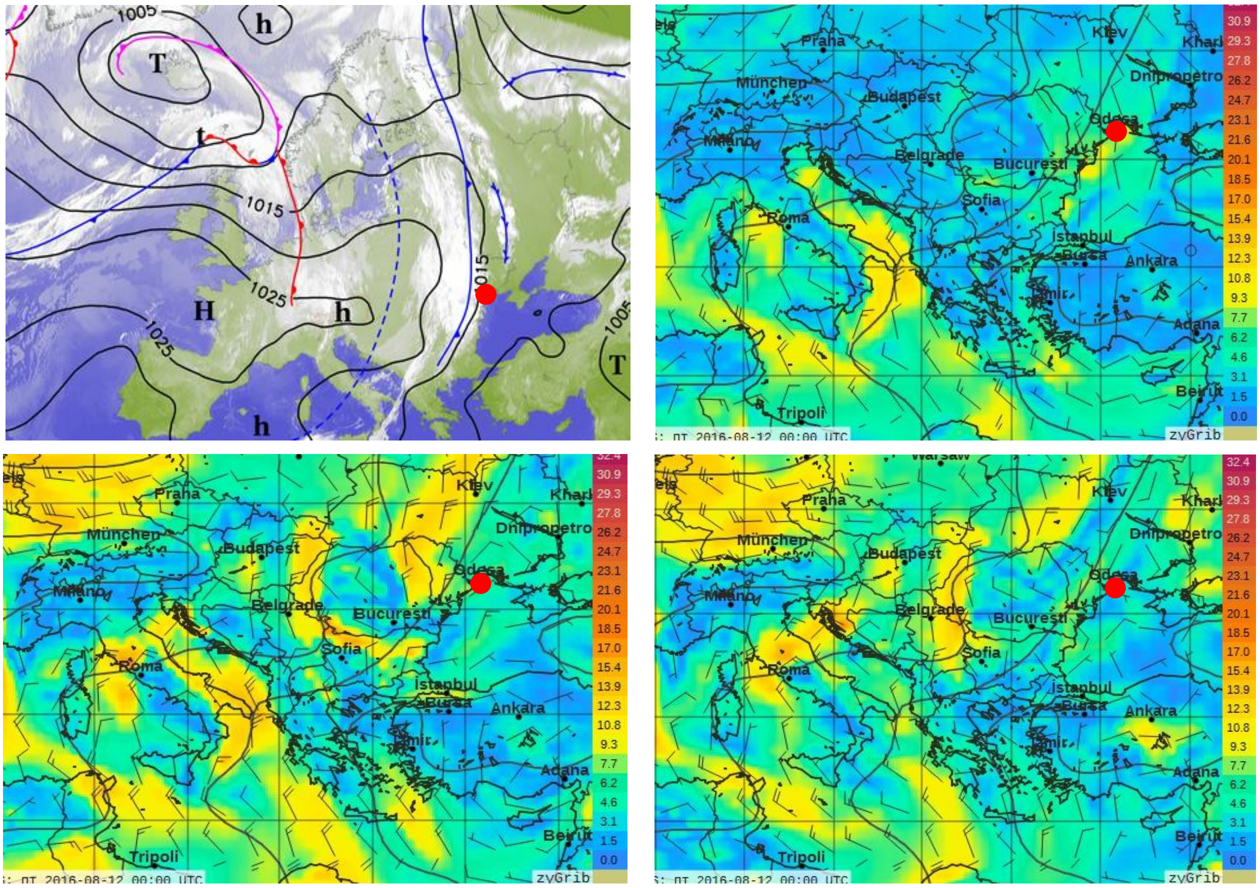


Рис. 3.12. Приземний аналіз [31], швидкість та напрям вітру на рівнях 10 м, 925 гПа, 850 гПа 12 серпня 2016 р., 00 UTC

Наступної доби 13.08.2016 року суттєвих змін баричного поля не відбувалося. Погода над півднем України, як і в попередню добу, визначалась баричною улоговиною. Атмосферні фронти за добу зберігали вищеописану орієнтацію, лише незначно змістились у північно-східному напрямку. У строк 00 (03) Одеса знаходилась перед теплою ділянкою арктичного фронту (рис. 3.13).

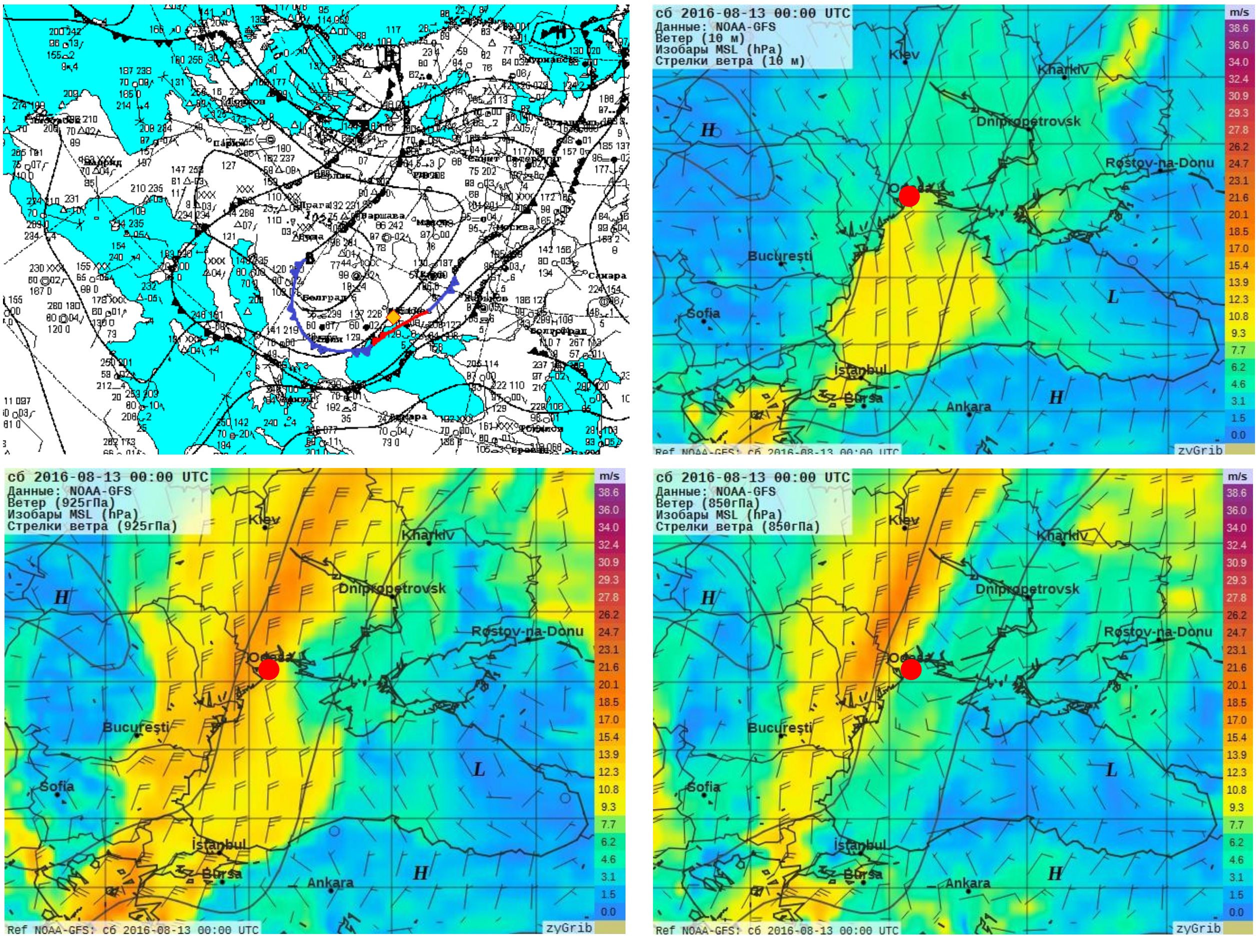


Рис. 3.13. Приземний аналіз, швидкість та напрям вітру на рівнях 10 м, 925 гПа, 850 гПа за 13.08.2016 р., 00 UTC

Під дією західних, південно-західних повітряних потоків атмосферні фронти зі швидкістю близько 30 км/год. переміщувались у східному напрямку.

Швидкість низької струминної течії над південним заходом України становила близько 100-110 км/год або 30 м/с, вісь СТНР знаходилася на висоті 170 м з дуже малою потужністю – менш ніж 100 м (рис. 3.14). Тобто спостерігався сильний вузький потік повітря у шарі нижче 400 м. Вище над вказаною течією виявилося сполучення двох затримуючих шарів, над якими сформувалася ще одна течія на висоті 600-700 м з інтенсивністю 18 м/с.

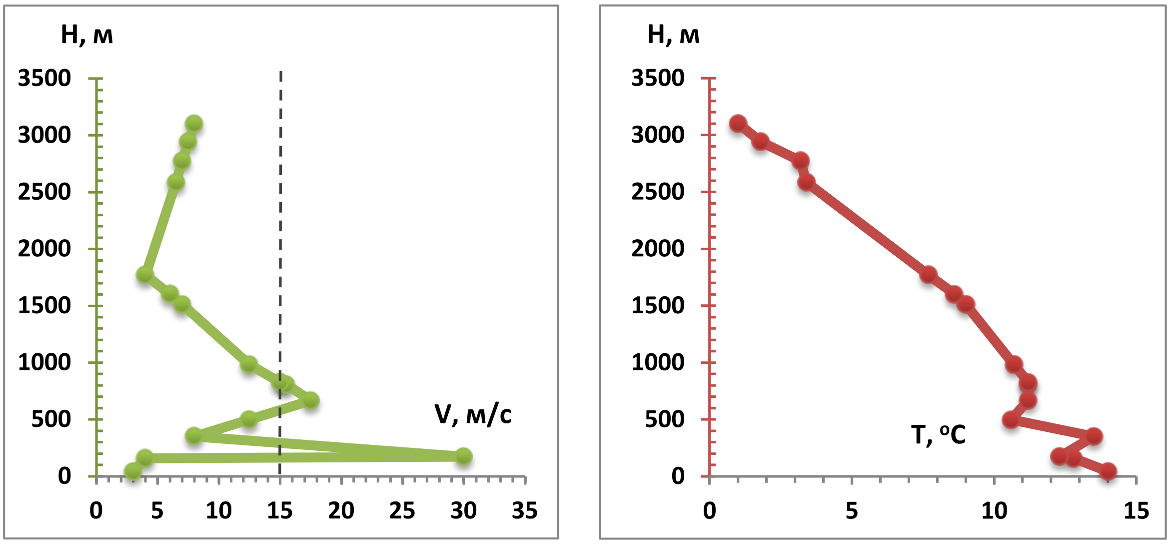


Рис. 3.14. Вертикальний розподіл швидкості вітру та температури над Одесою 13 серпня 2016 р., 00 UTC

Обидва максимуми швидкості вітру були північно-західного напрямку зі зміною на північний – вище 350 м та знову на північно-західний по всій нижній тропосфері, але над нижнім піком спостерігався лівий поворот вітру на 30°, який далі змінився правим поворотом, що характерно для адвекції холоду. Отже наведена низька течія є ділянкою теплої несучої смуги або «conveyor belt» в системі холодного фронту.

Як згідно з [10], у вузьких зонах контрастних теплих фронтів відбувається збільшення баричних градієнтів, а отже, і зростання швидкості вітру в нижньому кілометровому шарі атмосфери. Наростання швидкості вітру з висотою обумовлюється різким ослабленням сили тертя. Окрім цих двох причин на збільшення швидкості вітру з висотою до осі СТНР істотний вплив чинять висхідні рухи повітря в зонах теплих фронтів. Ці вертикальні рухи частинок повітря відбуваються в свою чергу під впливом гідростатичної (архімедової) сили:

$$v_{h\phi} = 0,9\sqrt{\frac{4,8}{\sin\varphi}\frac{\Delta p_{з\phi}}{\Delta n}^2} + \sqrt{2gh\frac{T_2 - T_1}{T_2}}. \tag{3.1}$$

де φ – широта місцевості, $\frac{\Delta p_{з\phi}}{\Delta n}$ – баричний градієнт в зоні фронту в *гПа/100 км*. T_1 і T_2 – температура об'єму повітря, що підіймається та навколишнього простору відповідно.

Осі СТНР в зонах теплих фронтів, як правило, розташовуються на висоті біля 800 м. Варто відзначити, що ці висоти приблизно співпадають з висотою нижньої межі теплого фронту в 100 км від лінії фронту біля поверхні землі в сторону холодного повітря [2, 10].

Для розрахунку швидкості вітру над Одесою 13 серпня 2018 р. були обрані модельні поля метеорологічних величин на рівні 10 м (рис. 3.15), коли пункт дослідження знаходився на відстані 50-100 км перед теплим фронтом та на висоті 170 м спостерігалася інтенсивна (30 м/с) низька течія. СТНР знаходилася перед фронтальним розділом та простягалася на рівнях 925 і 850 гПа від центральних районом Молдови на північний схід (рис. 3.16, 3.17). Отже, локалізація області сильного вітру знаходилася у холодної повітряної масі перед теплим фронтом.

Вказаний атмосферний фронт доволі добре проявлявся у поле температур, так біля землі горизонтальний термічний градієнт становив 3,5 ^oC/100 км, 2,7 та 2,0 та 2,0 ^oC/100 км на рівнях 925 та 850 гПа.

Карти відносної вологості за даними моделі GFS з просторовим кроком 0,5 ^{o}М дозволяють побачити смуги підвищених значень цього параметру, яка за розташуванням співпадає з зоною посилення вітру, тобто, можливо, спостерігалося утворення перед фронтальної несучої смуги.

Якщо застосувати формулу (3.1) до обраного випадку, то отримаємо прогностичне значення швидкості поривів вітру перед теплим фронтом на 12 UTC 13 серпня 2016 р.:

$$V\max = 0,9\sqrt{\frac{4,8}{\sin 46}\left(\frac{6гПа}{500км}\right)^2} + \sqrt{2\cdot 9,8м/с^2\cdot 7,6\cdot 100м\frac{11^oC - 8^oC}{11^oC}} = 9,3 \text{ м/с.}$$

Тоді як, вдень 13 серпня 2016 р. швидкість вітру біля землі становила 3 м/с.

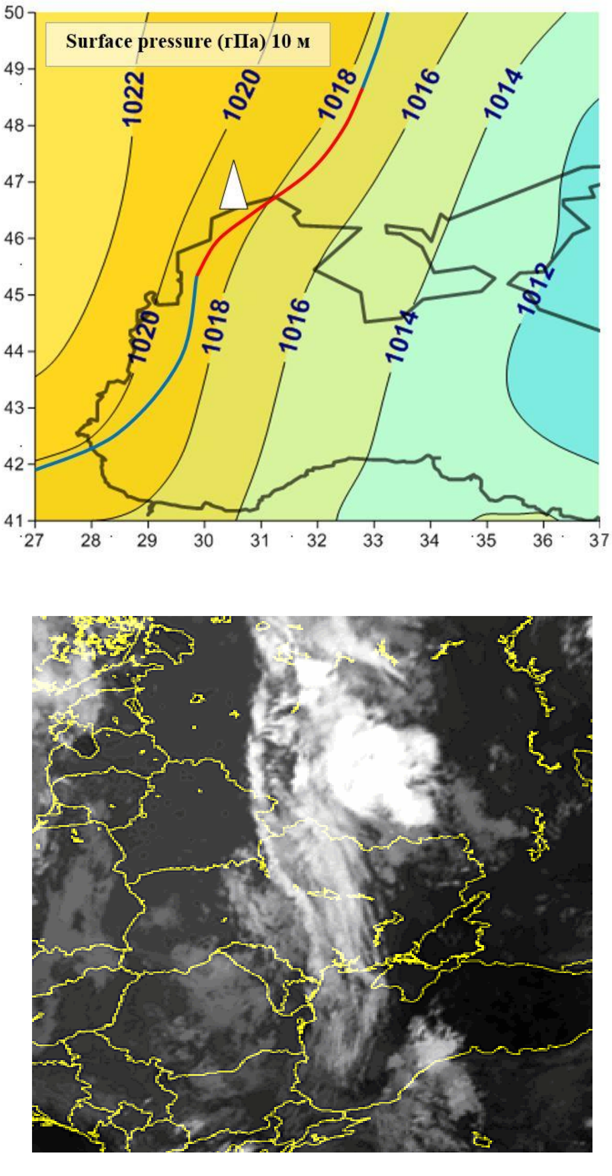


Рис. 3.15. Поля атмосферного тиску, швидкості вітру, температури та її градієнту на висоті 10 м і супутниковий знімок 13 серпня 2016 р., 00 UTC

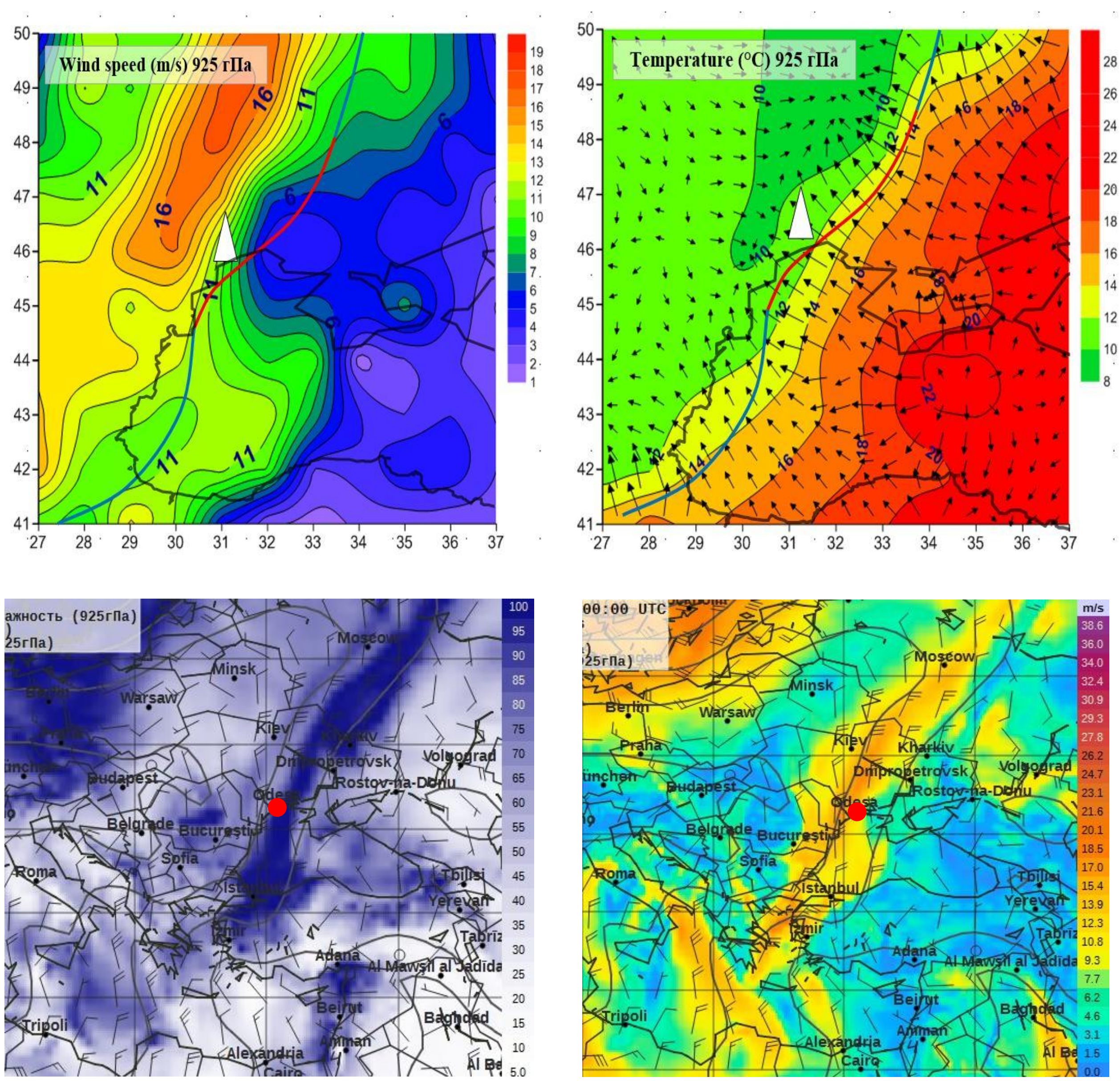


Рис. 3.16. Поля швидкості вітру, температури та її градієнту, відносної вологості на рівні 925 гПа 13 серпня 2016 р., 00 UTC

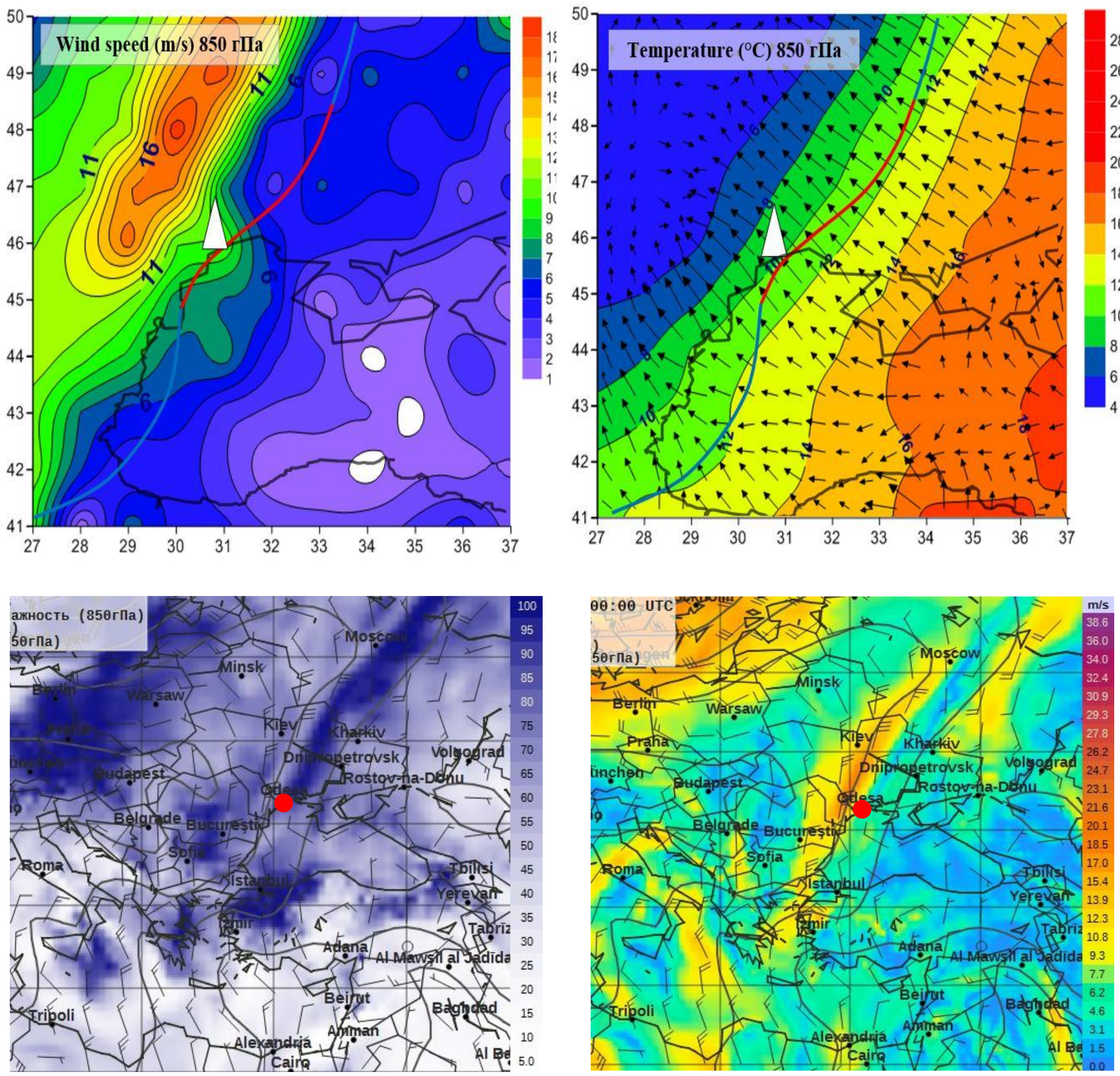


Рис. 3.17. Поля швидкості вітру, температури та її градієнту, відносної вологості на рівні 850 гПа 13 серпня 2016 р., 00 UTC

Отже, 13 серпня 2016 р. року над південним заходом України спостерігався потужний потік холодного та волого повітря, швидкість якого над Одесою досягали 30 м/с на висоті 170 м, але він не викликав сильного поривчастого приземного вітру.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дослідження отримані наступні висновки:

1. Протягом періоду 2016-2017 рр. над Одесою було виконано 673 радіозондування або 92 % від нормативної кількості аерологічних спостережень, тобто забезпеченість вихідною інформацією була якісною.

2. В 2016-2017 рр. виявилося зниження активності формування низьких течій 4 %, що вдвічі менш ніж у [3], але низькі струмені у середньому стали менш інтенсивними, але більш високими та більш потужними. У вказані роки не прослiджується певної сезонної залежності у формуванні СТНР, що може визначатися особливостями циркуляційних умов кожного року.

3. Найчастіше низькотропосферні течії формувалися в передній частині антициклону (33%) та улоговині (26%), також значні частки припадали на передню частину циклону та теплий сектор – 19 та 11 %, відповідно.

4. У холодне півріччя найчастіше струмені утворювалися під впливом улоговини та передньої частини антициклону – по 15 %. Тепле півріччя характеризувалося перевагою антициклонічних струменів, що формувалися переважно в передній частині антициклону (22%).

5. Над південним заходом України у 2016-2017 рр. низькі течії формувалися найчастіше при циклонічної циркуляції з великими баричними градієнтами та в улоговинах циклонів з фронтальними розділами.

6. Впродовж 2016-2017 рр. більшість фронтальних низьких течій утворювалися біля холодного фронту (53 %).

7. Над південним заходом України 13 серпня 2016 р. у 00 UTC виявився потужний потік холодного та вологого повітря перед теплою ділянкою арктичного фронту, з інтенсивністю над Одесою 30 м/с на висоті 170 м, але він не викликав сильного поривчастого приземного вітру.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Воронцов П.А. Струйные течения пограничного слоя атмосферы // Труды ГГО. 1966. Вып. 205. – С. 77–92.
2. Івус Г. П. Спеціалізовані прогнози погоди: підручн. Одеса: ТЕС, 2012. 407 с.
3. Ивус Г. П., Семергей-Чумаченко А.Б. Струйные течения нижних уровней в атмосфере. Монография. Одеса: ТЕС, 2018. 156 с.
4. Івус Г.П., Семергей-Чумаченко А.Б. Осінні низькі струмені над Північно-Західним Причорномор'ям // Український гідрометеорологічний журнал. 2013. Вип. 12. С. 131-141.
5. Івус Г.П., Семергей-Чумаченко А.Б., Агайар Е.В. До проблеми типізації синоптичних процесів над півднем України у сучасних умовах – Причорноморський екологічний бюлетень – 2009. – №. 3 (32) – С. 25-33.
6. Ивус Г.П., Хоменко Г.В., Семергей-Чумаченко А.Б., Агайар Э.В., Гурская Л.М., Ковальков И.А., Зубкович С. А. Типизация синоптических процессов над территорией Украины в эпоху глобальных климатических изменений //Журнал "Сложные системы", 2016 http://atmospheric-circulation.ru/wp-content/uploads/2015/12/Zubkovich.pdf.
7. Івус Г.П., Агайар Е.В., Гурська Л.М., Семергей-Чумаченко А.Б. Циркуляційні умови виникнення сильного та стихійного вітру над південним заходом України // Український гідрометеорологічний журнал. – 2016. - № 17 – С. 38-48.
8. Івус Г.П., Агайар Е.В., Гурська Л.М., Семергей-Чумаченко А.Б. Циркуляційні умови виникнення сильного та стихійного вітру над південним заходом України // Український гідрометеорологічний журнал. 2016. № 17 С. 38-48.
9. Ляхов М.Е. Нижние струйные течения как важный фактор в развитии физико-географических процессов // Изв. АН СССР. Сер. Геофизика. 1961. №2. - С. 334-336.
10. Мастерских М.А. О причинах возникновения мезоструй и расчете скорости ветра на их осях в узких зонах теплых фронтов // Метеорология и гидрология. 1983. - № 2. - С. 19-24.

11. Пруднікова Г.О., Семергей-Чумаченко А.Б. Синоптичні умови формування та структура низьких течій над Одесою у 2011-2015 рр. // матеріали конференції молодих вчених ОДЕКУ. Одеса. ТЕС. 2016. С.172.

12. Слободяник К.Л. Семергей-Чумаченко А.Б. Низькі течії над Одесою у 2016-2017 рр. // Матеріали наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ. 02-08 травня 2018 р. С. 325-327.

13. Dombrowsky R. Operational use of wind profiler data in United States weather forecasting. http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/meetings/Upper-Air/RemoteSensing/Doc.4.1(1)_Profilers.pdf.

14. Nocturnal Low-Level Jet. https://courseware.e-education.psu.edu/courses/meteo361/www.education.psu.edu/meteo361/l5_p9.html [Електронний ресурс]. (дата звернення 10.11.2018 р.).

15. WRF Forecasts of Great Plains Nocturnal Low-Level Jet-Driven MCSs. https://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/WAF-D-15-0151.1 [Електронний ресурс]. (дата звернення 10.11.2018 р.).

16. Squitieri B.J. WRF forecast skill of the Great Plains low level jet and its correlation to forecast scill of mesoscale convective system precipitation. – Iowa State University. Digital Repository, 2014. – 96 P.

17. Anyamba E.K., Kiangi D.M.R. Mean motion field in east Africa at the level core // Arch. Meteorol. Geophys. and Bioclimatol. 1985. B. 36. P. 29-41.

18. Tuononenm., Sinclair V.A., Vihma T. A Climatology of low-level jet in the mid-latitudes and polar regions of the Northern Hemisphere // Journal of the Royal Meteorological Society. 2015. Vol. 16. No. 4. P. 492-499. http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/asl.587/full.

19. Whiteman C.D., Bian X., Zhong S. Low-level jet climatology from enhanced rawinsonde observations at a Site in the southern Great Plains // J. App. Met. 1997.- Vol. 36, № 10. P. 1363–1376.

20. Wang Y., Klipp C.L., Garvey D.M., Ligon D.A., Williamson C.C., Chang S.S., Newsom R.K., Calhoun R. Nocturnal low-level-jet-dominated atmospheric boundary layer observed by a Doppler Lidar over Oklahoma city during JU2003 // J. App. Met. 2007. Vol. 46 (12). P. 2098-2109.

21. Thorpe A.J., Guimer T.V. The nocturnal jet // Quart. J. R. Met. Soc. – 1977. Vol. 103. P. 633-673.

22. Garreaud R.D., Muñoz R.C. the low-level jet off the west coast of subtropical South America. Structure and variability // J. Atm. Sci. 2005. Vol. 133. P. 2246-2261.

23. University of Wyoming. Department of Atmospheric Science. Upperair Air Data [Електронний ресурс]. Режим доступу http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html (дата звернення 31.10.2018 р.).

24. Державне підприємство «Український авіаційний метеорологічний центр» http://www.namc.com.ua/?page_id=103 [Електронний ресурс]. (дата звернення 30.10.2018 р.).

25. Dataset.http://nomads.ncdc.noaa.gov/GFS/analysis_only/201608/20160813/ [Електронний ресурс]. (дата звернення 1.12.2018 р.).

26. Mesoscale Convective Complexes (MCCs). http://www.eumetrain.org/satmanu/CMs/MCC/print.htm [Електронний ресурс]. (дата звернення 1.12.2018 р.).

27. Sting jets in extratropical cyclones: a review. https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/qj.3267 [Електронний ресурс]. (дата звернення 20.11.2018 р.).

28. What is a sting jet? http://www.severe-weather.eu/theory/what-is-a-sting-jet/ [Електронний ресурс]. (дата звернення 10.11.2018 р.).

29. Extratropical Cyclone Conceptual Models. http://www.eumetrain.org/data/2/292/292.pdf Електронний ресурс]. (дата звернення 10.11.2018 р.).

30. The Sting at the end of the tail: Damaging winds associated with extratropical cyclones. https://www.researchgate.net/publication/43155314_The_Sting_at_the_end_of_the_tail_Damaging_winds_associated_with_extratropical_cyclones [Електронний ресурс]. (дата звернення 20.11.2018 р.).

31. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. https://www.zamg.ac.at/cms/de/wetter/wetterkarte [Електронний ресурс]. (дата звернення 25.11.2018 р.).

32. Monitoring weather and climate from space. https://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/CurrentSatellites/Meteosat/index.html [Електронний ресурс]. (дата звернення 25.11.2018 р.).

ДОДАТОК А

кафедри метеорології та кліматології

на магістерську роботу студентки гр. МНЗ–2 М

факультету магістерської та аспірантської підготовки ОДЕКУ

Слободяник Катерини Леонідівни

Тема магістерської роботи:

«Низькотропосферні течії над південним заходом України»

Кваліфікаційна магістерська робота виконана в рамках науково-дослідних робіт «Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (2015-2019 рр., ДР № 0115U006532).

Завідуючий кафедрою

метеорології та кліматології   проф. Івус Г.П.

Таблиця А.1 – Список конференцій та публікацій

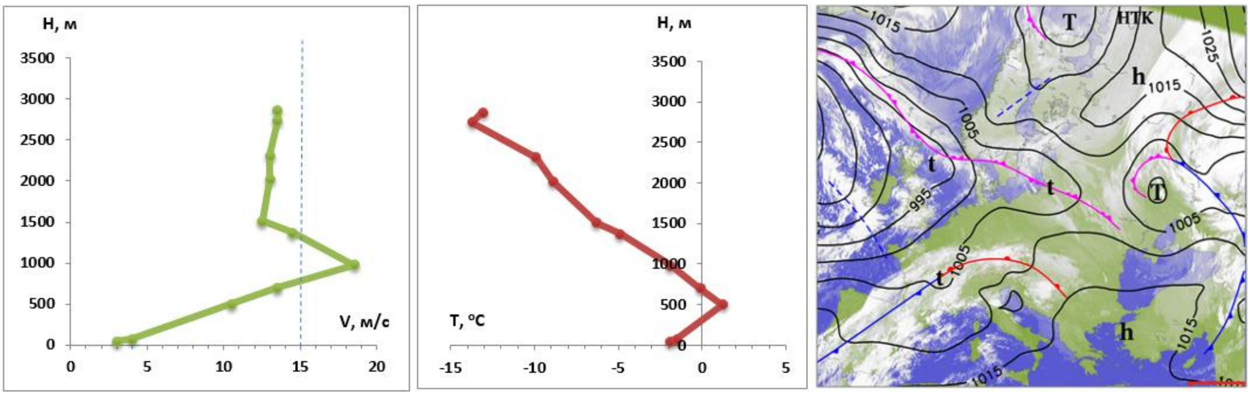
Вид наукової роботи (теми наукових робіт, автор, керівник роботи)	**Кількість кредитів**
Наукові статті	
Університетські конференції, семінари, гуртки	
1. Студентська конференція 11 квітня 2017 р. Тема доповіді: Вплив зсуву вітру на роботу авіації. 2. Конференція молодих вчених ОДЕКУ 2-8 травня 2018 р. Тема доповіді: Низькі течії над Одесою у 2016-2017 рр. 3. Наукові гуртки та семінари 2017, 2018	0,25 0,25 0,25
Опубліковані тези конференцій:	
Слободяник К.Л. Семергей-Чумаченко А.Б. Низькі течії над Одесою у 2016-2017 рр. // Матеріали наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ. 02-08 травня **2018** р. С. 325-327.	0,25
Участь у виконанні НДР	
«Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (2015-2019 рр.) ДР № 0115U006532 - **2017**, **2018 р.**	0,20 0,20
Конкурсні роботи:	
Конкурс наукових робіт серед студентів ОДЕКУ за напрямком географічні науки (гідрометеорологія) у 2017 рр., ОДЕКУ, м. Одеса: Аеросиноптичні умови напередодні авіаційної катастрофи над Ростовом-на-Дону 19 березня 2016 р. (2017)	0,25
ВСЬОГО	**1,45**

ДОДАТОК Б

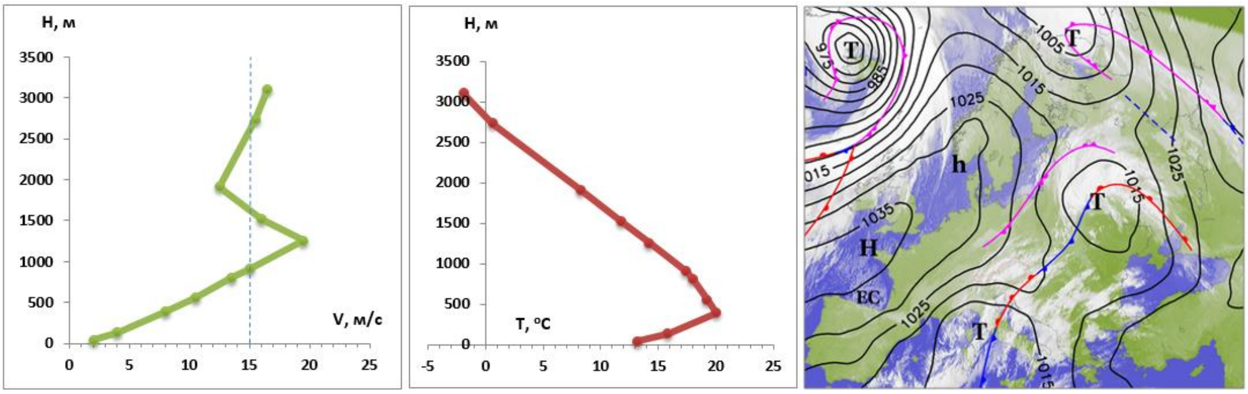
Вертикальні профілі швидкості вітру та температури

над Одесою у 2016-2017 рр.

09.01.2016



16.02.2016



25.03.2016

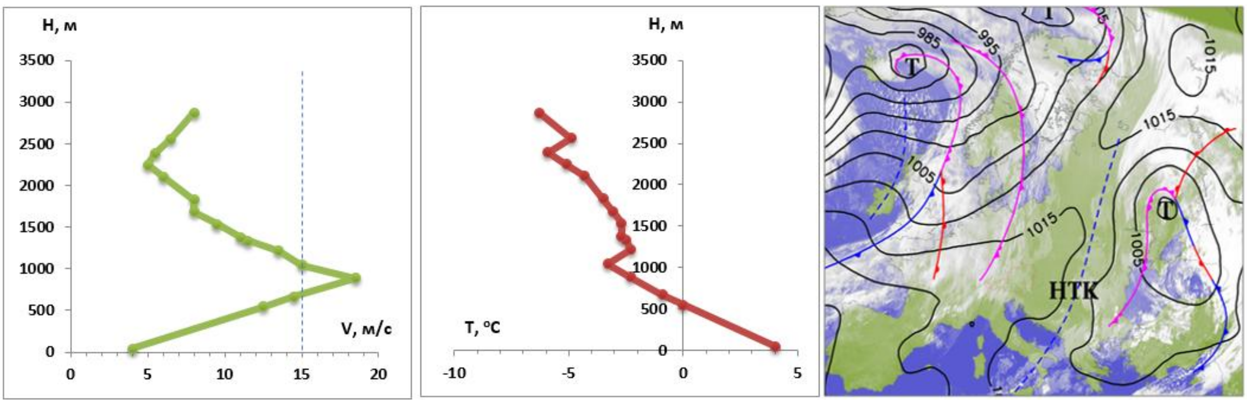
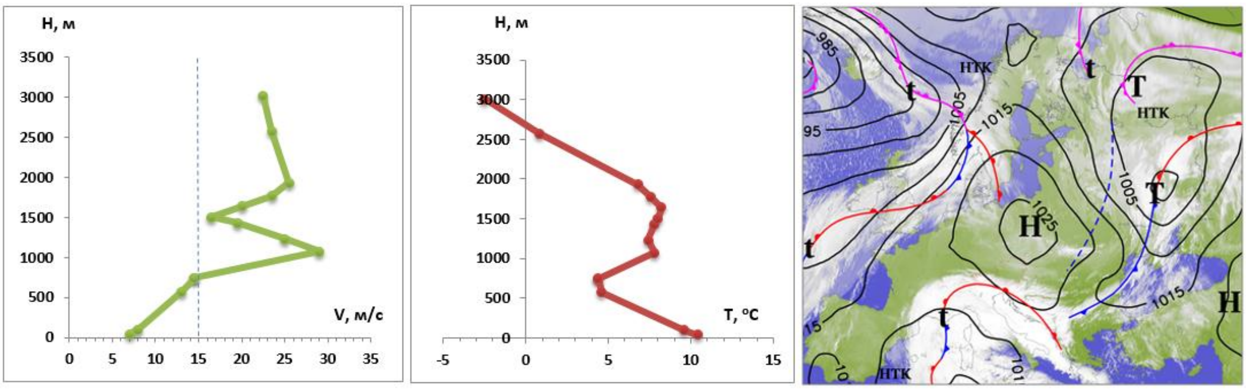
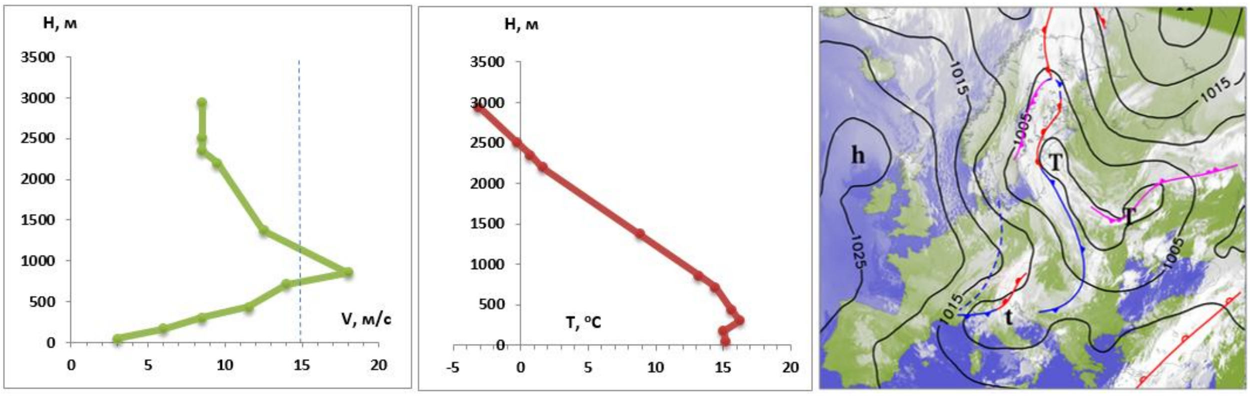


Рис. Б.1. Вертикальний розподіл швидкості вітру та температури за наявності СТНР, приземний аналіз (00 UTC), 2016 р.

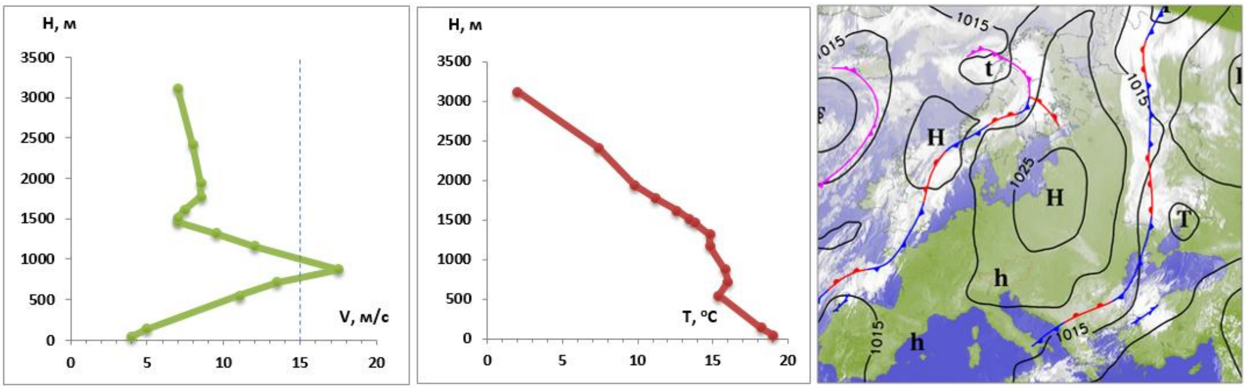
02.04.2016



15.05.2016



25.08.2016



30.12.2016

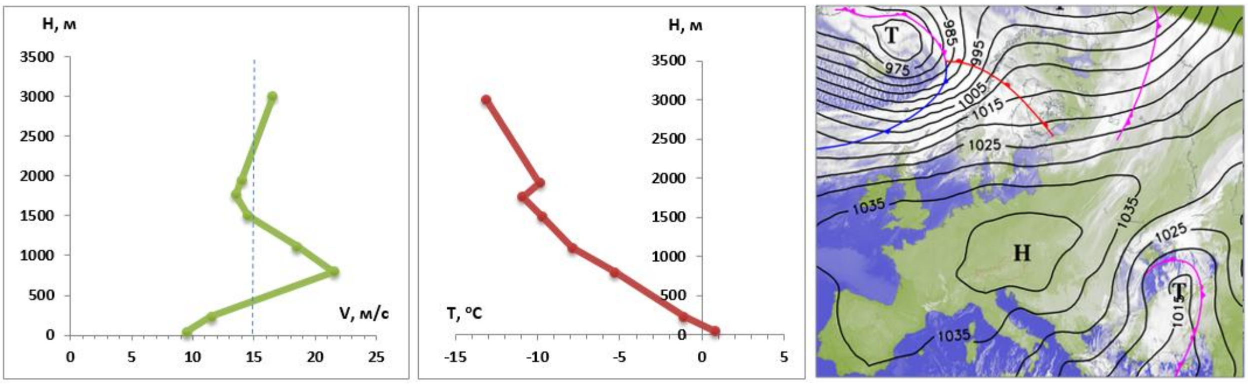
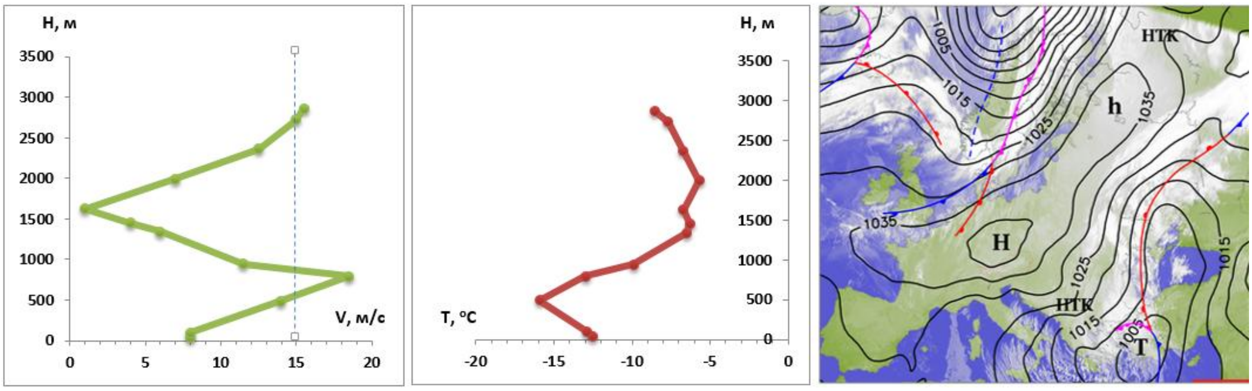
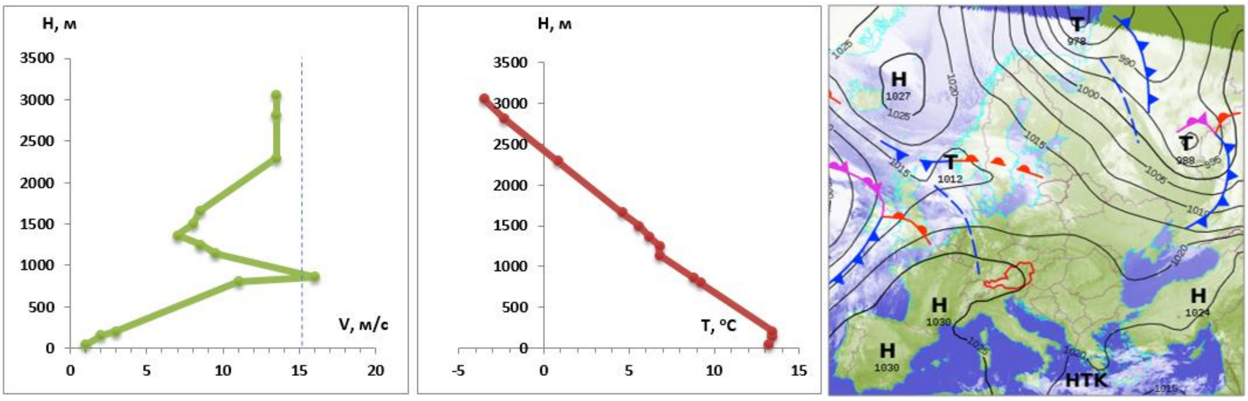


Рис. Б.2. Вертикальний розподіл швидкості вітру та температури за наявності СТНР, приземний аналіз (00 UTC), 2016 р.

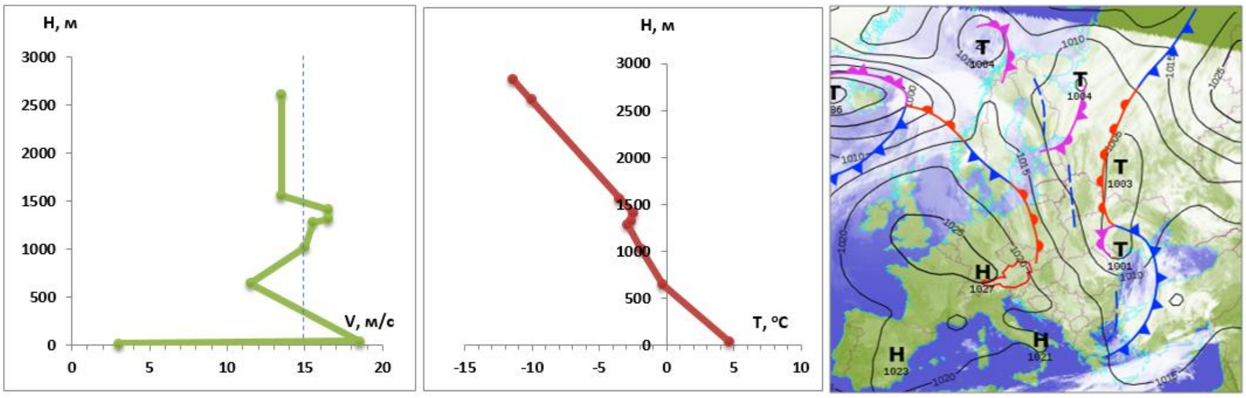
07.01.2017



29.03.2017



08.04.2017



30.07.2017

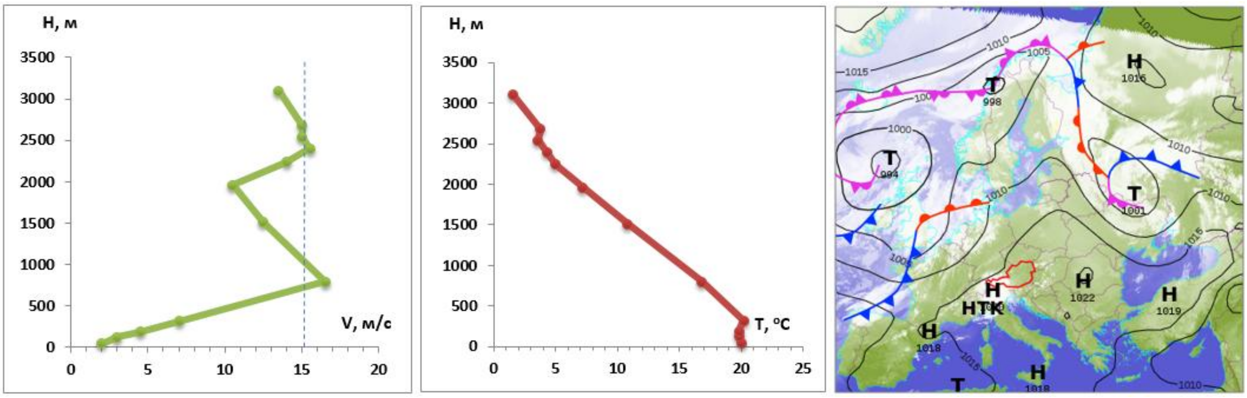
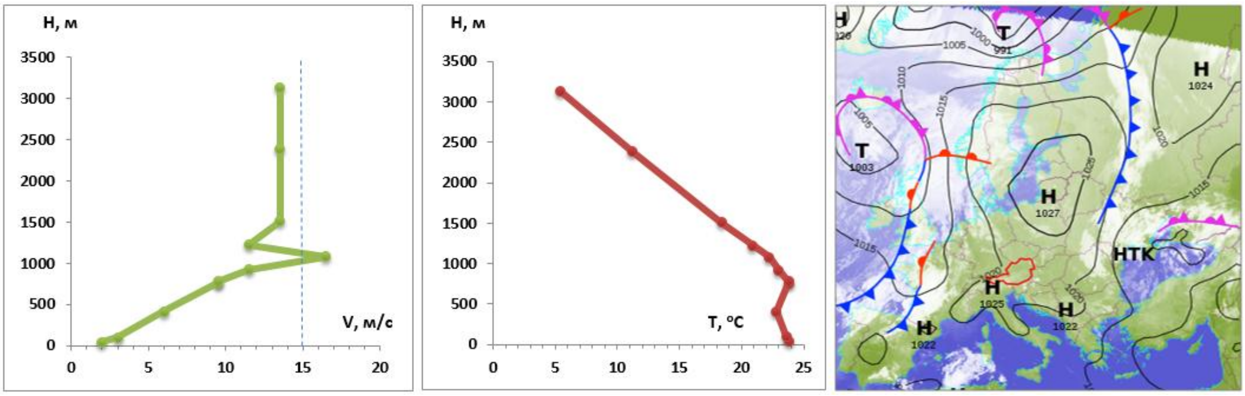
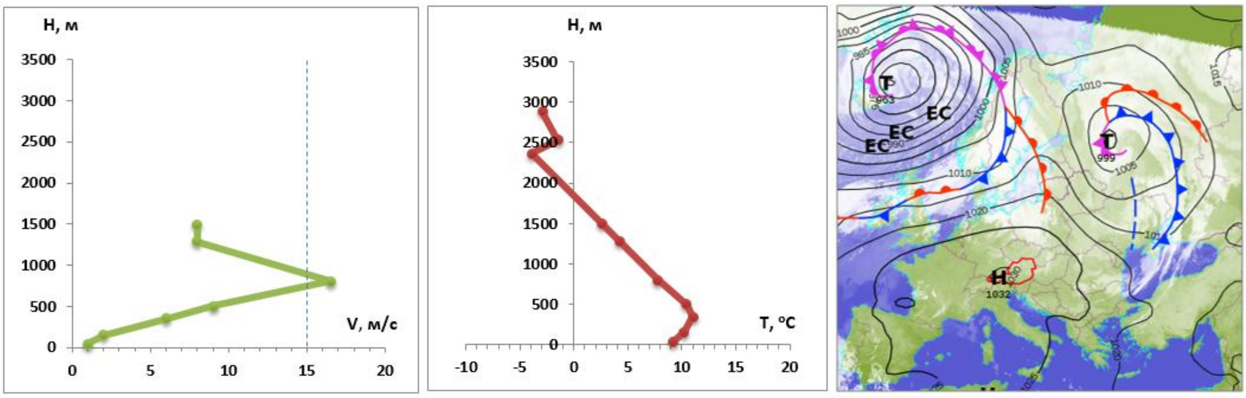


Рис. Б.3. Вертикальний розподіл швидкості вітру та температури за наявності СТНР, приземний аналіз (00 UTC), 2017 р.

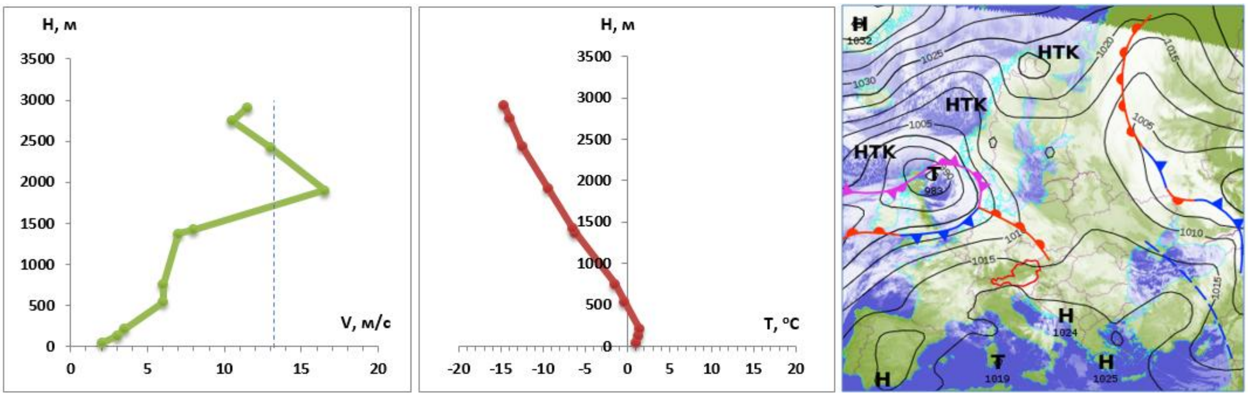
15.08.2017



14.10.2017



22.11.2017



27.11.2017

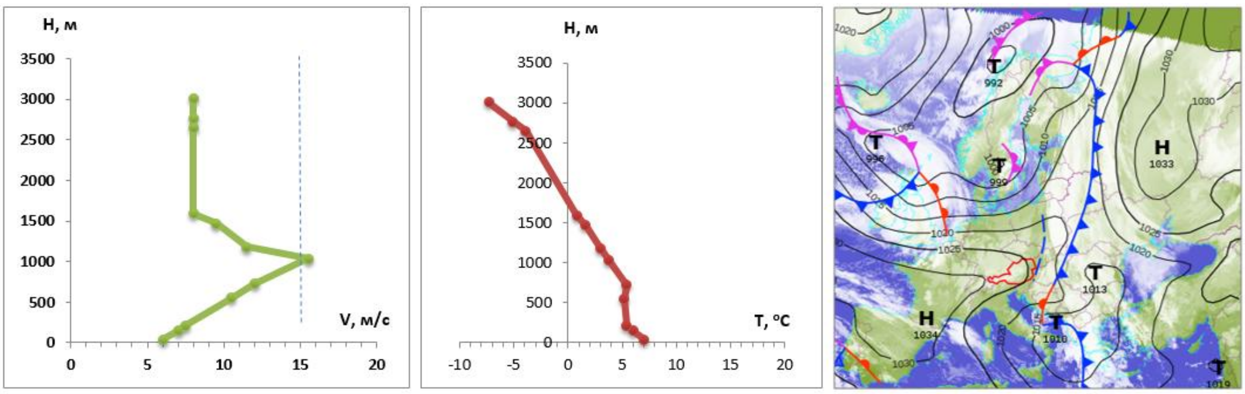


Рис. Б.4. Вертикальний розподіл швидкості вітру та температури за наявності СТНР, приземний аналіз (00 UTC), 2017 р.